

ÜBER DIE HAARHYGROMETER

VON

DR. J. PIRCHER.

Mit 4 Textfiguren.

(VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 4. JULI 1901.)

Unter den verschiedenen Methoden zur Bestimmung der relativen Feuchtigkeit der Luft, der chemischen, der volumetrischen, der hygroskopischen, spectrokopischen, Condensationsmethode und der so wenig beachteten adiabatischen Ausdehnungsmethode, hat das Psychrometer unbestritten den ersten Platz eingenommen, zwar nicht deshalb, weil das Psychrometer richtige Angaben liefert, sondern wegen der Einfachheit der Verwendung (mit Hilfe von Tafeln) und weil eine mathematische Theorie die Richtigkeit seiner Angaben außer Zweifel setzen soll.¹

Abgesehen davon, dass die Psychrometerformel im Laufe der Zeiten die mannigfachsten Abänderungen erfahren hat, ist es eine offene Thatsache, dass das Psychrometer bei Temperaturen unter 0° C. unverlässliche Angaben liefert, dass ferner die Windgeschwindigkeit und der Luftdruck einen Einfluss haben, der 10—15% relativer Feuchtigkeit betragen kann.

Nun sind die angeführten Methoden zur Bestimmung der relativen Feuchtigkeit und des Dampfdruckes, mit Ausnahme derjenigen, die auf der hygroskopischen Veränderung einiger Substanzen beruht für die Praxis, respective für die meteorologischen Beobachtungsstationen nicht verwendbar, sei es nun wegen der Anschaffungskosten oder wegen der Umständlichkeit, die jede derartige Bestimmung erfordert (die Terminablesung würde dadurch um wenigstens eine Viertelstunde verspätet gemacht werden), oder deshalb weil von vielen Beobachtern eine derartige Bestimmung nicht verlangt werden kann. Nur das Aspirationspsychrometer von Assmann kommt diesbezüglich in Frage, allein auch hier ist der Kostenpunkt und zum Theile auch der Zeitaufwand ein Hindernis für die allgemeine Einführung desselben.

Trotz des unbedingten Vertrauens, das dem Psychrometer geschenkt wurde und auch jetzt noch wird, haben die Hygrometer, die auf der hygroskopischen Eigenschaft gewisser Substanzen beruhen, nicht verdrängt werden können, wenn auch Regnault, der berühmte Forscher auf dem Gebiete der Hygrometrie, sie zu verwerfen strebte, so wurde die Frage nach der Verwendbarkeit des Haarhygrometers infolge der Vergleichung von Wolf in Zürich dem Meteorologencongresse in Wien 1879 neuerlich vorgelegt und mit besonderer Rücksichtnahme auf die Fehler, die der Verwendung des Psychrometers entspringen, von

¹ Auf diesen Punkt hat namentlich J. M. Pernter aufmerksam gemacht. Rapport du Comité météorologique international 1899. Paris, Gauthier-Villars.

J. M. Pernter auf dem Meteorologencongresse in St. Petersburg 1899 wieder angeregt und einer eingehenden Untersuchung empfohlen worden. Auf Grund dieser Anregung wurde die folgende Untersuchung unternommen; sie soll im Widerstreite der Meinungen eine objective Antwort auf die wiederaufgeworfene Frage geben.

Bereits 1644 bemerkte Mersenne den Einfluss der Feuchtigkeit auf ein Darmsaiteninstrument; später wurden Hanfschnüre, Granen des Hafers, die Haut des Frosches, Fischbein, der Hygrometerstein von Lowitz u. s. w. zur Bestimmung der Feuchtigkeit der Luft verwendet. Mit Recht sagt nun Kämtz:¹ »Es ist kein Verdienst um die Wissenschaft, neue Instrumente anzugeben, deren Sprache niemand kennt und Beobachtungen mitzutheilen, welche niemand benutzen kann; es ist ein weit größeres Verdienst Messungen mit Instrumenten anzustellen, deren Angaben constant sind und welche sich im Laufe der Zeiten nicht ändern, ein Vorwurf, von welchem selbst das Haarhygrometer nicht freizusprechen ist.«

De Saussure² fand nämlich 50 Jahre vorher im entfetteten menschlichen Haare eine Substanz, die mehr als jede andere fähig ist, die Feuchtigkeit der Luft anzugeben und ihren Veränderungen zu folgen. Trotz verschiedener Hindernisse und der Einwürfe seiner Zeitgenossen, setzte er die Untersuchung seines Haarhygrometers fort, bis er zu dem für uns sehr wichtigen Resultate gelangte, dass von verschiedenen Dämpfen nur der Wasserdampf der Luft auf das Hygrometer einen Einfluss ausübe. Sind auch seine Untersuchungen nicht in allen Punkten dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft entsprechend, so gebührt de Saussure vor allem das Verdienst, die Physiker auf das Studium des Wasserdampfes, speciell des in der atmosphärischen Luft enthaltenen und der Bestimmung desselben geführt zu haben. Die Veränderung, die das menschliche Haar bei zunehmender Feuchtigkeit erfährt, besteht in einer Verlängerung desselben; letztere misst nun de Saussure dadurch, dass er das eine Ende des Haares, nur in dessen Richtung verstellbar, befestigt, das andere Ende aber über eine Rolle von kleinem Durchmesser schlingt; die Achse der letzteren trägt einen Zeiger, der auf einer in 100 gleiche Theile getheilten Scala die verschiedenen Grade der Feuchtigkeit angibt, 0 im Falle absoluter Trockenheit, 100 im Falle größter Feuchtigkeit, d. h. in mit Wasserdampf gesättigter Luft; ersteren erhält er durch Einführung eines mit Salpeter und Weinstein überzogenen, erhitzten Eisenbleches, in einen mittels einer Glasglocke abgesperrten Raum, in welchem sich das Hygrometer befindet, letzteren im selben Raume, durch Einführung einer Schale mit Wasser. Der Gang seiner Untersuchung ist ganz correct, auch heute kann das Hygrometer wohl nicht in anderer Weise untersucht werden, mit Ausnahme der Forderung³ seiner Aufzählung der Eigenschaften eines guten Haarhygrometers, die bei der gleichtheiligen Scala seines Instrumentes nicht erfüllt werden kann. Wir werden später noch einmal Gelegenheit finden, auf seine Untersuchungen zurückzukommen.

Nach de Saussure beschäftigten sich viele Physiker mit der Frage der Verwendbarkeit der Haarhygrometer, so Ludick⁴, der die Construction durch Verwendung eines Hebels an Stelle der Rolle zu verbessern sucht und Vergleichen des Haar- mit dem Steinhygrometer⁵ anstellt, wobei sich eine minder gute Übereinstimmung herausstellte. Auch mit dem von Leslie⁶ erfundenen Hygrometer wurde das Haarhygrometer verglichen, namentlich von Boeckmann⁷, auch hier sind die Differenzen zwischen den Angaben der beiden Instrumente sehr groß, allein der Vergleich zweier Leslie'scher Hygrometer

¹ Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1831, Bd. I, S. 330.

² De Saussure, Essais sur l'hygrométrie. Deutsch von Titius, Leipzig 1874.

³ Ibid., pag. 70.

⁴ Gilbert, Annalen der Physik und Chemie, Bd. I, S. 20.

⁵ Der von Lowitz in Astrachan gefundene Schiefer hat die Eigenschaft, den Wasserdampf der Luft stark zu absorbieren, u. zw. nach Maßgabe der relativen Feuchtigkeit der Luft.

⁶ Leslie, Beschreibung eines Hygrometers, welches auf richtigeren Grundsätzen als alle bisherigen beruht. Gilberts Annalen der Physik, Bd. V. 1800.

⁷ Boeckmann, Gleichzeitige Beobachtungen der Hygrometer von Leslie, Saussure und de Luc. Gilberts Annalen der Physik, XV, S. 239.

führt zu noch größeren Unterschieden. Später untersuchten namentlich Babinet, Gay-Lussac, Prinsep, Biot und Regnault die Haarhygrometer. Babinet¹ schlägt vor, die Verlängerung und Verkürzung des Haares mittels einer Mikrometerschraube zu messen, wie dies im Observatorium in Montsouris noch jetzt geschieht, Gay-Lussac² und Prinsep³ fanden durch ihre Versuche zunächst, dass die Ausdehnung des Haares der relativen Feuchtigkeit nicht einfach proportional, die Scala von de Saussure also unrichtig sei, und bestimmten dann auf experimentellem Wege eine Procentscala, Gay-Lussac bei der Temperatur von 10°, Prinsep bei einer Temperatur von 30°. Die Übereinstimmung der von beiden gefundenen Werte ist auch nicht ganz zufriedenstellend, namentlich bei kleineren Feuchtigkeitsgraden, trotzdem werden bei der Construction der Scala fast durchwegs die Gay-Lussac'schen Zahlen verwendet. Biot⁴) gibt einen mathematischen Ausdruck für die Abhängigkeit der Verlängerung des Haares von der relativen Feuchtigkeit der Luft, derselbe stimmt im allgemeinen mit dem später von Klinkerfueß⁵ aufgestellten überein.

Dem Psychrometer gegenüber konnte aber das Haarhygrometer nicht mehr seinen Platz behaupten. Regnault unternahm es zu wiederholtenmalen das Haarhygrometer vor gänzlicher Abschaffung zu bewahren, so sagt er u. a.:⁶ »Unter allen Hygrometern, welche auf dem Gebrauche hygroskopischer Substanzen beruhen, ist das Haarhygrometer von de Saussure das beste und dauerhafteste, dasselbe kann genaue Angaben liefern, wenn man die von mir beschriebene specielle Art der Graduierung anwendet und die Vorsicht gebraucht, von Zeit zu Zeit zu prüfen, ob der Apparat keine Störung erfahren hat«; schließlich kommt er aber zu folgendem Resultate⁷: »Es ist zu wünschen, dass die Beobachter einem Instrumente gänzlich entsagen, auf dessen guten Zustand sie niemals rechnen können«.

Erst in Wolf⁸ trat wieder ein Vertheidiger der Haarhygrometer auf, indem er vergleichende Beobachtungen zwischen Psychrometer und Haarhygrometer anstellen ließ und die Ergebnisse dem Meteorologencongresse zu Wien 1873 vorlegte. Auf diesem Congresse war es Wild, der die Verwendung der Haarhygrometer empfahl, insbesondere auf Grund der guten Erfahrungen, die an den russischen Beobachtungsstationen (die meisten derselben waren bereits im Jahre 1870 mit Haarhygrometern ausgerüstet worden) mit diesen Instrumenten namentlich im Winter erzielt wurden. Die diesbezüglichen auf 13jährige Beobachtungen beruhenden Resultate, wurden von Bergmann⁹ verarbeitet.

Um dieselbe Zeit machte auch Koppe¹⁰ Vergleiche mit dem Psychrometer und vervollkommnete die Construction derselben. Außer der Untersuchung von Martens¹¹, die sich aber mehr auf die der Construction bezieht, sind noch die von Galle¹² und in neuester Zeit von Trowbridge¹³ ausgeführten zu nennen.

¹ Babinet, Kastn. Archiv, III, S. 452.

² Gay-Lussac, siehe Kämtz Lehrbuch der Meteorologie, Bd. I, 335.

³ Prinsep, Zeitschrift für Physik und Mathematik, II, S. 29. Siehe auch Kämtz Lehrbuch der Meteorologie.

⁴ Biot, Traité de physique.

⁵ Klinkerfueß, Das Bifilarhygrometer.

⁶ Regnault, Étude sur l'hygrométrie. Comptes rendus, t. XX. Ann. de Chim. et de Physiq, 3. ser., t. XV.

⁷ Regnault, Étude sur l'hygrométrie (deuxième mémoire). Comptes rendus XXXV. p. 930. Poggendorfs Annalen, Bd. 88, 1853, pag. 422.

⁸ Wolf, Psychrometer oder Haarhygrometer? Zürich 1872.

⁹ Bergmann, Über die Zuverlässigkeit der Haarhygrometer. Wilds Repertorium der Meteorologie, Bd. IX, Nr. 3.

¹⁰ K. Koppe, Die Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft, mit besonderer Berücksichtigung des neuen Procenthygrometers mit Justiervorrichtung.

¹¹ Martens, Die Haarhygrometer von Lambrecht. Centralzeitung für Optik und Mechanik, Bd. III.

¹² Galle, Über die von Hottinger & Co. in Zürich verfertigten Haarhygrometer und eine längere Reihe vergleichender Beobachtungen an solchen auf der Sternwarte in Breslau. Ergebnisse meteorologischer Beobachtungen im Jahre 1882. Veröffentlicht vom königl. meteorologischen Institute. Berlin 1883.

¹³ Trowbridge the use of the hair hygrometer. Science 1896. II, p. 62.

I.

Das Haar als hygroskopische Substanz.

Im allgemeinen handelt es sich bei den verschiedenen Untersuchungen des Haarhygrometers mehr um den experimentellen Nachweis seiner Verwendbarkeit, während sich wenige Forscher mit dem Wesen der Eigenschaft des menschlichen Haares bezüglich der relativen Feuchtigkeit befassten. Biot¹ gibt die folgende, in ihrer Voraussetzung bis jetzt nicht erwiesene Erklärung: „Ein völlig trockenes Haar übt auf die Dünste eine gewisse Anziehung aus, ein Theil derselben schlägt sich in tropfbar-flüssigem Zustande nieder und wird durch das Haar eingesogen, welches sich dabei verlängert, damit mindert sich die Begierde des Haares Wasser anzuziehen; es tritt eine Grenze ein, wo die Wirkung, die es auf die Dünste ausübt, hinsichtlich des Erfolges dem Grade des Druckes oder der Kälte ganz gleich ist, den dieselben, ohne in tropfbaren Zustand gebracht zu werden, aushalten können; dann widerstehen sie seiner Einwirkung und das Haar hört auf sich zu verlängern.“

Koppe sieht im Haare ein Analogon zu gewissen Salzen hinsichtlich ihrer Affinität zum Wasser. In neuester Zeit hat Sresnevsky² eine Theorie aufgestellt, die mit den Erfahrungsthaten in überraschend gutem Einklange steht; sie ist eine Anwendung der Untersuchung von Thomson³ über Oberflächenspannung. Die Constitution des Haares war bereits lange vorher bekannt; es besteht nämlich aus einem Gewebe länglicher Fasern, das mit einer dünnen Fettschicht umgeben ist, die mikroskopischen Poren und Hohlräume sind theils mit Farbstoff, theils mit Luft, respective Wasserdampf gefüllt. Nun sind gerade die Poren, welche nicht mit Farbstoff gefüllt sind, wie Sresnevsky zeigt, von größter Bedeutung für die hygroskopische Eigenschaft des Haares, und daraus erhellt auch, warum blonde Haare, als diejenigen die am wenigsten Farbstoffe enthalten, am besten für die Haarhygrometer geeignet sind und warum die Haare durch Auslaugen oder Waschen in Äther ihrer Fettschicht beraubt werden müssen.

Sresnevskys Theorie ist nun folgende:

Wird eine Capillarröhre in eine Flüssigkeit getaucht, welche die erstere benetzt, so erhebt sich die letztere bis zu einer Höhe

$$h = \frac{H}{2s} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

(H Capillarconstante, s Dichte der Flüssigkeit, R_1, R_2 Hauptkrümmungsradien des Flüssigkeitsmeniscus). Außerdem sei der Raum, in welchem die Capillare sich befindet, vollständig gesättigt. Es muss sich dann ein Gleichgewichtszustand herstellen. Würde nämlich an der Oberfläche der Flüssigkeit die Verdampfung fort dauern, so müsste sich die verdampfte Menge auf dem Flüssigkeitsmeniscus niederschlagen und infolgedessen aus der Capillare unten Flüssigkeit wegströmen, und umgekehrt, es entstände ein perpetuum mobile, da die Temperatur als constant vorausgesetzt wird. Da nun in gleichen Höhen dieselbe Dampfspannung herrschen muss, so wird die Spannung an der Oberfläche des Meniscus um das Gewicht der Dampfsäule zwischen Oberfläche der Flüssigkeit und Meniscus kleiner sein. Die Abnahme dp des Druckes bei einem Anstiege um dh ist nun, wenn die Dichte des Dampfes in der Höhe h , δ ist

$$- dp = \delta dh.$$

Bezeichnet nun p_0, δ_0 den Druck und die Dichte des gesättigten Wasserdampfes an der Oberfläche der Flüssigkeit, respective in der Höhe $h = 0$, so ergibt das Mariot'sche Gesetz

$$\delta = \frac{\delta_0}{p_0} p \quad \text{also} \quad - \frac{dp}{p} = \frac{\delta_0}{p_0} dh.$$

¹ Biot, Lehrbuch der Physik. Deutsch von Th. Fechner, Leipzig 1828.

² Sresnevsky, Théorie de l'hygromètre à cheveu. Russ. meteor. Zeitschrift, 1895. Kurzes Referat in der meteorologischen Zeitschrift 1896, p. 145.

³ Thomson, on the equilibrium of vapour at a curved surface of liquids. Phil. Mag., 4. ser., Vol. XLII, p. 448.

Die Integration ergibt, wenn als Grenzen die Oberfläche der Flüssigkeit, d. h. die Höhe $h = 0$ und die Maximalspannkraft des Dampfes p_0 und die der Höhe h entsprechende Dampfspannung p eingeführt werden,

$$\log \text{ nat. } \frac{p}{p_0} = - \frac{\delta_0}{p_0} h = - \frac{\delta_0}{p_0 s} \cdot \frac{H}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Da nun die Höhe der Flüssigkeitssäule und die Krümmung des Meniscus einander direct entsprechen, so erkennt man, dass eine directe Verbindung der Capillare mit der Flüssigkeit nicht nöthig ist, indem die Dampfspannung durch die Krümmung der Meniscus schon bestimmt ist. Die obige Formel besagt nun, dass die Krümmung des Meniscus (allerdings nicht ganz allgemein) dem natürlichen Logarithmus der relativen Feuchtigkeit proportional sei.

Wie schon bemerkt, besitzt das Haar Poren, welche mit Wassertheilchen gefüllt sind. Ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt, so nimmt das Haar seine normale Länge an, ist dies jedoch nicht der Fall, so krümmen sich die Oberflächen der Flüssigkeitstheilchen, wodurch ihr Querschnitt verkleinert wird; da sie nun an den Wänden der Haarporen haften, das Haar selbst aber sehr elastisch ist¹, so zieht sich das Haar zusammen und diese Zusammenziehung ist proportional dem log der relativen Feuchtigkeit.

Sresnevsky gelangt schließlich zur Formel:

$$1 \cdot 104 \delta l = \log F,$$

welche mit der experimentellen Untersuchung von Gay-Lussac ganz gut übereinstimmt, im Mittel ist die Abweichung 0·00.

Wenn zwar bei der Construction von Hygrometern immer die experimentelle Bestimmung der Veränderungen des Haares durch die relative Feuchtigkeit zugrunde zu legen ist, wie ja auch die Constante der Formel von Sresnevsky aus der Erfahrung stammt, so ist die Untersuchung schon deshalb von großer Bedeutung, weil sie die lange gesuchte Erklärung der Eigenschaft des Haares gibt, warum die Längenänderungen desselben einzig von der relativen Feuchtigkeit abhängig sind.

II.

Verschiedene Haarhygrometer.

Das Haarhygrometer von Saussure wurde bereits beschrieben, ähnlich ist das Hygrometer von Koppe, nur dass letzterer zur Spannung des Haares statt eines Gewichtchens eine Feder aus Neusilberdraht verwendet und das Instrument mit einem Rahmen umgibt, in welchem auf der einen Seite eine Glasplatte, auf der anderen ein mit Muscheln überzogener Rahmen und eine Blechplatte eingeführt werden können, um zu jeder Zeit den Raum sättigen zu können. Es ist dies ein Vortheil, der sicher nicht zu unterschätzen ist, da eine zeitweilige Auffrischung des Haares, ähnlich wie bei einer elastischen Feder, von Nutzen ist; unter Annahme der Theorie von Sresnevsky befindet sich nämlich das nicht befeuchtete Haar in einem Zwangszustand und erreicht seine normale Länge erst, wenn die Luft gesättigt ist. Ein Nachtheil des Instrumentes ist aber die folgende Construction: das Haar ist über eine Rolle von constantem Durchmesser geschlungen. Man hat in folgedessen kein Mittel, die Amplitude des Haares zu ändern; ein solches könnte nur dadurch erreicht werden, dass die Länge des Haares verändert wird. Das nach den Angaben Koppes von Hottinger in Zürich angefertigte Haarhygrometer lässt nun allerdings eine solche Verlängerung zu, da das andere Ende des Haares über eine zweite Rolle geschlungen ist, die mittels eines Schlüssels gedreht werden kann. Diese Rolle ist aber nicht zum Zwecke einer Verlängerung oder Verkürzung des Haares, sondern zur Justierung angebracht, d. h. um den Zeiger in gesättigter Luft auf den

¹ Nach Koppe hat das Haar eine Elasticität von 33%, d. h. es lässt sich um ein Drittel seiner Länge auseinanderziehen, ehe es reißt.

Punkt 100 stellen zu können. Es ist ferner auch fraglich, ob die auf beiden Rollen aufliegenden Theile des Haares auch zur Verlängerung des Haares, also einer Änderung der Zeigerstellung beitragen oder nicht; sie sind zwar im Verhältnisse zur ganzen Länge des Haares sehr klein, weshalb eine auf diese Weise herbeigeführte Verlängerung oder Verkürzung des Haares die Amplitude nur wenig verändert. Nehmen wir z. B. an, die Haarlänge sei in trockener Luft l (30 cm) und der Anschlag des Zeigers von seiner Stellung in trockener und gesättigter Luft 90° , dann ist, wenn die Gesamtänderung der Haarlänge $l \cdot 0.025$ gesetzt wird und r den Radius der Rolle bezeichnet,

$$r \frac{\pi}{2} = l \cdot 0.025 (= 0.75\text{ cm}).$$

Wird nun das Haar um die Länge λ ($= 1\text{ cm}$) verlängert, so vergrößert sich der Anschlag des Zeigers um α nach der Relation

$$r \left(\frac{\pi}{2} + \alpha \right) = (l + \lambda) 0.025;$$

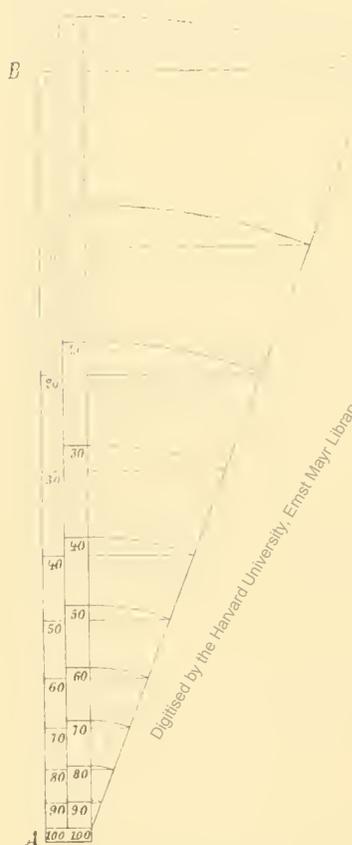
daraus ergibt sich

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot 0.025}{r} = \frac{\lambda}{2l} \pi$$

in unserem Falle um $\frac{1}{60} \pi = 3^\circ$.

Dies würde im Falle, dass der Apparat in trockener Luft justiert würde, in der Umgebung des Sättigungspunktes sehr viel ausmachen, da ja dort die Scalentheile sehr klein sind; da jedoch die Hygrometer in gesättigter Luft justiert werden, so macht eine derartige Verlängerung bei höheren Feuchtigkeits-

Fig. 1.



graden nur deshalb etwas aus, weil die Scalentheile dort mehr gedrängt sind. Eine Zeichnung wird die Verhältnisse am besten darlegen (Fig. 1). Wir stellen uns die Gesamtverlängerung des Haares durch die Linie AB dar, die Theilstriche bezeichnen die Verlängerungen des Haares von 10 zu 10%, relativer Feuchtigkeit. Wird nun die ursprüngliche Haarlänge in gesättigter Luft um einen gewissen Betrag vergrößert, so verhält sich die nunmehrige Gesamtverlängerung des Haares durch die Feuchtigkeit zur früheren, wie die Gesamtlängen des Haares in gesättigter Luft. Man erhält also die neuen Theilpunkte für die Feuchtigkeit von 10 zu 10%, indem man die Gerade AB' zieht, deren Länge zu AB im obgenannten Verhältnisse steht; die aus den Theilpunkten von AB zu $B'B'$ gezogenen Parallelen geben die des verlängerten Haares. Wird nun die Linie AB' mit AB zur Deckung gebracht, so lassen sich die Veränderungen der einzelnen Theilpunkte direct ablesen. Je kleiner das Verhältniß der beiden Haarlängen ist, umso geringer werden auch die Abweichungen.

Wir können auch untersuchen, welchen Einfluss eine Veränderung der Rollenhalbmesser bei ein und derselben Haarlänge hat. Die Frage erledigt sich jedoch einfach dadurch, dass die Amplitude im Verhältnisse der beiden Radien geändert wird, also ganz gleich wie wenn das Haar in demselben Verhältnisse geändert würde, mit dem Unterschiede, dass einer Verlängerung des Haares eine Verkleinerung des Radius der Rolle und umgekehrt entspricht.

Bei den neuen von Hermann und Pfister in Zürich construierten Hygrometern geschieht die Justierung nicht durch Verlängerung des Haares, sondern durch Verstellung des oberen Haarendes, die Construction fällt also mit der alten Saussur'schen zusammen.

Würden diese beiden Constructionen mit einander verbunden, so wäre es möglich, die Amplitude und ebenso den Stand des Zeigers zu regulieren.

Die Construction der Scala ist hier sehr einfach, man hat nur die Länge des Scalensectors zu bestimmen, dieselbe auf dem Liniensysteme der Fig. 1 so aufzutragen, dass der eine Endpunkt auf die Linie 0, der andere auf die Linie 100 fällt und die erhaltenen Abschnitte auf dem Sector aufzutragen.

Wie sich später zeigen wird, ist auch die Verwendung eines Haares und die Anordnung des Gestelles, welches der Luft freien Zutritt gestattet, als zweckentsprechend hervorzuheben.

Nachdem durch die Versuche von Gay-Lussac festgestellt war, dass eine gleichmäßige Theilung der Hygrometerscala nicht zulässig sei, machte sich das Bestreben geltend, den Mechanismus in solcher Weise einzurichten, dass die Theilung der Scala doch gleichförmig gemacht werden kann. Zu nennen sind hier hauptsächlich das Bifilarhygrometer von Klinkerfues und das Hygrometer von Schubert.

Klinkerfues hängt das Haar bifilar auf, ähnlich der Gauss'schen Aufhängung der Magnete, und scheint gar nicht die Absicht gehabt zu haben, damit eine gleichmäßige Scalentheilung zu erhalten.¹ Nach seiner Berechnung stimmt die verwendete gleichtheilige Scala gut mit der Gay-Lussac'schen Tabelle, die Abweichungen betragen im Maximum 1.3% , was einer hinlänglich großen Genauigkeit entspricht. Über die Justier Vorrichtung sind keine Angaben gemacht, so dass dieselbe auch nicht besprochen werden kann. Eine Fehlerquelle dürfte vielleicht in der Verwendung von Seidenfäden liegen, da dieselben zwar nicht in gleichem Maße wie die Haare, aber immerhin selbst hygroskopisch sind, wie bereits Parrot² bemerkt hat.

Das Haarhygrometer von Schubert in seiner ersten Form³ ist nichts anderes als ein Saussure'sches, mit dem Unterschiede, dass der Ausschlag des Zeigers durch eine Zahnradübersetzung vergrößert wird. In seiner zweiten Form, bei welcher Schubert fälschlich eine gleichtheilige Scala benützt, fällt es fast mit dem gleich zu beschreibenden Hygrometer von Lambrecht zusammen, nur fehlt ihm die von Lambrecht angebrachte doppelte Justier Vorrichtung.

Auch Lambrecht hat bereits verschiedene Haarhygrometer construiert, wovon ein jetzt nicht mehr gebrauchtes von Martens⁴ hinsichtlich der Construction details eingehend untersucht wurde und dessen Princip von Richard in Paris zur Construction der Hygrographen benützt wird. Auf einem horizontal gespannten Haarstrang liegt ein kurzer Hebel, dessen Achse, dem Strang selbst parallel, den Zeiger zur Angabe der relativen Feuchtigkeit trägt. Ferner ein zweites, bei welchem Lambrecht ähnlich wie Schubert einen kurzen Hebel verwendet, dessen Achse den Zeiger trägt. An diesem Hebel ist das eine Ende des Haarbündels, u. zw. so befestigt, dass die Hebellänge mittels einer Differentialschraube variiert werden kann, gleichzeitig dient der Hebel als Gewicht zur Spannung des Haarbündels. Da das obere Ende des Bündels mittels einer Schraube, u. zw. in der Richtung desselben verstellbar ist, ist bei diesem Instrumente eine doppelte Justierung möglich. Der Zeigerausschlag ist 90° , Lambrecht hatte ursprünglich auch eine gleichtheilige Scala angenommen, ist später aber wieder davon abgegangen. Die Construction der Scala ist hier noch einfacher als bei dem Instrumente von Koppe. Wird nämlich das eine Ende des Haares befestigt, so kann sich das andere Ende in gespanntem Zustande auf einer Kugelfläche bewegen, da es aber an einem Hebel befestigt ist, auf einem Kreise; der geometrische Ort des Haarendes ist also für die verschiedenen Längen, die es vermöge der Feuchtigkeit annimmt, ein System concentrischer Kreise, und da der Hebel im Verhältnis der Länge des Haares sehr klein ist, ein System paralleler Geraden; in der Fig. 2 sind dieselben für die Verlängerungen des Haares⁵ gegeben, welche der Veränderung der relativen

¹ W. Klinkerfues, Theorie des Bifilarhygrometers mit gleichtheiliger Procentscala. Göttingen 1875.

² A. und H. Parrot, Gilberts Annalen der Physik, Bd. 55, S. 167.

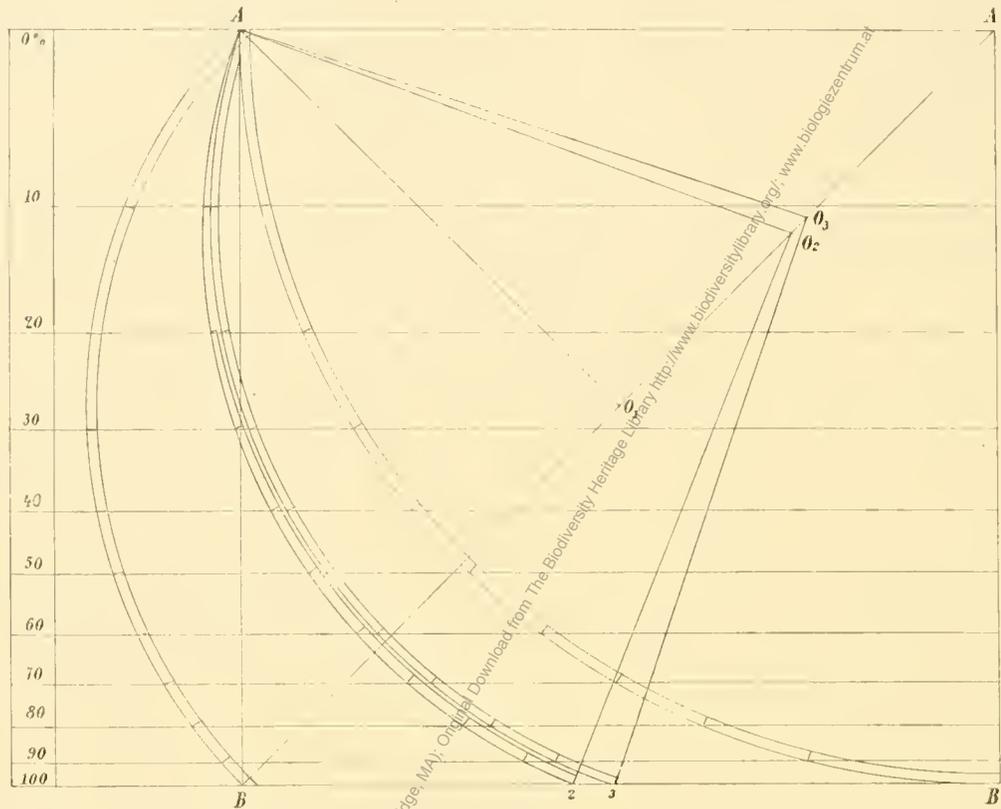
³ Siehe Wolpert, Die Luft und die Methoden der Hygrometrie. Berlin 1898, S. 305.

⁴ A. Martens, Über die Haarhygrometer von Lambrecht in Göttingen. Centralzeitung für Optik und Mechanik, III, S. 181, 220, 253, 278.

⁵ Damit das Haar die in der Zeichnung angenommene Verlängerung erfahren sollte, müsste es eine Länge von 40 m besitzen.

Feuchtigkeit von 10 zu 100/100 entsprechen, u. zw. nach den Zahlen von Gay-Lussac. Nun bleibt noch die Wahl des Hebel Drehungspunktes. Soll der Zeigerausschlag für die totale Verlängerung des Haares 90° betragen, so muss der Drehungspunkt zwischen den Linien 0 und 100 liegen; soll sich ferner das Haarende

Fig. 2.



bei absoluter Trockenheit im Punkte A befinden, so ist die Lage des Drehungspunktes gegeben durch den geometrischen Ort der Spitzen jener gleichschenkeligen rechtwinkligen Dreiecke, von welchen die eine Ecke in A , die andere auf der Geraden BB' ($= AB$)¹ liegt. Dieser geometrische Ort ist nun die Diagonale BA' des Quadrates $ABB'A'$. Die möglichen Scalen erhält man also, indem man von jedem Punkte der Diagonale BA' Kreise zieht, die durch den Punkt A gehen, und den Mittelpunkt O mit den Schnittpunkten des entsprechenden Kreises mit dem Geradensystem verbindet.

Es handelt sich noch darum, die günstigste Lage des Mittelpunktes O zu finden. Vor allem ist klar, dass er nicht auf der Strecke BO_1 ($= O_1A'$) liegen darf, denn bei der Wahl der Scalen wird man jene bevorzugen, deren Eintheilung einer gleichmäßigen Theilung möglichst nahe kommt. Je weiter aber der Punkt O gegen B rückt, desto größer wird der entsprechende Bogen zwischen A und 10 und umso kleiner der Bogen zwischen den Theilstrichen 90 und 100. Liegt O aber im Punkte A' , so hat zwar der Bogen 0, 10 seine geringste Länge, es wird aber die Vertheilung der Theilstriche eine ungleichmäßige; am nächsten stehen sie zwischen 70 und 80, am entferntesten zwischen 0 und 20 einerseits und 90 und 100 andererseits. Wird der Punkt O in der Mitte zwischen O_1 und A' gewählt, so ergibt sich von 100 bis zu ungefähr 40/100 eine fast ganz gleichmäßige Procentscala, ohne dass die Scalentheile zwischen 0 und 20/100 erheblich vergrößert werden.

Lambrecht hat nun bei seinem Hygrometer den Mittelpunkt O ungefähr in O_2 gewählt. Die kleine Verschiebung desselben nach O_3 kann zu Fehlern Anlass geben, die 3/100 erreichen würden.² Allein der

¹ Natürlich könnte die zweite Ecke des Dreieckes auch auf der entgegengesetzten Seite von B liegen, was aber am Resultate nichts ändert.

² Es lässt sich übrigens beweisen, u. zw. sowohl analytisch als geometrisch, dass unter der Voraussetzung $l_r = l_0[1 + f(r)]$, wo $f(r)$ irgend eine Function (nach der Sresnevsky'schen Theorie gleich dem $\log \text{ nat.}$), der relativen Feuchtigkeit ist, und l_0 die Länge des Haares bei absoluter Trockenheit bezeichnet, irgend eine einmal vorgegebene Scala Lambrecht'scher Construction

genannte Fall kann wohl nicht leicht eintreten, wenn nur geachtet wird, dass der Zeiger auf 0% zeigt, wenn der Hebel am oberen Anschlagstifte aufliegt. Es kommt nämlich nur auf das Dreieck an, welches gebildet wird von den Punkten oberer Befestigung (C) des Haares, Hebellager (O) und unterer Anschlagstift (M). Eine Änderung des Winkels COM führt zu einer totalen Änderung der Scala.

Die Vergleichung der Lambrecht'schen Scala lieferte folgendes Resultat: da der Winkel COM = 160° beträgt,

$$MOC = \frac{\pi}{2} + COA = \pi - A'AO,$$

muss A'AO = 20° gewählt werden. Und dies gibt den Mittelpunkt O₂.

Die am Lambrecht'schen Haarhygrometer angebrachte Scala ist in der Fig. 4 die zweite von innen, die aus Fig. 2 mit dem

Fig. 3.



für Haare jeder beliebigen Länge verwendbar ist, wenn nur die Hebellänge und die andere Justier Vorrichtung in gewisser Weise geändert werden.

Bezeichnet *c* die Entfernung des Drehungspunktes des Hebels vom Ende des trockenen Haares und α_0 den Winkel M₁O M₀, welchen der Hebel für das trockene Haar und jene Länge desselben einschließt, bei welchem der Hebel senkrecht zum Haare steht,

so ist
$$\sin \alpha_0 = \frac{c}{a};$$

für irgend eine Feuchtigkeit erhalten wir daher den Winkel

$$\sin \alpha_r = \frac{c - l_0 f(r)}{a},$$

außerdem soll für $r=100$ also der Sättigungspunkt der Winkel $\alpha_{100} = \frac{\pi}{2}$ werden, d. h. es muss wenn $l_0 f(100)$ mit $l_1 - l_0$ bezeichnet wird

$$a = \frac{l_1 - l_0}{\sin \alpha_0 - \sin \alpha_{100}} = \frac{l_1 - l_0}{\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0},$$

daher ist

$$c = \frac{\sin \alpha_0 (l_1 - l_0)}{\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0}$$

und

$$\sin \alpha_r = \frac{\sin \alpha_0 (l_1 - l_0) - l_0 f(r) (\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0)}{l_1 - l_0} = \sin \alpha_0 - \frac{l_0}{l_1 - l_0} f(r) (\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0).$$

Man sieht aus dieser Darstellung, dass der Winkel α_r nur von dem Verhältnisse $\frac{l_0}{l_1 - l_0}$ abhängig ist, da α_0 als gegeben vorausgesetzt ist. Wird also das Haar durch ein anderes um λ längeres ersetzt, so ist das obige Verhältnis nunmehr

$$\frac{l_0 + \lambda}{(l_0 + \lambda) f(100) - (l_0 + \lambda)} = \frac{1}{f(100)} = \frac{l_0}{l_1 - l_0}$$

also gleich dem früheren, es wird also α_r genau dasselbe wie früher, nur muss *a* und *c* jetzt in bestimmter Weise gewählt werden, es muss nämlich jetzt

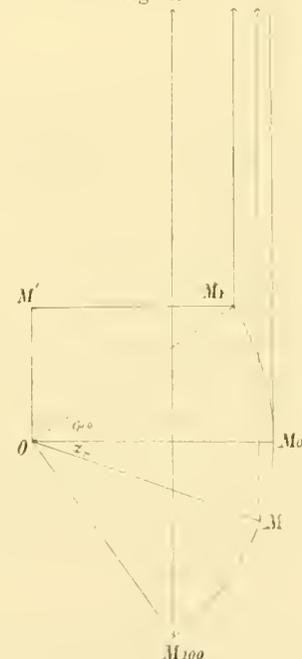
$$a_1 = \frac{(l_0 + \lambda) f(100)}{\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0} = a + \frac{\lambda f(100)}{\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0},$$

und

$$c_1 = \frac{\sin \alpha_0 (l_0 + \lambda) f(100)}{\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0} = c + \frac{\sin \alpha_0 \lambda f(100)}{\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0}.$$

D. h. es muss also die Hebellänge um $\frac{\lambda f(100)}{\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0}$ vergrößert und gleichzeitig das andere Ende des Haares um $\frac{\sin \alpha_0 - \cos \alpha_0}{\sin \alpha_0 \lambda f(100)}$ hinaufgerückt werden. Vorausgesetzt ist dabei nur, dass die Function *f*(*r*) dieselbe bleibt, was innerhalb gewisser Grenzen sicher erfüllt ist.

Fig. 4.



Mittelpunkt O_2 construierte die dritte. Es zeigt sich dabei, dass wohl die Scalentheile von 30 bis 60 in guter Übereinstimmung sind, die übrigen aber um ungefähr 3% von einander abweichen, wenn der Punkt 100 und 0 auch übereinstimmen.

Nun kann man wohl vermuthen, dass Lambrecht auf die veränderliche Belastung Rücksicht genommen hat; es musste jetzt auch der Einfluss der Belastung des Haares untersucht werden.

Diese Frage ist für beide Instrumente, sowohl das Lambrecht'sche als Koppé'sche, wenn letzteres durch eine Feder gespannt wird, von Wichtigkeit. Beim Lambrecht'schen Instrumente wird nämlich das Haar durch den Hebel, an welchem es befestigt ist, gespannt. Dieser Hebel macht nun, wenn das Hygrometer von trockener in gesättigte Luft gebracht wird, einen Winkel von 90° , infolgedessen finden sich Stellen, an welchen das Haar nur halb so stark belastet ist, als an anderen. Wenn nun die Belastung des Haares eine Verlängerung desselben hervorruft, und sei es auch, dass die Amplitude nicht verändert wird, sondern für alle verschiedenen Feuchtigkeiten eine constante Verlängerung des Haares eintritt, so kann doch eine nach der Gay-Lussac'schen Tabelle construierte Scala immerhin unrichtig werden.

Bei der großen Elasticität des Haares ist sicher, dass eine Spannungsänderung auch eine Veränderung der Haarlänge hervorrufen wird, und es handelt sich nun darum, zu untersuchen, ob auch die Amplitude dadurch geändert wird und in welcher Weise die Scala corrigiert werden muss, damit das Hygrometer trotz dieses Umstandes richtige Werte liefert.¹

Um das Gewichtchen, welches das Haar spannt, beliebig ändern zu können, wurde statt desselben ein kleines Schälchen von 0.1 g Gewicht angehängt, in welches eine beliebige Anzahl vorher abgewogener Schrottkügelchen gelegt werden konnten. Die Veränderungen wurden dann an zwei Punkten, nämlich bei der gerade herrschenden Feuchtigkeit des Zimmers und in gesättigtem Raume, bestimmt. Es wurde zunächst mit dem Schälchen allein der Versuch gemacht und dann der Reihe nach 1, 2, 3... Kugelchen aufgelegt.

Es zeigte sich nun gleich die folgende eigenthümliche Erscheinung: Wurde das Haar durch ein größeres Gewicht belastet, so veränderte sich die Stellung des Zeigers nicht immer, wurde aber das Hygrometer in gesättigte Luft gebracht und aus derselben wieder in die frühere, so wurde bei Vergrößerung des Gewichtes eine größere Feuchtigkeit angezeigt.

Da ein Hygrometer von Koppé verwendet wurde, bei welchem das obere Ende des Haares über eine Rolle geschlungen ist, musste von einer Justierung des Instrumentes beim Auflegen eines anderen Gewichtes abgesehen werden, infolgedessen aber die Größe der Amplitude nicht in Scalentheilen abgelesen, sondern dieselben auf Bogengrade oder irgend ein gleichtheiliges Maß reducirt werden. Damit ferner eine allfällige Veränderung der Feuchtigkeit des Zimmers keinen Einfluss auf die Resultate habe, wurde ein zweites Hygrometer aufgestellt und die Angaben des zu untersuchenden Instrumentes corrigirt.

Die Einstellungsgeschwindigkeit war bei allen Versuchen fast genau dieselbe, u. zw. stellte sich der Zeiger im gesättigten Raume in 2 Minuten auf 100, während er zur umgekehrten Bewegung 3 Minuten brauchte. Die Versuche wurden immer zweimal gemacht. Ferner möge bemerkt werden, dass der Zeiger selbst keinen Einfluss auf die Belastung des Haares hatte, da die Achse durch seinen Schwerpunkt gieng.

	Schale	1 Kugel	2 Kugeln	3 Kugeln	4 Kugeln	5 Kugeln	6 Kugeln
Veränderung des Anfangsstandes	—	2°5	5°5	7°2	8°2	9°5	9°9
Veränderung des Endstandes	—	2°2	4°0	5°0	7°1	8°3	10°0
Amplitude	14°5	14°0	14°0	13°5	13°5	13°0	14°0

¹ Beim Hygrometer von Hermann und Pfister ist diese Fehlerquelle ausgeschlossen.

Nach diesen Zahlen ändert sich also die Amplitude nicht, sondern bloß der Stand des Zeigers. Um dessen aber ganz sicher zu sein, wurde der ganze Versuch bei einer kleineren Feuchtigkeit bei 58 gegen 68% des vorigen wiederholt. Es ergaben sich folgende Werte:

	Schale	1 Kugel	2 Kugeln	3 Kugeln	4 Kugeln	5 Kugeln	6 Kugeln
Veränderung des Anfangstandes	—	2°5	5°0	7°5	8°0	9°8	11°2
Veränderung des Endstandes	—	2°3	5°0	7°2	8°1	9°0	10°8
Amplitude	20°2	20°0	19°4	19°7	19°5	19°2	19°4

Es zeigt sich, dass die Veränderungen durch Belastung anfänglich größer sind und erst bei 3 und mehr Kugeln constant werden. Die relativ schlechte Übereinstimmung ist einmal dem Umstande zuzuschreiben, dass die Kügelchen nicht genau gleich schwer waren und die Winkel ebenfalls nur auf ganze Grade genau sind. Die Kugeln wogen im Mittel 0.11 g, ebensoviel die Schale. Bei einer Zunahme der Belastung um 0.1 g ändert sich die Zeigerstellung um rund 1°. Ist nun l_0 die Länge des Haares bei der Belastung 0, l_p die bei der Belastung p , γ der Belastungscoefficient, d. h. $l_p = l_0 (1 + \gamma p)$, so ist also

$$\gamma = \left(\frac{l_p}{l_0} - 1 \right) \frac{1}{p}.$$

Den Radius r der Rolle erhält man durch die Berechnung $l_0 \cdot 0.025 = r \frac{\pi}{2}$. . . nun wurde gefunden $(1^\circ = \frac{\pi}{180})$

$$l_p - l_0 = r \frac{\pi}{180} = \frac{l_0 \cdot 0.025}{90}$$

$$\frac{l_p}{l_0} - 1 = 0.00027,$$

also

$$\gamma = 0.0027.$$

Er ist also von derselben Größenordnung wie der mittlere Ausdehnungscoefficient der Feuchtigkeit per 10% und größer als der Temperaturcoefficient.

Die Änderung, die die Scala des Lambrecht'schen Instrumentes dadurch erleidet, lässt sich nun einfach übersehen. Würde der Hebel equilibriert und die Belastung durch eine constante ersetzt werden, u. zw. diejenige, welche der Hebel in seiner Anfangslage ausübt, so würden die Theilpunkte der einer gleichmäßigen Belastung entsprechenden Scala zuerst zusammenrücken und dann später in der Nähe des Punktes 100 wieder auseinanderrücken. Das ist auch die Ursache, warum die auf Grund gleichmäßiger Belastung construierte Scala mit der von Lambrecht nicht übereinstimmt, indem derselbe die aus der ungleichmäßigen Belastung hervorgehende Veränderung in der angegebenen Weise berücksichtigt. Die im folgenden Abschnitte angeführten Vergleiche zeigen auch, dass ein Fehler in der Theilung nicht constatierbar ist, wenigstens innerhalb jener Grenzen nicht, innerhalb welcher die Genauigkeit des Haarhygrometers selbst liegt.

Lambrecht legt das Hauptaugenmerk auf eine feste solide Construction und eine leichte Justierbarkeit, was sicher einen großen Vorzug hat. Wie im Laufe der Untersuchung sich noch herausstellen wird, ist einmal die Verwendung eines Haarbündels dem Instrumente schädlich, indem ein Koppe'sches, welches bekanntlich nur ein einzelnes Haar besitzt, viel empfindlicher ist, namentlich wenn es sich um große Feuchtigkeitsdifferenzen innerhalb kurzer Zeit handelt. Ein anderer Mangel ist die Einschließung des Haarbündels in einen engen, von zwei breiten Metallstreifen gebildeten Raum. Allerdings wird eine Beschädigung des Instrumentes, namentlich der Haare erschwert, zugleich aber auch die Communication mit der Umgebung. Die Vorrichtung, die im Koppe'schen Instrumente getroffen ist, um zu jeder Zeit den Sättigungsgrad herstellen zu können, hat zwar einen Vortheil, allein nicht jenen, dass das Koppe'sche

Instrument deshalb dem Lambrecht'schen vorzuziehen ist. Lambrecht macht dem Hygrometer von Koppe den Vorwurf, dass ein Theil des Haares auf der Rolle aufgewickelt ist, wodurch eine dem Haare schädliche Krümmung hervorgerufen werde. Dagegen ließe sich aber eine Abhilfe schaffen, wenn man die alte Saussure'sche Form des Hygrometers herstellen und den Theil des Haares, der auf der Rolle aufliegt, durch einen dünnen Silberdraht ersetzen würde. Die Ausdehnung des Drahtes durch die Wärme würde keinen Fehler herbeiführen, da der Ausdehnungscoefficient des Drahtes fast ganz gleich dem des Haares ist, und nur ein Draht von etwa 1 cm Länge nothwendig wäre.

Man kann also sagen, dass sowohl das Instrument von Hermann und Pfister, als auch das von Lambrecht Fehler besitzen, denen aber leicht abgeholfen werden könnte. Lambrecht müsste den Raum etwas vergrößern und bei Anwendung eines Haarbündels die Haare etwas mehr von einander entfernen, also etwa gitterförmig anbringen und das Gitter selbst, um den Vortheil der mechanischen Widerstandsfähigkeit aufrecht zu erhalten, parallel der Zeigerachse anordnen. Das Koppe'sche Instrument hat den Fehler der leichten Zerstorbarkeit und nur einer einzigen Justiervorrichtung.

Die übrigen angeführten Haarhygrometer¹ kommen nicht in Betracht, das Klingerfues'sche und das früher von Lambrecht construierte schon deshalb nicht, weil Lambrecht dieselben überhaupt nicht mehr auszuführen scheint, während das Schubert'sche im Lambrecht'schen Haarhygrometer neuester Construction bereits übertroffen ist.

III.

Experimentelle Untersuchung des Haarhygrometers.

War in den beiden vorigen Abschnitten einerseits die Frage behandelt, respective eine Antwort zu geben versucht worden, warum die Haarhygrometer die relative Feuchtigkeit angeben, andererseits die Vortheile und Mängel der einzelnen Constructionen auseinander gesetzt worden, so befasst sich der nun folgende Abschnitt mit der wichtigsten Frage, nämlich: Haben die Haare wirklich die im I. Abschnitte angegebene Eigenschaft, und wenn nicht, lassen sich Gründe für das gegentheilige Verhalten angeben, respective diese Übelstände beheben und wodurch?

Es wird sich nämlich zeigen, dass Haarhygrometer unter Umständen bis zu mehr als 10% relativer Feuchtigkeit von den absoluten Messungen abweichen, dass diese Abweichungen aber nur in bestimmten Fällen auftreten.

Es könnte vielleicht überflüssig erscheinen, die Haarhygrometer von neuem experimentell zu untersuchen, nachdem bereits eine große Zahl von Physikern, respective Meteorologen, die Frage eingehend behandelt haben. Dass trotzdem ein neuer Versuch gewagt wird, liegt, wie schon eingangs bemerkt wurde, einerseits darin, dass beim internationalen Meteorologen-Comité 1899 diese Frage neu angeregt wurde, andererseits aber darin, dass die bisher angewandten Methoden der Vergleichung auf einem principiellen Fehler beruhen, mit Ausnahme der Untersuchung über die Übereinstimmung zweier Haarhygrometer.

De Saussure konnte derartige Vergleiche überhaupt nicht machen, da er das Dalton'sche Gesetz der Dampfspannung nicht kannte, und die manometrischen Messungen überhaupt mit großen Schwierigkeiten verbunden sind. Immerhin haben aber einige seiner Untersuchungen auch jetzt noch bedeutenden Wert. Gay-Lussac und Prinsep bestimmten wohl die Scala, gaben aber keine Vergleiche der Hygrometer. Regnault gibt in seinen Untersuchungen über die Hygrometer gewöhnlich in kurzen Worten die Resultate an, nie aber, unter welchen Umständen die Versuche erfolgten und wie groß die Abweichungen der directen Messungen von den Angaben des Haarhygrometers sind. Der erwähnte principielle Fehler, der den später verwendeten Methoden anhaftet ist, dass zur Vergleichung als absolutes Instrument das Psychrometer benützt wurde, während dasselbe eben so großen, wenn nicht größeren Fehlern unterworfen

¹ Das vom kais. Rath Schmid in Bruck a. d. Mur nach Art des Zöllner'schen Horizontalpendels (Zöllner, Abhandl. IV, p. 313) construierte Haarhygrometer konnte leider nicht untersucht werden, da dasselbe erst nach Abschluss dieser Untersuchung bekannt wurde.

ist, als das Haarhygrometer. Aber selbst auf Grund dieser Vergleichen fanden Wolf, Koppe, Galle einen mittleren Fehler von höchstens 3^o/₁₀₀, während nach Bergmann die Abweichungen von den Extremen 8^o/₁₀₀ selten überstiegen. Die aus den Untersuchungen von Bergmann hervorgehenden Differenzen können nicht überraschen, wenn man die verschiedene Empfindlichkeit und Abhängigkeit des Psychrometers von der Windgeschwindigkeit in Betracht zieht. Um aber einwurfsfreie Resultate zu erhalten, ist es nothwendig, Vergleichen mit einem absoluten Instrumente vorzunehmen, u. zw. einem solchen.

Nachdem durch die Versuche von de Saussure¹ festgestellt ist, dass nur der Wasserdampf die Haare beeinflusst, während andere Dämpfe keinerlei Wirkung auf dieselben ausüben, dass ferner auch der Luftdruck keine Änderung hervorbringe, kann die experimentelle Untersuchung der Haarhygrometer in folgende Abschnitte getheilt werden:

1. Übereinstimmung gleich justierter Haarhygrometer derselben und verschiedener Construction unter denselben Feuchtigkeitsverhältnissen,
2. Vergleich mit dem Condensationshygrometer und dem Psychrometer.
3. Vergleich mit dem Aspirationspsychrometer von Assmann und dem Psychrometer.
4. Empfindlichkeit (Einstellungsgeschwindigkeit) der Haarhygrometer verschiedener Construction im Vergleiche zum Psychrometer,
5. Wirkung directer Sonnenstrahlung auf Haarhygrometer verschiedener Construction.

Zu den Vergleichen wurden namentlich Lambrecht'sche Hygrometer verwendet, da die Abweichungen derselben von den Koppe'schen, wie sich im 1. Abschnitte zeigen wird, nicht groß sind. Allerdings musste zunächst durch Verlängerung des Hebels die Amplitude vergrößert werden, da Lambrecht seine Hygrometer so justiert, dass der Zeiger in gesättigter Luft 94^o/₁₀₀ relativer Feuchtigkeit angibt.

Die Einstellung geschah in folgender Weise: Das Instrument wurde zunächst in einen mit Wasserdampf gesättigten Raum gebracht, letzterer wurde hergestellt durch Einführung eines nassen Musselinstreifens in einen vorne durch eine Glasplatte, hinten eine Blechwand abgeschlossenen Raum nach Art der Einstellungsmethode von Koppe. Nach den Untersuchungen von R. v. Helmholtz² wird dadurch der Raum innerhalb weniger Minuten gesättigt. Nach 8 bis 10 Minuten rückt der Zeiger auf 94, bewegt sich dann langsam noch etwas weiter, kehrt aber dann wieder auf 94 zurück und bleibt constant. Nun wird die Justierschraube (»Correction«) so weit verstellt, dass der Zeiger 100^o/₁₀₀ angibt.

Wird nun der Apparat wieder in Luft von kleineren Feuchtigkeitsgraden gebracht, so zeigt sich, u. zw. namentlich beim Haarhygrometer von Lambrecht, eine auffallende Erscheinung, die wohl auf die Elasticität des Haares zurückgeführt werden muss: der Zeiger geht nämlich anfangs sehr rasch, später langsamer zurück, bleibt aber nicht an der vor Einführung in gesättigte Luft eingenommenen Stellung stehen, sondern geht noch weiter zurück, um erst nach einigen Stunden constant zu werden. Aber auch dann zeigt er noch um einige Procents zu tief und kommt erst nach einem Tage ungefähr wieder auf den ursprünglichen Stand. Um diese Eigenthümlichkeit, die später nochmals besprochen werden wird, zu illustrieren, mögen einige derartige Versuche mitgetheilt werden, da sie im Abschnitte Empfindlichkeit wieder verwertet werden können.

Man sieht aus der Tabelle I, dass das Haarhygrometer in 8 Minuten von 61 auf 100^o/₁₀₀ rückte, dass es nach weiteren 5 Minuten noch um 1^o/₁₀₀ stieg, später wieder zurückging und dann constant 100·2^o/₁₀₀ angab. Das Instrument blieb nun durch zwei Tage in diesem gesättigten Raume, ohne sich zu ändern, wurde wieder herausgenommen und die relative Feuchtigkeit mittels Condensationshygrometer zu 60·9^o/₁₀₀ bestimmt.

Das Zurückgehen erfolgte nun nicht mehr so rasch, namentlich zu Anfang, was seinen Grund wohl darin hat, dass das Haarbündel durch die Condensation des Wasserdampfes (und eine solche ist während der Nacht sicher eingetreten, da die Temperatur nur um 0·1^o zu sinken braucht) nass wurde und infolgedessen von einer gesättigten Luftsäule umgeben war. Nach 11 Minuten erreichte es den richtigen Stand

¹ De Saussure: Versuch über die Hygrometrie, S. 84.

² R. v. Helmholtz, »Dämpfe und Nebel«. Wiedemanns Annalen, N. F., Bd. 27, 1886, S. 519.

Tabelle I.
Haarhygrometer aus 61 in 100% und aus 100 in 59% rel. Feuchtigkeit.

Zeit	Hygrometer %										
5 ^h 07	61	5 ^h 15	100	5 ^h 00	100	5 ^h 08	65	5 ^h 10	57	5 ^h 24	57
08	71	16	100	01	98	09	63	17	58	25	57
09	77	17	101	02	95	10	62	18	57·5	20	57
10	82	18	101	03	89	11	60	19	58	28	57
11	89	19	100	04	83	12	59	20	57·5		
12	94	20	100	05	70	13	58	21	58		
13	97	22	101	06	72	14	58	22	57·5		
14	91	25	101	07	67	15	57	23	57		

Tabelle II.
Haarhygrometer aus 100% in 42% rel. Feuchtigkeit.

Zeit	Hygrometer %	Zeit	Hygrometer %	Zeit	Hygrometer %	Zeit	Hygrometer %	Zeit	Hygrometer %	Zeit	Hygrometer %
4 ^h 00	100	4 ^h 5·5	44	4 ^h 10·5	41·8	4 ^h 15·5	41·9	4 ^h 20·5	42·0	4 ^h 25·5	41·9
1	70	6	44	11	42·1	10	41·7	21	41·7	20	41·8
1·5	58	6·5	43	11·5	42·4	10·5	41·9	21·5	41·8	20·5	41·9
2	52	7	43	12	42·8	17	42·0	22	41·9	27	42·0
2·5	49	7·5	42·5	12·5	42·8	17·5	42·1	22·5	42·0	27·5	42·1
3	48	8	42	13	42·9	18	42·2	23	41·9	28	41·9
3·5	48	8·5	42	13·5	43·1	18·5	42·5	23·5	42·0	28·5	42·0
4	47	9	42	14	43·2	19	42·2	24	42·1	29	41·8
4·5	40	9·5	42	14·5	42·5	19·5	42·0	24·5	42·0	29·5	41·7
5	45	10	42	15	42·2	20	42·1	25	41·8	30	41·8

59·7% (nach dem Condensationshygrometer), blieb aber nicht stehen, sondern sank um 5^h 15 auf 57% um nun hin und her zu pendeln.

Die zweite Tabelle zeigt genau dasselbe Verhalten, nur erfolgten die Ablesungen nach kürzeren Pausen.

Eine Beeinflussung durch den Beobachter ist ausgeschlossen, da einmal ein zweites Hygrometer dicht neben dem zu untersuchenden aufgestellt war, welches constant 62, respective 43% zeigte, ferner war der Beobachter durch eine Glasscheibe von den Instrumenten getrennt und außerdem die Ablesung aus einer Entfernung gemacht, die eine persönliche Beeinflussung auf ein Minimum reduciert.

Mit dem Koppe'schen Instrumente wurde nun der Versuch gleichzeitig mit einem Lambrecht'schen Instrumente wiederholt. Dabei zeigte sich, dass zwar auch das Koppe'sche Hygrometer um einige Procente zurückgieng, sich aber rascher einstellte als das Lambrecht'sche, wie später (Abschnitt 4) noch untersucht werden wird.

Nachdem das Haarhygrometer einen constanten Stand einnahm, wurde die relative Feuchtigkeit des Raumes mittels Condensationshygrometer von Alluard bestimmt. Die zur Berechnung derselben

erforderliche Kenntnis der Lufttemperatur ergab sich aus der Ablesung des Assmann'schen Aspirations-thermometers. Damit der Eintritt des Thaupunktes bei dem Alluard'schen Instrumente von dem Beobachter nicht beeinflusst werde, geschah die Ablesung des Thermometers des Condensationsapparates mittels Fernrohr. Natürlich musste der Beschlag der blanken Metallfläche mit freiem Auge beobachtet werden, es zeigte sich aber, dass derselbe aus einiger Entfernung viel leichter constatirt werden kann, als in der Nähe des Instrumentes. Außerdem wurde die Vorsicht gebraucht, jede Ablesung, respective jede Bestimmung zu wiederholen, wobei sich ein Fehler sofort bemerkbar machen musste. Bei einiger Übung ist es sehr leicht, das Experiment so auszuführen, dass das Auftreten des Niederschlages und das Verschwinden desselben bei ein und derselben Temperatur erfolgt und dass während dieser Zeit die Temperatur der Flüssigkeit (es wurde Äther verwendet) constant bleibt. Auch wurden die Versuche so gemacht, dass, sobald der Niederschlag auftrat, die Verdampfung des Äthers so regulirt wurde, dass der Niederschlag sich weder verdichtete, noch dass er verschwand. Wenn auch die Condensationsmethode nicht ganz sichere Resultate ergibt, indem nämlich der Thaupunkt etwas zu tief bestimmt wird, so ist der Beobachtungsfehler sicher kleiner als 0.1° . Die daraus und der Temperatur der umgebenden Luft berechnete relative Feuchtigkeit ist daher umso genauer, je größer die Differenz der beiden Thermometerangaben ist; bei einer Differenz von 20° ruft ein Beobachtungsfehler von 0.1° erst eine Abweichung von nicht ganz 0.2% relativer Feuchtigkeit hervor. Der Ablesefehler müsste also mindestens 0.4° betragen, um in der relativen Feuchtigkeit 1% auszumachen. Schwieriger ist die Bestimmung der relativen Feuchtigkeit bei großen und kleinen Werten und bei tiefen Temperaturen derselben. Im Winter ist es z. B. in manchen Fällen gar nicht gelungen, den Äther soweit abzukühlen, dass der Thaupunkt bestimmt werden konnte, und gerade jene Fälle sind von besonderer Wichtigkeit, da das Psychrometer gerade im Winter durch ein anderes Instrument ersetzt werden muss.

Um wieder zur Art der Einstellung zurückzukehren, wurde nun die Amplitude je nachdem das Haarhygrometer einen höheren oder einen niedrigeren Feuchtigkeitsgrad angab als das Condensationshygrometer, vergrößert oder verkleinert, dann wieder in gesättigte Luft gebracht, vom neuen justirt (denn eine Veränderung der Hebellänge erfordert immer eine neue Justirung), und diese Einstellungen so lange fortgesetzt, bis die Angaben des Hygrometers bei ungefähr 60% mit denen des Condensationshygrometers stimmten und außerdem der Zeiger in gesättigter Luft auf dem Theilstrich 100 stand. Auf diese Weise waren eine Reihe von Lambrecht'schen Haarhygrometern justirt worden, welche in den nachfolgenden Untersuchungen verwendet wurden.

I. Übereinstimmung gleich justirter Haarhygrometer in gleichen Feuchtigkeitsverhältnissen.

Zehn gleich justirte Haarhygrometer wurden den Veränderungen der Luftfeuchtigkeit ausgesetzt; sie waren in einem Häuschen aufgestellt, welches durch acht Fenster mit dem Freien in Verbindung stand und nach Bedarf abgeschlossen werden konnte. Diese Aufstellung wurde deshalb gewählt, um gleichzeitig auch die Bestimmung der relativen Feuchtigkeit mit dem Condensationshygrometer vornehmen zu können, obwohl nach den Untersuchungen von Hazen eine geringe Luftbewegung das Condensationshygrometer nicht beeinflusst; hauptsächlich geschah aber diese Einschließung deshalb, um die Ablesungen immer unter denselben Windverhältnissen, d. h. bei Windstille machen zu können.

Die Angaben dieser Instrumente brauchen wohl nicht in extenso wiedergegeben zu werden, denn nach den Untersuchungen von Saussure, Regnault, Koppe, Wolf, Galle und Trowbridge, welche allerdings nur zwei Hygrometer verglichen, ist die Übereinstimmung eine sehr zufriedenstellende, die Abweichungen erreichen höchstens den Betrag von 2 bis 3% , wie auch aus allen folgenden Tabellen hervorgeht, in welchen überall die Angaben von zwei oder drei Hygrometern angeführt sind. Nach den Untersuchungen von Galle weichen dagegen zwei Psychrometer in bedeutend höheren Grade ab, man findet

Abweichungen von mehr als 10⁰/₀; allerdings dürfte ein Theil derselben der verschiedenen Aufstellung der Psychrometer zuzuschreiben sein, indem das eine an einem Nord-, das andere an einem Ost-Fenster aufgestellt war. Eine kurze Reihe von Beobachtungen zweier neben einander aufgestellter Psychrometer ergab Abweichungen bis zu 4⁰/₀, die unter allen Umständen größer sind als bei den Haarhygrometern.

Man kann daraus also schließen: Haarhygrometer derselben Construction, die denselben Feuchtigkeitsverhältnissen ausgesetzt sind, stimmen mit einander fast vollständig überein, die Abweichungen überschreiten selten den Betrag von 2⁰/₀ relativer Feuchtigkeit.

Es fragt sich nun, wie stimmen Haarhygrometer verschiedener Constructionen, also die am meisten gebräuchlichen, von Lambrecht und Koppe mit einander überein? Eine genaue Übereinstimmung kann von vorneherein nicht erwartet werden, da die Empfindlichkeit zweier derartiger Instrumente eine wesentlich verschiedene ist, die Übereinstimmung also wesentlich von den mehr oder weniger raschen Veränderungen in der Luftfeuchtigkeit abhängig ist.

Es waren durch längere Zeit derartige Ablesungen gemacht worden, u. zw. zu den Terminbeobachtungen. Die Tabelle III enthält die Resultate, wobei die Angaben des Lambrecht'schen Hygrometers arithmetisch geordnet wurden und die erste Ziffernreihe die Anzahl der Beobachtungen der darunterstehenden Angaben des Lambrecht'schen Instrumentes, die dritte Reihe die Mittel aus den gleichzeitigen Angaben des Koppe'schen Instrumentes, die vierte die Differenzen gibt.

Tabelle III.

Vergleich der Hygrometer von Lambrecht und Koppe.

Z a h l der B e o b a c h t u n g e n	1	1	4	1	2	1	1	M ¹ / ₁₁
Lambrecht	30	40	44	45	47	48	49	44·5
Koppe	35	44	45·2	47	50	49	50	45·8
Differenz	+ 1	- 2	- 1·2	- 2	- 3	- 1	- 1	- 1·3
Größte Abweichung . . .	+ 1	- 2	- 3	- 2	- 5	- 1	- 1	
Koppe — 1·10 ⁰ / ₀	33·9	42·9	44·1	45·9	48·9	47·9	48·9	44·7
Differenz	+ 2·1	- 0·9	0·1	0·9	- 1·9	- 0·1	- 0·1	- 0·2

Z a h l der B e o b a c h t u n g e n	1	2	2	2	2	5	3	6	2	M ¹ / ₂₅
Lambrecht	51	52	53	54	55	56	57	58	59	55·8
Koppe	55	55	55·5	56·3	57	57	58·3	59	60·5	57·5
Differenz	- 4	- 3	- 2·5	- 2·3	- 2	- 1	1·3	1	- 1·5	1·7
Größte Abweichung . . .	- 4	3	- 3	- 4	2	3	4	3	- 2	
Koppe — 1·10 ⁰ / ₀	53·9	53·9	54·4	55·2	55·9	55·9	57·2	57·9	59·4	56·4
Differenz	- 2·9	- 1·9	- 1·4	- 1·2	- 0·9	+ 0·1	- 0·2	+ 0·1	- 0·4	0·6

Zahl der Beobachtungen	1	5	8	4	4	1	0	0	8	2	M ¹ / ₄₅
Lambrecht	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	04.8
Koppe	61	62.5	64.1	65.0	65.5	67	67.0	68.5	68.8	68.0	06.1
Differenz	1	1.2	2.1	2.0	1.5	2.0	1.0	1.5	0.5	0.1	1.3
Größte Abweichung . . .	1	3	5	3	3	2	4	4		2	
Koppe — 1.10/0	59.9	61.4	63.0	63.9	64.4	65.9	65.9	67.4	67.7	67.8	05.0
Differenz	0.1	0.4	1.0	0.9	0.4	0.9	0.1	0.4	0.3	1.2	0.2

Zahl der Beobachtungen	4	7	8	3	4	3	7	2	5	5	M ¹ / ₄₈
Lambrecht	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	74.2
Koppe	69.9	71.2	73.0	73.3	74.4	75.8	77.5	78.3	79.2	80.0	75.0
Differenz	+ 0.1	0.2	1.0	0.3	0.4	0.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.8
Größte Abweichung . . .	2	2	3	4	2		3	4	0	2	
Koppe — 1.10/0	68.8	70.1	71.9	72.2	73.3	74.7	76.4	77.2	78.1	78.9	73.9
Differenz	+ 1.2	+ 0.9	+ 0.1	+ 0.8	+ 0.7	0.3	0.4	0.2	0.1	+ 0.1	+ 0.3

Zahl der Beobachtungen	4	0	7	0	2	2	2	2	2	2	M ¹ / ₃₃
Lambrecht	80	81	82	83	84	85	86	87	89	83.0	
Koppe	81.1	82.3	83.5	85.0	85.0	88.0	87.0	89.0	89.0	84.3	
Differenz	1.1	1.3	0.5	2.0	1.0	3.0	1.0	2.0	0.0	1.3	
Größte Abweichung . . .	2	3	2	2	1	3	2	2	0		
Koppe — 1.10/0	80.0	81.2	81.4	83.9	83.9	86.9	85.9	87.9	87.9	83.2	
Differenz	0.0	0.2	+ 0.6	0.9	+ 0.1	1.9	+ 0.1	0.9	+ 1.1	0.2	

Zahl der Beobachtungen	1	2	5	3	9	0	9	0	8	0	M ¹ / ₅₅
Lambrecht	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	95.5
Koppe	93	92.2	92.0	92.5	95.0	94.9	97.1	96.7	97.7	99.2	95.8
Differenz	3	1.2	0.6	+ 1.5	1.0	+ 0.1	1.1	+ 0.3	+ 0.3	0.2	0.3
Größte Abweichung . . .	3	3	4	3	3	2	3	2	1	2	
Koppe — 1.10/0	91.9	91.1	91.5	91.4	93.9	93.8	96.0	95.0	96.0	98.1	94.7
Differenz	+ 1.9	0.1	+ 0.5	+ 1.0	+ 0.1	+ 1.2	0.0	+ 1.4	+ 1.4	+ 0.9	+ 0.8

Die beiden Hygrometer stimmen also gut überein, die Abweichung ist fast durchaus eine negative, sie schwankt zwischen + 1.5 und - 4.0‰; sieht man von letzterer, die nur aus einer einzigen Beobachtung gewonnen wurde, ab, zwischen + 1.5 und - 3.0‰. Die Unterschiede in den Angaben des Koppe'schen Hygrometers bei einer und derselben Angabe des Lambrecht'schen überschreiten nicht den Betrag von 6‰, wie die Zeile »größte Abweichung« zeigt. Die Übereinstimmung ist eine noch bessere, wenn der Stand des Koppe'schen Hygrometers um 1.1‰ corrigiert wird, wie es in der vorletzten Zeile der Tabelle geschehen ist. Die größten Abweichungen finden sich zwischen 50 und 60‰, - 2.9 und + 1.0, dagegen kann aber vorgebracht werden, dass die Differenz - 2.9 einer einzigen Beobachtung entsprungen ist, also ein bedeutend kleineres Gewicht hat, als die übrigen. Die Abweichungen sind im allgemeinen umso kleiner, je größer die Zahl der Beobachtungen ist.

2. Vergleich der Haarhygrometer mit dem Condensationshygrometer von Alluard.

In der auf Seite 14 [280] angegebenen Weise wurde nun die Vergleichung der Haarhygrometer, die in der Seite 15 [281] besprochenen Art aufgestellt waren, mit dem Condensationshygrometer vorgenommen. Die folgende Tabelle IV enthält die diesbezüglichen Resultate, sie sind in der Reihenfolge der Beobachtungen (mit Ausnahme der letzten) angeführt. Die Beobachtungen wurden im August und September 1900 und ein Theil derselben im Laboratorium während des Winters gemacht.

Sie sind in vier Gruppen getheilt, die Differenzen, gebildet aus den Angaben des Condensationshygrometers und denen der Hygrometer, sind fast immer negativ, was seinen Grund wohl in der zu niedrigen Bestimmung des Thaupunktes hat. Die großen positiven Differenzen von 4.1 und 4.6‰ sind auf einen zu raschen Wechsel der Feuchtigkeit zurückzuführen, welchem die Hygrometer nicht folgen

Tabelle IV.

Vergleich von Haarhygrometern mit dem Condensationshygrometer.

Condensationshygrometer			Haarhygrometer			Differenz			Condensationshygrometer			Haarhygrometer			Differenz			
Temperatur	Thaupunkt	relative Feuchtigkeit	H ₁	H ₂	H ₃	C-H ₁	C-H ₂	C-H ₃	Temperatur	Thaupunkt	relative Feuchtigkeit	H ₁	H ₂	H ₃	C-H ₁	C-H ₂	C-H ₃	
																		Procent
20.9	17.4	50.1	55	50	50	+1.1	+0.1	+0.1	19.8	6.2	41.2	45	46	46	3.8	-4.8	-4.8	
28.3	17.1	50.7	50	50	51	+0.7	+0.7	0.3	20.4	7.6	44.2	46	47	47	1.8	-2.8	-2.8	
29.1	17.6	49.1	45	46	46	+4.1	+3.1	+3.1	20.5	6.1	39.2	43	43	43	-3.8	-3.8	-3.8	
29.7	10.8	45.8	46	47	48	0.2	1.2	2.2	21.6	0.6	38.0	42	43	43	-4.0	-5.0	-5.0	
29.5	17.4	48.0	48	49	49	0.0	1.0	-1.0	19.6	10.9	57.3	57	58	57	+0.3	0.7	+0.3	
29.4	17.1	47.9	48	49	49	0.1	1.1	1.1	18.4	7.9	50.6	52	53	54	-1.4	-1.4	3.4	
29.4	17.3	48.2	49	49	50	-0.8	-0.8	-1.8	20.9	8.0	50.0	49	50	49	+1.0	0.0	+1.0	
27.5	18.4	58.0	61	62	63	3.0	4.0	5.6	19.9	11.4	57.0	50	57	58	+1.0	0.0	-1.0	
26.3	17.3	57.7	59	59	60	-1.3	1.3	-2.3	19.9	11.7	59.3	58	59	59	+1.3	+0.3	+0.3	
25.9	17.7	60.6	60	61	61	+0.6	0.4	0.4	19.6	13.2	66.0	66	67	67	+0.6	-0.4	-0.4	
25.7	17.7	61.4	63	63	63	-1.6	-1.6	-1.6	18.6	16.2	80.0	90	91	92	-4.0	-5.0	-6.0	
19.1	7.3	46.4	48	48	49	1.6	1.6	2.6	18.2	16.3	88.7	92	93	93	-3.3	-4.3	-4.3	
Mittel	27.2	16.6	52.5	52.7	53.3	53.8	-0.2	0.8	1.3	19.8	10.2	50.5	58.0	58.9	59.0	-1.5	-2.4	-2.5

Condensationshygrometer			Haarhygrometer			Differenz			Condensationshygrometer			Haarhygrometer			Differenz				
Temperatur	Thaupunkt	relative Feuchtigkeit	H ₁	H ₂	H ₃	C	H ₁	H ₂	H ₃	Temperatur	Thaupunkt	relative Feuchtigkeit	H ₁	H ₂	H ₃	C	H ₁	H ₂	H ₃
19°4	15°7	78·7	77	78	78	+1·7	+0·7	+0·7	12·7	3·0	54·0	59	60	60	-5·0	-6·0	-8·0		
19·8	13·8	68·4	60	68	69	+2·4	+0·4	0·0	9·0	-3·0	42·9	43	45	47	0·1	2·1	4·1		
21·0	15·5	70·9	69	70	72	+1·9	+0·9	1·1	11·9	5·5	60·0	50	58	58	+4·6	+2·0	+2·0		
21·0	15·0	66·1	68	68	69	-1·9	-1·9	-2·9	22·7	15·9	65·5	66	66	66	0·5	+0·5	-0·5		
20·0	14·5	70·6	71	71	72	-0·4	0·4	1·4	20·1	14·2	68·0	68	69	69	+0·9	-0·1	0·1		
20·5	14·9	70·3	69	70	70	+1·3	+0·3	+0·3	20·6	14·5	68·0	67	68	68	+1·0	0·0	0·0		
20·4	14·7	69·5	68	70	71	+1·5	0·5	1·5	20·7	14·8	69·0	69	70	70	0·0	1·0	-1·0		
22·2	10·7	48·2	51	52	52	-2·8	-3·8	-3·8	25·9	17·7	60·0	61	62	61·5	-0·4	-1·4	-0·9		
23·5	11·0	45·0	49	49	50	-4·0	-4·0	-5·0	13·8	6·8	62·0	59	60	60	+3·9	+2·9	+2·9		
7·3	-1·4	54·2	53	54	56	+1·2	+0·2	1·8	13·9	7·4	60·1	67	67	68	1·9	1·9	-2·9		
10·9	2·5	45·0	55	50	58	-9·4	-10·4	-12·4	11·4	3·8	60·0	60	62	62	0·0	-2·0	-2·0		
14·1	6·9	62·0	65	60	68	-3·0	-4·0	-6·0											
Mittel	18·4	11·2	62·5	63·4	64·3	0·9	-1·8	-2·9	16·0	2	61·0	61·4	62·4	62·9	+0·2	0·8	-1·3		

konnten: im ersten Falle war nämlich im Häuschen, in welchem die Ablesungen gemacht wurden, Wasser verschüttet worden, dasselbe verdampfte bei der hohen Lufttemperatur sehr rasch und erhöhte die Feuchtigkeit beträchtlich, um sie ebenso schnell wieder zum Sinken zu bringen, außerdem muss bemerkt werden, dass der im Condensationshygrometer befindliche Äther durch Aspiration immer eine dem Thaupunkte nahe Temperatur hatte, so dass eine rasche Bestimmung möglich war; die andere Differenz von $-4\cdot6\%$ erklärt sich daraus, dass die Instrumente vor der Ablesung in gesättigter Luft sich befanden, in welchem Falle sie, wie bereits bemerkt, immer zu tiefe Angaben liefern. Die abnorm großen negativen Differenzen von $-9\cdot4$ und $-12\cdot4\%$ finden eine Erklärung in der folgenden, für die Behandlung der Haarhygrometer wichtigen Erscheinung: Das Haarhygrometer Nummer 26 wurde nach den Beobachtungen im Laufe des September in das Laboratorium des Institutes gebracht, woselbst sich die Feuchtigkeit während des Tages nur wenig ändert. Seine Angaben stimmten anfangs sehr gut, doch rückte es nach einiger Zeit immer mehr in die Höhe, die Differenz Condensationshygrometer—Haarhygrometer erreichte nach $1\frac{1}{2}$ Monaten den Betrag von -13% . Ein anderes ebenso justiertes Hygrometer Nummer 19 zeigte am 15. December 1900 67% , stimmte mit dem Condensationshygrometer und gab dann folgende Werte:

Tag	15	17	19	21	23	25	28	30	1	3	5
Condensationshygrometer	67	69	70	70	69	69	64	64	64	64	64
Haarhygrometer %	67	69	70	71	71	69	67	67	67	67	70
Differenz %	0	0	0	1	2	3	3	3	3	-3	6

Innerhalb 20 Tagen nahm also die Differenz von 0 bis -6% ab. Dieselbe Erscheinung zeigte sich bei allen anderen im Laboratorium aufgestellten Instrumenten.

Wurde nun ein derartiges Instrument in gesättigte Luft gebracht, so stellte es sich auf 100% , an der Justierung hatte sich also nichts geändert: aus dem Kästchen herausgenommen, functionierte das Instrument wieder tadellos, nur dass es anfangs etwas zu kleine Werte gab.

Bei den Instrumenten, die im Freien aufgestellt waren, zeigte sich diese Erscheinung nicht, wie die übrigen Differenzen der Tabelle IV und die späteren Tabellen lehren, welche die im Freien angestellten Beobachtungen enthalten.

Wird die Theorie von Sresnevsky angenommen, so kann diese Thatsache vielleicht durch die Elasticität des Haares erklärt werden, indem das Haar allmählich unter Überwindung des auf dasselbe ausgeübten Zwangszustandes seine normale Länge zu erreichen strebt und sich infolgedessen ausdehnt. Wenn gesagt wird, dass irgend ein elastischer Körper durch beständige Belastung allmählich seine Elasticität verliert und eine dauernde Deformation erhält, was also einer Verkürzung des Haares entsprechen würde, so kann dagegen erwidert werden, dass das Haar nach den Beobachtungen immer wieder seine normale Länge annahm, wenn es mit gesättigter Luft umgeben wurde, eine dauernde Veränderung also nicht eingetreten sein konnte.

Um wieder zur früheren Untersuchung zurückzukehren, differirten die Hygrometer um höchstens 4% von den Angaben des Condensationshygrometers, im Mittel aber um 1 bis 2% , u. zw. sind die Abweichungen negativ.

Ein Einfluss der Temperatur kann nicht constatiert werden, es kommen die gleichen Abweichungen, sowohl bei hohen als auch bei tieferen Temperaturen vor, und ist überhaupt eine Gesetzmäßigkeit, selbst wenn die Werte in anderer Weise geordnet werden, nicht zu bemerken.

Noch eine andere absolute Bestimmung ist hier anzuführen, nämlich die Prüfung des Instrumentes auf den Nullpunkt. Ein Lambrecht'sches Hygrometer wurde in einem Kästchen mittels Wachskolophonium abgeschlossen und trockene Luft unten zugeleitet, die im Kästchen befindliche oben abgeleitet, so dass die trockene Luft den ganzen Raum bestreichen musste. Getrocknet wurde die Luft, indem dieselbe mittels einer Pumpe durch eine Reihe von Flaschen mit concentrirter Schwefelsäure geleitet wurde; die aus dem Kästchen austretende Luft musste ebenfalls eine solche Flasche passieren, so dass von dieser Seite ein Eindringen von Feuchtigkeit ausgeschlossen war.

Allerdings konnte eine so rasche Austrocknung des Raumes und Haarbüschels nicht beobachtet werden, wie sie Fleischer¹ fand, nämlich in 105 Minuten; das Experiment nahm eine Zeit von 24 Stunden in Anspruch, und auch dann stellte sich der Zeiger nicht auf 0, sondern auf 4% . Ein zweites Instrument zeigte dasselbe Verhalten. Nun wurde bei den vorher angeführten Vergleichen fast durchaus eine negative Correction gefunden, während der Punkt 100% durch directe Justierung bestimmt worden war; würde also die Amplitude der Instrumente nur ein wenig vergrößert, so würden einerseits die negativen Differenzen verschwinden, andererseits aber auch der Nullpunkt erreicht werden.

3. Vergleich der Haarhygrometer mit dem Condensationshygrometer und dem Psychrometer.

Die Übereinstimmung der Haarhygrometer mit dem Condensationshygrometer ist zwar nicht eine vollkommene, immerhin aber eine ganz gute zu nennen, und es entsteht nun die Frage, welches von den Instrumenten, Haarhygrometer oder Psychrometer, liefert richtigere Daten? Verlässlicher ist jedenfalls jenes Instrument zu nennen, bei welchem nicht das Mittel aus einer größeren Reihe von Differenzen zwischen seinen und den Angaben eines absoluten Instrumentes sehr klein ist, sondern dasjenige, bei welchem die Maxima und Minima der Abweichungen von dem Mittelwerte derselben am wenigsten verschieden sind, u. zw. für alle Werte, die möglich sind.

Nun wurde bereits eingangs erwähnt, dass die Windgeschwindigkeit beim Psychrometer eine Hauptrolle spielt. Stellt sich nun heraus, dass die Haarhygrometer von der Windgeschwindigkeit nur nebensächlich berührt werden, dass die Hygrometer in jedem Falle kleinere Abweichungen zeigen, so ist der Beweis für die Verwendbarkeit der Haarhygrometer erbracht.

¹ Fleischer, Das Hygrometer im Exsiccator. Zeitschrift für Instrumentenkunde, Jahrg. 1884.

Die Tabelle V enthält die diesbezüglichen Beobachtungen. Condensationshygrometer von Alluard, welches in der früher angegebenen Weise abgelesen wurde, ein Standpsychrometer, ferner ein Psychrometer, welches durch Hin- und Herschwingen leicht ventiliert wurde (die Windgeschwindigkeit, welche dadurch erreicht wurde, ist ungefähr die mittlere, was man auch daraus sieht, dass die entsprechenden Jelinek'schen Tafeln entnommene relative Feuchtigkeit mit dem Condensationshygrometer im allgemeinen in guter Übereinstimmung steht).

Tabelle V.

Vergleich von Psychrometer und Haarhygrometer mit dem Condensationshygrometer von Alluard.

Gruppe	Condensationshygrometer			Standpsychrometer			Psychrometer ventiliert			Haarhygrometer			Differenz					
	Temperatur	Thaupunkt	relative Feuchtigkeit %	trocken	feucht	relative Feuchtigkeit %	trocken	feucht	relative Feuchtigkeit	H ₁	H ₂	H ₃	C - P	C - P ₁	C - H ₁	C - H ₂	C - H	
I	17.4	0.3	31.5	10.8	10.8	42	—	—	—	30	31	32	-10.5		+1.5	+0.5	0.5	
	19.9	2.2	31.0	19.4	12.0	39	—	—	—	29	29	31	-8.0		+2.0	+2.0	0.0	
	19.6	1.0	30.2	19.0	13.0	47	—	—	—	30	31	32	-10.8		+0.2	-0.8	1.8	
M 1/3			30.9			42.7				29.7	30.3	31.7	-11.8		+1.2	+0.0	0.8	
II	17.5	0.8	49.0	17.0	12.9	55	17.9	12.9	55	53	53	54	-5.4	0.4	3.4	-3.4	-4.4	
	19.3	7.8	47.4	19.4	14.4	55	19.4	13.4	47	51	51	51	-7.0	0.4	3.6	3.6	3.0	
	19.2	8.4	49.7	19.5	14.2	52	19.6	13.7	49	52	52	53	-2.3	0.7	-2.3	-2.3	-3.3	
	7.6	2.5	49.0	7.1	3.9	55	7.5	8.4	49	52	52	53	0.0	0.0	3.0	3.0	4.0	
	10.4	5.8	49.2	10.4	11.7	54	10.4	11.3	50	49	49	50	-4.8	0.8	0.2	0.2	0.8	
	18.1	6.0	47.2	18.0	12.8	51	18.2	12.0	48	48	48	49	-7.8	0.8	0.8	0.8	1.8	
	6.4	5.0	44.1	6.8	2.8	44	6.5	2.0	44	45	45	40	+0.1	0.1	0.9	0.9	1.9	
	7.1	4.9	42.0	7.3	3.3	47	7.2	3.1	43	44	45	45	-4.4	0.4	1.4	2.4	2.4	
	5.3	5.7	45.3	5.1	1.9	51	5.2	1.7	47	40	40	47	-5.7	1.7	0.7	0.7	1.7	
	4.3	6.9	43.8	4.4	1.0	47	4.3	0.8	44	45	45	40	-3.2	0.2	1.2	1.2	2.2	
	6.2	4.5	40.4	6.3	2.9	51	6.3	2.0	40	48	48	49	-4.0	0.4	1.0	1.0	2.0	
9.7	0.9	47.2	9.9	0.1	51	9.7	5.0	48	48	49	50	-3.8	0.8	0.8	1.8	2.8		
8.4	3.4	43.5	8.4	4.1	48	8.4	5.0	42	45	45	47	-4.5	1.5	1.5	1.5	3.5		
9.2	2.1	45.2	9.3	5.7	53	9.3	5.1	40	40	47	48	-7.8	0.8	0.8	1.8	2.8		
M 1/11			46.4			51.0				46.6	48.0	48.2	49.1	-4.8	0.2	1.0	1.8	2.7
III	20.8	10.3	52.0	27.0	21.3	54	27.0	20.9	49	48	50	51	-1.4	3.6	4.6	2.6	1.6	
	10.5	8.3	58.5	10.4	13.4	09	16.4	13.2	08	62	63	64	-10.5	9.5	3.5	4.5	5.5	
	16.7	8.4	58.1	16.5	13.3	08	16.7	13.4	07	61	62	63	-9.9	8.9	-2.9	3.9	4.9	
	16.8	8.5	58.2	17.0	13.1	02	17.0	13.0	01	60	59	61	-3.8	2.8	1.8	0.8	2.8	
	17.2	8.1	55.8	17.2	13.0	59	17.3	13.0	58	59	58	59	-3.8	2.8	3.8	2.8	3.8	
	18.1	8.3	55.0	17.4	12.9	59	18.0	13.0	58	55	55	50	-6.0	5.0	2.0	2.0	3.0	
	18.2	7.8	50.8	18.0	13.4	57	18.5	13.4	53	53	53	54	-6.2	2.2	2.2	2.2	3.2	
18.1	7.7	51.0	18.2	13.0	57	18.4	13.5	54	54	55	55	-6.0	3.0	3.0	4.0	4.0		
17.4	8.8	57.1	17.8	13.2	01	17.6	13.4	60	57	58	59	-3.9	2.9	0.1	0.9	1.9		
M 1/9			55.0			60.7				58.7	50.6	57.0	58.0	-5.7	3.7	1.6	2.0	3.0

Gruppe	Condensations- hygrometer			Standpsychrometer			Psychrometer ventiliert			Haarhygrometer			Differenz				
	Temperatur	Thaupunkt	relative Feuchtigkeit 0-100	trocken	feucht	relative Feuchtigkeit 0-100	trocken	feucht	relative Feuchtigkeit	H ₁	H ₂	H ₃	C-P	C-P ₁	C-H ₁	C-H ₂	C-H ₃
IV	17.8	9.2	57.2	17.8	13.0	60	17.8	13.4	59	58	58	60	-2.8	-1.8	-0.8	-0.8	-1.8
	18.8	9.3	54.1	18.2	14.2	62	18.4	13.4	54	55	55	50	-7.9	+0.1	-0.9	-0.9	-1.9
	19.0	9.7	55.5	18.4	14.0	63	19.0	14.4	58	57	57	58	-7.5	-2.5	-1.5	-1.5	-2.5
	19.0	10.2	50.8	18.4	14.8	65	19.0	14.5	58	58	58	59	-8.2	-1.2	-1.2	-1.2	-2.2
	17.2	17.1	51.0	17.3	13.0	58	17.3	12.4	53	54	54	55	-6.4	-1.4	-2.4	-2.4	-3.4
	17.4	8.8	57.4	17.6	14.2	67	17.4	13.2	59	61	61	62	-9.6	-1.6	-3.6	-3.6	-4.6
	17.2	6.9	50.9	17.4	12.4	52	17.4	12.2	51	53	54	54	-1.1	-0.1	-2.1	-3.1	-3.1
	19.7	9.3	51.2	19.4	14.7	57	19.8	14.4	52	53	54	55	-5.8	-0.8	-1.8	-2.8	-3.8
	19.8	9.5	51.5	19.8	15.2	58	19.8	14.4	52	54	54	55	-6.5	-0.5	-2.5	-2.5	-3.5
V	17.0	9.5	59.1	17.6	14.0	65	17.6	13.6	61	58	59	60	-5.9	-1.9	+1.1	+0.1	-0.9
	10.4	8.5	59.7	10.5	13.2	67	10.6	12.7	61	60	60	61	-7.3	-1.3	-0.3	-0.3	-1.3
	17.8	8.7	56.2	17.6	13.6	61	17.6	13.0	56	56	56	57	-4.8	+0.2	+0.2	+0.2	-0.8
	18.7	9.3	54.4	18.9	14.4	58	19.0	13.8	52	50	50	50	-3.6	+2.4	-1.6	-1.6	-1.6
	19.5	10.3	55.4	19.5	15.1	61	19.5	14.5	55	50	57	57	-5.6	+0.4	-0.6	-1.6	-1.6
	18.5	9.7	50.6	18.4	14.2	60	18.4	13.8	57	58	58	59	-3.4	-0.4	-1.4	-1.4	-2.4
	10.5	1.5	52.8	10.4	7.2	60	10.4	7.2	60	53	53	54	-7.2	-	-0.2	-0.2	-1.2
	7.3	1.4	54.2	7.4	4.8	62	7.4	4.8	62	53	54	50	-7.8	-	+1.2	+0.2	-0.8
	7.3	3.0	50.0	7.1	3.9	56	7.1	3.9	56	49	51	53	-4.4	-	+1.6	-0.4	-2.4
M ¹ / ₉			54.0			60.2			55.1	55.9	50.1	57.1	-6.2	-1.1	-1.9	-2.1	-3.1
M ¹ / ₉			55.5			61.0			—	55.4	50.0	57.0	-5.5	-	+0.1	-0.5	-1.5
M ¹ / ₆			50.9			62.0			57.0	57.3	57.7	58.3	-5.1	-0.1	-0.4	-0.8	-1.4
M ¹ / ₂₇			54.8			60.6			—	50.0	50.4	57.3	-5.8	-	-1.2	-1.6	-2.5
M ¹ / ₂₁			55.1			60.8			50.9	50.5	50.8	57.8	-5.7	-1.8	-1.4	-1.7	-2.7
VI	18.0	12.1	67.3	18.1	15.2	72	18.2	14.8	67	72	72	72	-9.7	+0.3	-4.7	-4.7	-4.7
	19.5	12.1	62.3	19.6	15.8	65	19.6	15.3	61	63	62.5	63	-2.7	+1.3	-0.7	-0.2	-0.7
	19.8	11.9	60.5	20.0	10.2	66	19.9	15.6	61	61	61.2	61	-5.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.5
	17.2	9.7	61.3	17.2	13.2	61	17.2	13.3	62	62	62	63	+0.3	-0.7	-0.7	-0.7	-1.7
	10.6	10.2	60.0	10.9	13.9	70	10.8	13.4	66	66	66	67	-4.0	0.0	0.0	0.0	-1.1
	17.4	11.1	68.4	10.3	14.0	70	10.7	13.2	65	74	74	75	-7.6	+3.4	-5.6	-5.6	-6.6
	15.8	7.7	67.1	16.4	14.0	75	16.2	13.8	67	72	72	73	-7.9	+0.1	-4.9	-4.9	-5.9
	19.8	14.0	69.3	19.8	16.8	72	20.0	16.3	68	70	70.5	71	-7.7	+1.3	-0.7	-1.2	-1.7
	19.0	11.8	63.1	19.0	15.4	66	18.8	14.9	63	64	64	64	-2.9	+0.1	-0.9	-0.9	-0.9
15.4	8.7	63.0	14.9	12.4	73	15.4	12.7	71	68	68	69	-10.0	-8.0	-5.0	-5.0	-6.0	
M ¹ / ₁₀			64.8			69.6			65.1	67.2	67.2	67.8	-4.8	-0.3	-2.4	-2.4	-3.0

Digitized by the Harvard University Library of the Museum of Comparative Zoology (Cambridge, MA); Original Downloaded from The Biodiversity Heritage Library on 09/11/2014

Gruppe	Condensations- hygrometer			Standpsychrometer			Psychrometer ventilirt			Haarhygrometer			Differenz				
	Temperatur	Thaupunkt	relative Feuchtigkeit 0/10	trocken	feucht	relative Feuchtigkeit 0/10	trocken	feucht	relative Feuchtigkeit	H ₁	H ₂	H ₃	C - P	C - P ₁	C - H ₁	C - H ₂	C - H ₃
in Procenten																	
VII	10°3	8°6	60·5	10°4	13°0	66	10°2	12°2	63	63	63	64	- 5·5	- 5·5	- 2·5	- 2·5	- 3·5
	16·7	8·9	60·0	16·9	13·5	66	16·8	13·1	63	61	62	63	- 6·0	- 3·0	- 1·0	- 2·0	- 3·0
	10·0	10·1	65·5	17·2	14·0	68	16·4	13·2	68	67	67	67	- 2·5	- 2·5	- 1·5	- 1·5	- 1·5
	15·8	10·1	69·9	16·0	13·8	71	16·1	13·0	68	70	69	70	- 1·1	+ 1·9	- 0·1	+ 0·9	- 0·1
	16·0	10·1	68·0	16·3	13·7	73	15·8	13·0	71	69	69	69	- 5·0	- 3·0	- 1·0	- 1·0	- 1·0
	10·4	8·6	60·0	15·8	12·8	68	16·1	12·2	60	62	62	63	- 5·0	- 5·0	- 2·0	- 2·0	- 3·0
	13·0	0·7	63·6	13·4	11·0	73	-	-	-	60	61	61·5	- 3·4	-	+ 3·6	+ 2·6	+ 2·1
	15·7	8·7	63·5	15·7	12·8	69	-	-	-	65	66	66	- 5·5	-	- 1·5	- 2·5	- 2·5
	7·4	0·6	60·1	7·8	5·0	61	-	-	-	60	62	62	- 1·0	-	- 0·0	- 2·0	- 2·0
- 0·3	- 5·9	60·1	- 0·3	- 1·8	62	-	-	-	60	61	67	+ 4·1	-	+ 0·1	- 0·9	- 0·9	
M 1/10			63·7			67·7			-	64·3	64·8	65·2	- 4·0	-	- 0·6	- 1·1	- 1·5
M 1/6			64·0			68·7			65·5	65·5	65·3	66·0	- 4·7	- 1·5	- 1·3	- 1·3	- 2·0
M 1/20			64·3			68·7			-	65·8	66·0	66·5	- 4·4	-	- 1·5	- 1·7	- 2·2
M 1/16			64·4			68·2			65·3	66·3	66·3	66·9	- 4·8	- 0·9	- 1·9	- 1·9	- 2·5
VIII	15°6	10°1	70·0	15°8	13°6	77	15°5	13·1	77	75	76	77	- 7·0	- 5·0	- 5·0	- 6·0	- 7·0
	14·9	10·8	76·0	16·0	13·7	79	15·7	13·1	73	76	77	78	+ 0·6	+ 3·6	+ 0·6	- 0·4	- 1·4
	17·4	12·2	72·5	17·5	15·1	76	17·0	15·5	77	75	75	75	- 3·5	- 4·5	- 2·5	- 2·5	- 2·5
	13·7	9·6	70·7	13·7	11·8	79	13·6	11·6	78	81	82	83	- 2·3	- 1·3	- 4·3	- 5·3	- 6·3
	8·3	4·5	77·0	8·4	7·0	81	8·3	6·7	78	74	74	75	- 4·0	- 1·0	+ 3·0	+ 3·0	+ 2·0
	2·9	0·4	77·7	2·9	1·9	82	2·9	1·8	80	78	77	80	- 4·3	- 2·3	- 0·3	- 1·3	- 2·3
	18·0	12·9	72·2	17·9	15·4	76	18·6	15·2	73	74	74	76	- 3·8	- 0·8	- 1·8	- 1·8	- 3·8
	18·2	13·0	72·0	18·2	15·7	75	18·2	15·4	73	76	76	77	- 3·0	- 1·0	- 4·0	- 4·0	- 5·0
	18·2	13·2	73·0	18·3	15·7	74	18·2	15·4	73	77	77	78	- 1·0	- 0·0	- 4·0	- 4·0	- 5·0
M 1/9			74·2			77·7			75·5	76·2	76·7	77·7	- 3·1	- 1·3	- 2·0	- 2·5	- 3·5
IX	16°8	11°3	80	17°7	15°2	85	17°2	15°0	85	86	86	87	+ 11·0	+ 1·0	- 0·0	- 0·0	- 1·0
	13·7	10·2	80	14·0	12·3	81	13·8	12·0	80	84	84	85	- 1·0	- 0·0	- 4·0	- 4·0	- 5·0
	13·2	10·2	82·1	13·7	12·3	81	13·0	12·0	82	86	86	87	+ 1·1	+ 0·1	- 3·9	- 3·9	- 4·9
	1·9	4·8	84	1·9	9·9	90	-	-	-	88	89	90	- 6·0	-	- 4·0	- 5·0	- 6·0
X			83·0			81·8				86·0	86·2	87·2	+ 1·2	-	- 3·0	- 3·2	- 4·2
			82·7			79·0			82·3	85·3	85·3	86·3	+ 3·7	+ 0·4	- 2·0	- 2·0	- 3·0
	3°0	2°1	90	6·0	2·9	88	-	-	-	88	88	89	+ 2·0	-	+ 2·0	+ 2·0	+ 1·0
	6·9	6·2	92	6·9	6·5	94	-	-	-	90	92	93	- 2·0	-	+ 2·0	- 0·0	- 1·0
13·7	13·3	95·5	14·1	13·0	85	-	-	-	98	98	99	+ 10·5	-	- 2·5	- 2·5	- 3·5	
M 1/3			92·5			89·0			92·0	92·7	93·7	+ 3·5	-	+ 0·5	- 0·2	- 1·2	
M 1/6			59·8			64·3			60·4	61·0	62·4	- 4·5	-	- 1·3	- 1·8	- 2·6	
M 1/6			59·4			63·8			60·4	61·1	61·4	62·2	- 4·4	- 1·0	- 1·7	- 2·0	- 2·8

Endlich wurden gleichzeitig drei Haarhygrometer beobachtet und schließlich aus den Angaben des Condensationshygrometers der Reihe nach die Differenzen mit den entsprechenden Angaben des Stand-, ventilierten Psychrometers und den drei Haarhygrometern gebildet. Die Beobachtungen sind geordnet nach der relativen Feuchtigkeit des Condensationshygrometers, u. zw. von 10 zu 10⁰/₁₀, bei einer größeren Anzahl von Beobachtungen innerhalb der genannten Eintheilung wurde dieselbe noch in 1 bis 2 Gruppen getheilt. Die Mittelbildung ist nur für die relative Feuchtigkeit durchgeführt.

Ein Blick auf die Tabelle lehrt, dass die Temperatur keinen Einfluss auf die Haarhygrometer hat; man sieht dies am besten daraus, dass die Extreme der Abweichungen sowohl bei hohen als niedrigen Temperaturen vorkommen, während dies beim Psychrometer weniger der Fall ist, obwohl auch ein directer Zusammenhang nicht deutlich hervortritt.

Die nächste Tabelle VI bringt eine Übersicht über die Resultate; in derselben sind die Maxima und Minima der Differenzen sowie die Mittel gruppenweise zusammengestellt.

Tabelle VI.
Maxima, Minima und Mittel der Differenzen aus Tabelle V nach Gruppen.

Gruppe		I	II	III	IV	V	III-VI	VI	VII	VI-VII	VIII	IX	X	I-X
		in Procenten												
Maximum der Differenz	C-P	8.0	+ 0.1	- 1.4	- 1.1	3.4	- 1.1	+ 0.3	+ 4.1	+ 4.1	+ 0.6	+ 11.0	+ 10.5	+ 11.8
	C-P ₁	-	+ 0.5	+ 3.6	+ 0.1	2.4	+ 3.6	+ 3.4	+ 1.9	+ 3.4	+ 3.0	+ 1.0	-	+ 3.6
	C-H ₁	+ 2.0	+ 1.5	+ 4.0	0.0	+ 1.0	+ 4.6	0.0	+ 3.6	+ 3.0	+ 3.0	0.0	+ 2.0	+ 4.6
	C-H ₂	+ 2.0	+ 0.2	+ 2.6	- 0.8	+ 0.2	+ 2.6	0.0	+ 2.6	+ 2.6	+ 3.0	0.0	+ 2.0	+ 3.0
	C-H ₃	0.0	- 0.8	+ 1.6	1.9	0.8	+ 1.6	0.5	+ 2.1	+ 2.1	+ 2.0	- 1.0	+ 1.0	+ 2.1
Minimum der Differenz	C-P	- 16.0	7.8	- 10.1	- 9.6	- 7.8	- 10.5	10.0	8.0	10.0	- 7.0	- 6.0	- 2.0	16.0
	C-P ₁	-	- 1.7	5	- 2.5	0.4	- 9.5	- 8.0	3.0	8.0	- 5.0	1.3	-	- 9.5
	C-H ₁	+ 0.2	- 3.6	3.5	- 3.6	- 0.3	- 3.6	- 5.0	- 2.5	5.6	- 5.0	- 4.0	- 2.5	- 5.6
	C-H ₂	- 0.8	- 3.6	4.5	- 3.6	- 1.0	- 4.5	5.0	2.5	- 5.0	0.0	5.0	- 2.5	- 6.0
	C-H ₃	- 1.8	- 4.4	5.5	- 4.6	- 2.4	- 5.5	0.0	- 3.5	6.0	- 7.0	0.0	- 3.5	- 7.0
Mittel	C-P	11.8	4.8	5.7	6.2	5.5	5.8	4.8	4.0	4.4	3.1	1.2	3.5	4.5
	C-P ₁	0.2	- 3.7	- 1.1	0.1	- 1.8	0.3	- 1.5	- 0.9	1.3	+ 0.4	-	-	-
	C-H ₁	+ 1.0	1.6	1.6	- 1.9	+ 0.1	1.2	2.4	- 0.6	1.5	- 2.0	3.0	+ 0.5	1.3
	C-H ₂	+ 0.6	1.8	2.0	- 2.1	0.5	- 1.0	2.4	1.1	1.7	- 2.5	- 3.2	- 0.2	1.8
	C-H ₃	0.8	- 2.7	3.0	3.1	1.5	- 2.5	3.0	1.5	- 2.2	- 3.5	- 4.2	- 1.2	- 2.0
Maximum Minimum Differenz	C	+ 8.0	7.9	9.1	8.1	4.4	9.4	10.3	12.1	14.1	7.6	17.0	12.5	27.8
	C-P ₁	-	2.2	13.1	2.6	2.8	13.1	11.4	4.9	11.4	8.6	2.3	-	13.1
	C-H ₁	1.8	5.1	8.1	2.8	1.9	8.2	5.0	6.1	9.2	8.0	4.0	4.5	10.1
	C-H ₂	2.8	3.8	7.1	2.8	1.8	7.1	5.0	5.1	8.2	9.0	5.0	4.5	9.0
	C-H ₃	1.8	3.6	7.1	2.7	1.0	7.1	6.1	5.0	8.7	9.0	5.0	4.5	9.1

Die Maxima und ebenso die Minima des ventilierten und Standpsychrometers weichen sehr stark von einander ab, das nicht ventilierte Psychrometer gibt natürlich zu hohe Feuchtigkeitsgrade an; es fällt aber noch ein anderer Umstand auf. Wird nämlich die Differenz zwischen Maximum und Minimum gebildet, wie dies in der vierten Reihe der Tabelle VI geschehen ist, so zeigt sich, dass dieselbe für das nicht ventilierte Psychrometer im allgemeinen bedeutend größer ist. Der Grund dafür liegt wohl darin, dass

die Empfindlichkeit des nicht ventilierten Psychrometers eine ungleich kleinere ist. Kleiner dagegen sind die Unterschiede zwischen den Extremen des »ventilierten« Psychrometers und des Haarhygrometers, in der Mehrzahl der Fälle bei den Haarhygrometern sogar kleiner als die beim Psychrometer auftretenden, was wieder am besten aus der letzten Reihe der Tabelle VI hervorgeht. Dass aber diese Differenzen in den ersten und letzten Gruppen größer sind als in den mittleren, kann wohl nicht behauptet werden, allerdings ist auch die Zahl der Beobachtungen in diesen Fällen eine kleinere. Trowbridge¹ behauptet nämlich, dass die Haarhygrometer nur zwischen 25 und 80% relativer Feuchtigkeit verlässlich sind. Die folgenden Vergleichen mit dem Aspirationspsychrometer werden hierüber mehr Aufschluss bringen.

Kurz zusammengefasst ergibt sich das folgende Resultat:

1. Die Angaben der Haarhygrometer sind von der Temperatur der Luft unabhängig.
2. Die Angaben der Haarhygrometer weichen um höchstens 4% von der relativen Feuchtigkeit ihrer Umgebung ab.
3. Selbst ein durch einen Luftstrom ventiliertes Psychrometer zeigt größere Abweichungen.
4. Ein nicht ventiliertes Psychrometer weicht manchmal um das doppelte ab als ein nicht ventilertes Haarhygrometer, wenn selbst die Psychrometerconstante anders gewählt würde.

Der letzte Schluss ergibt sich aus der Betrachtung der vierten Reihe der Tabelle VI, da die Zahlen dieser Reihe von der Wahl der Psychrometerconstanten unabhängig sind.

4. Vergleich der Haarhygrometer mit dem Aspirationspsychrometer von Assmann.

Sämtliche Beobachtungen wurden im Freien gemacht allerdings wurde nicht immer die Vorsicht angewendet, die Instrumente aus größerer Entfernung abzulesen, so dass eine persönliche Beeinflussung nicht ausgeschlossen ist, die Fehler, die aber dadurch entstanden sein können, sind sicher so geringfügig, dass sie nicht in Betracht kommen, da die Beobachtung selbst nur einige Secunden erforderte und der Beobachter sich dann gleich wieder von den Instrumenten entfernte. Wegen der großen Empfindlichkeit des Aspirationspsychrometers war es nicht nöthig, die Beobachtungen zum Zwecke der Befeuchtung und des Aufziehens des Aspirators längere Zeit zu unterbrechen. Das Aufziehen des Aspirators erfolgte ungefähr in gleichen Intervallen und so oft, dass die Aspiration immer eine gleichmäßige war. Die relative Feuchtigkeit wurde nach der von Sprung² angegebenen Formel

$$f = f' - 0.5(t-t') \frac{b}{760}$$

für jeden Fall einzeln gerechnet, der Factor $\frac{b}{760}$ aber nicht berücksichtigt. Die relative Feuchtigkeit aus den Angaben des Standpsychrometers wurde den Psychrometertafeln von Jelinek entnommen. Da wir bereits früher die Übereinstimmung der Haarhygrometer unter einander gesehen haben, wurden in der Tabelle nur die Angaben eines Haarhygrometers angeführt, obgleich zwar bei diesen Beobachtungen außer zwei Lambrecht'schen auch ein Haarhygrometer von Koppe gleichzeitig abgelesen wurde. Die Windstärke ist nach der 10theiligen Scala geschätzt.

Die Tabelle VII gibt eine Reihe derartiger Beobachtungen. Die Haarhygrometer stimmen bis zur Gruppe VIII sehr gut mit dem Aspirationspsychrometer, mit Ausnahme der Gruppe III und V, auch die Gruppe VIII und IX zeigt größere Abweichungen. Immerhin sind aber die Differenzen Standpsychrometer — Aspirationspsychrometer in allen Gruppen fast ausnahmslos größer als die entsprechenden beim

¹ Trowbridge the use of the hairhygrometer. Science 1896, II, p. 62.

² Sprung, Über die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit mit Hilfe des Assmann'schen Aspirationspsychrometers. Das Wetter, V, Jahrg. 1888, S. 105.

Haarhygrometer, die auffallend große Differenz von 8⁰/₁₀, wie sie sowohl beim Haarhygrometer als dem Standpsychrometer vorkommt, dürfte dem Umstande zuzuschreiben sein, dass das Aspirationspsychrometer kurz nach der Befeuchtung und bevor der Aspirator seine volle Geschwindigkeit erreicht hatte, abgelesen wurde, was auch aus der raschen Temperaturabnahme des trockenen Thermometers ersichtlich ist.

Tabelle VII.

Vergleich von Psychrometer und Haarhygrometer mit dem Aspirationspsychrometer von Assmann.

Gruppe	Zeit	Aspirationspsychrometer			Standpsychrometer			Haarhygrometer	Differenz		Wind-			
		trocken	feucht	relative Feuchtigkeit 0/10	trocken	feucht	relative Feuchtigkeit 0/10		A	P	A	H	Richtung	Stärke
I	11 ^h 38 a.	28°0	17°0	31	27°9	18°4	36	31	—	5	0	—	0	
	40	27°9	16°8	31	27°8	18°3	36	32	—	5	1	—	0	
	44	27°8	16°7	31	27°8	18°0	34	31	—	3	0	E	1	
	46	27°7	16°7	31	27°8	18°0	34	32	—	3	1	E	1	
	48	27°7	16°8	32	27°8	18°2	35	32	—	3	0	E	1	
	50	27°8	17°0	32	27°8	18°3	36	32	—	4	0	E	1	
	53	28°0	17°3	33	27°9	18°5	39	33	—	3	0	—	0	
	55	28°0	17°1	32	27°9	18°6	37	32	—	5	0	—	0	
	57	27°7	17°1	33	27°8	18°5	37	33	—	4	0	ESE	1	
	12 00	27°7	17°4	34	27°8	18°6	37	34	3	0	SE	1		
M 1/10				32°0			35°8	32°2	—	3°8	0°2			
II	4 35 P.	17°8	10°5	38	—	—	—	39	—	—	1	NNW	1	
	30	18°0	10°5	37	—	—	—	39	—	—	2	—	0	
	38	17°6	10°4	37	—	—	—	38	—	—	1	NNW	1	
	42	17°8	10°6	39	—	—	—	39	—	—	0	NNW	2	
	44	17°8	10°4	37	—	—	—	39	—	—	1	NNW	2	
	46	18°0	10°5	37	17°5	11°2	41	39	—	4	2	NNW	2	
	48	18°2	10°7	38	17°7	11°4	41	38	—	3	0	N	2	
	51	17°7	10°3	38	17°7	11°0	38	38	—	0	0	N	2	
	52	17°7	10°4	38	17°6	10°8	37	38	+	1	0	N	3	
	53	17°9	10°4	37	17°6	11°0	39	38	—	2	—	N	2	
M 1/10				37°7			—	38°5	—	—	0°8			
M 1/5				37°0			39°2	38°2	—	1°6	—	0°6		
III	6 50	17°8	10°2	37	17°6	11°1	40	37	—	3	0	N	2	
	57	17°1	10°5	37	17°8	11°1	38	37	—	1	0	N	2	
	59	17°7	10°0	35	17°6	10°7	36	37	—	1	—	N	1	
	5 01	17°7	10°0	35	17°5	10°9	39	38	—	4	3	N	1	
	02	17°8	10°8	44	17°4	11°0	40	40	+	4	+	4	NNW	1
	08	17°9	12°6	54	17°4	12°1	49	49	+	5	+	5	—	0
	30	17°9	12°0	54	17°5	12°8	55	53	—	1	+	1	—	0
	32	17°9	12°7	55	17°7	13°4	59	55	—	4	0	—	0	
	35	17°8	12°6	55	17°8	13°6	60	56	—	5	1	—	0	
	37	17°8	12°6	55	17°8	13°7	61	57	—	6	—	2	NNW	1
M 1/10				46°1			47°7	45°9	—	1°6	+	0°2		

Gruppe	Zeit	Aspirationspsychrometer			Standpsychrometer			Haarhygrometer 0/10	Differenz		Wind-	
		trocken	feucht	relative Feuchtigkeit 0/10	trocken	feucht	relative Feuchtigkeit 0/10		A - P	A - H	Richtung	Stärke
IV	6 ^h 34	10°0	9°2	39	10°0	10°4	45	42	0	3	NNE	3
	30	15°9	9°2	40	16°0	10°3	44	41	- 4	1	NNE	3
	38	15°8	9°3	41	16°0	10°4	45	42	4	1	NNE	2
	43	15°7	9°2	41	15°8	10°2	44	42	- 3	-	NNE	2
	46	15°0	9°2	42	15°8	10°2	44	42	- 2	0	NNE	2
	48	15°0	9°2	42	15°8	10°3	45	43	- 3	1	NNE	1
	51	15°4	9°2	43	15°6	10°4	48	44	- 5	- 1	-	0
	54	15°5	9°2	42	15°0	10°3	47	43	- 5	1	NNE	1
	56	15°4	9°1	42	15°6	10°3	47	43	- 5	- 1	NNE	1
	58	15°3	9°1	43	15°5	10°2	47	43	4	0	NNE	2
M 1/10				41°5			45°6	42°5	- 4°1	- 1°0		
V	9 19 p.	13°7	8°0	44	13°4	8°5	47	44	- 3	0	N	2
	21	13°4	7°6	40	13°4	8°5	47	45	- 1	+ 1	N	3
	24	13°0	7°6	47	13°4	8°4	40	44	+ 1	+ 3	N	4
	27	13°2	7°4	42	13°3	8°5	47	45	- 5	- 3	N	1
	29	12°8	6°9	40	13°3	7°8	40	44	0	- 4	N	2
	8 27	10°8	7°2	61	11°0	8°0	63	64	- 2	- 3	N	1
	34	11°1	7°4	60	11°1	7°6	58	64	+ 2	- 4	N	2
	9 00	12°0	8°0	58	12°0	9°3	58	60	0	- 2	N	1
	03	12°7	8°5	57	12°7	9°2	61	59	- 4	- 2	-	0
	08	13°3	9°2	57	12°7	9°2	60	59	- 3	- 2	-	0
M 1/10				51°2			52°7	52°8	- 1°5	- 1°6		
VI	0 13	18°2	12°1	48	18°3	13°5	55	48	- 7	0	-	0
	15	18°1	12°2	49	18°3	13°5	55	50	0	- 1	-	0
	30	17°6	12°5	54	18°0	13°6	58	53	- 4	+ 1	-	0
	33	17°6	12°6	55	18°0	13°6	58	54	- 3	+ 1	-	0
	35	17°5	12°3	54	17°8	13°5	59	53	- 5	+ 1	-	0
	37	17°5	12°4	55	17°8	13°4	58	54	- 3	+ 1	-	0
	40	17°4	12°4	55	17°7	13°5	60	54	- 5	+ 1	-	0
	42	17°2	12°2	55	17°6	13°5	61	55	0	0	-	0
	44	17°1	12°2	50	17°6	13°4	60	50	- 4	0	-	0
	47	17°2	12°2	50	17°4	13°4	61	57	- 5	1	-	0
M 1/10				53°7			58°5	53°4	4°8	+ 0°3		

Gruppe	Zeit	Aspirationspsychrometer			Standpsychrometer			Haar- hygro- meter o/o	Differenz		Wind-			
		trocken	feucht	relative Feuch- tigkeit o/o	trocken	feucht	relative Feuch- tigkeit o/o		A	P	A	H	Richtung	Stärke
VII	7 ^h 02 p	16°9	12°2	58	17°3	13°4	62	58	—	3	0	—	0	
	04	16°9	12°2	58	17°3	13°3	61	58	—	3	0	N	1	
	06	17°0	12°3	57	17°2	13°3	62	58	—	5	—	1	0	
	08	16°8	12°2	58	17°2	13°3	62	59	—	4	—	1	0	
	11	16°6	12°1	59	17°1	13°2	62	58	—	3	+	1	N	1
	13	16°8	12°1	57	17°0	13°1	62	58	—	5	—	0	—	0
	16	16°6	12°0	58	16°9	12°9	61	58	—	3	—	0	—	0
	19	16°4	11°9	58	16°9	12°8	60	58	—	2	—	0	N	1
	21	16°4	11°8	58	16°8	12°7	60	58	—	2	—	0	N	1
	23	16°4	11°9	58	16°8	12°7	60	59	—	2	—	1	N	1
M ^{1/10}				57°9			61°2	58°1	—	3°3	—	0°2		
VIII	1 8	10°4	8°0	68	10°2	8°4	76	70	—	8	—	8	—	0
	10	9°7	7°8	78	10°2	8°4	70	77	+	2	+	1	—	0
	12	9°9	7°8	76	10°1	8°4	75	78	+	1	—	2	N	1
	14	9°6	7°8	79	10°1	8°4	75	80	+	4	—	1	—	0
	11 02	17°2	15°0	79	17°4	15°4	80	85	—	1	—	6	—	0
	07	17°8	15°4	78	18°0	15°4	75	83	+	3	—	5	—	0
	20	18°4	15°6	75	18°4	15°6	74	78	+	1	—	3	NE	1
	25	19°6	16°2	71	19°3	16°2	71	75	—	0	—	4	—	0
	30	19°7	16°1	69	19°8	16°1	69	70	+	3	—	1	NE	1
	33	21°0	17°0	67	20°8	17°0	67	67	—	0	—	0	NE	1
M ^{1/10}			74°			73°5	70°9	+	0°5	—	2°9			
IX	11 a.	19°2	15°8	70	19°2	16°4	73	68	—	3	+	2	SSE	2
	1 p.	19°6	17°0	77	19°8	17°0	80	78	—	3	—	1	SSE	2
	9	18°6	15°0	68	18°6	15°4	70	68	—	2	—	0	S	1
	10 p.	18°0	14°3	71	17°8	14°3	66	73	+	5	—	2	—	0
	8 a.	18°2	16°1	80	18°3	16°0	83	83	—	3	—	3	—	0
	9	18°5	15°9	76	18°7	16°6	80	77	—	4	—	1	WSW	1
	12	18°4	15°6	75	18°4	16°0	77	75	—	2	—	0	W	2
	3 p.	20°6	16°4	65	20°8	17°2	68	60	—	3	+	5	—	0
	5	19°6	16°4	74	19°9	17°2	75	70	—	1	+	4	—	0
	—	16°6	9°4	62	12°7	9°2	60	63	+	2	—	1	N	1
M ^{1/10}			71°8			73°2	71°5	—	1°4	+	0°3			
Mittel	M ^{1/30}			51°8			—	52°4	—	—	—	0°6		
	M ^{1/5}			54°8			57°3	55°5	—	2°5	—	0°7		

Ein Einfluss der Windgeschwindigkeit auf das Psychrometer ist zwar bemerkbar, allein nicht so groß, dass die Angaben des Psychrometers um mehr als 5% betragen, während am Hygrometer ein derartiger Einfluss überhaupt nicht zu bemerken ist; bei zunehmender Windgeschwindigkeit werden die Differenzen kleiner, wie dies ja der den Psychrometertafeln zugrunde liegenden Constanten entspricht.

Interessant ist auch die Empfindlichkeit der Haarhygrometer; selbst wenn die Windgeschwindigkeit sehr klein ist, wie dies bei den Gruppen VI und VIII der Fall ist, folgt das Haarhygrometer fast ganz genau den Schwankungen der relativen Feuchtigkeit, wie sie vom Aspirationspsychrometer gegeben werden, in einzelnen Fällen gibt das Haarhygrometer die Veränderungen sogar früher an, was die Gruppe VI besonders auffallend zeigt.

Wie Trowbridge behauptet, hört die Zuverlässigkeit der Haarhygrometer bei einer Feuchtigkeit von mehr als 80% auf, die Gruppe VIII und IX scheint dies zu bestätigen. Bei einer Reihe von anderen Vergleichen, die hier über angestellt wurden, zeigte sich dies nicht, namentlich beim Koppe'schen Instrumente; so oft auch dasselbe aus einem gesättigten Raume in einen solchen mit der Feuchtigkeit von 80 bis 90% gebracht wurde (die Feuchtigkeit wurde jedesmal mit dem Aspirationspsychrometer gemessen), zeigte das Instrument bis auf wenige Procente richtig. Wenn es speciell mehrmals nacheinander in einem trockenen Raum und dann einem solchen von constanter hoher Feuchtigkeit aufgestellt wurde, gab es jedesmal gleichviel Procente an, was nicht der Fall sein könnte, wenn sich das Haar bei dieser Feuchtigkeit nicht mehr regelmäßig verändern würde.

Allerdings konnte dies beim Instrumente von Lambrecht nicht in gleicher Weise constatirt werden, hauptsächlich wohl deshalb, weil es sich langsamer einstellt; wenn es aber in gesättigte Luft gebracht wird, stellt es sich jedesmal und in kurzer Zeit auf 100 (wenn es auch anfangs etwas darüber hinausgeht), was nicht eintreten könnte, wenn das Haar bei mehr als 80% unzuverlässig würde.

Trowbridge gibt die Fehler bis zu 90% mit einem positiven und negativen Zeichen an, von 90 bis 100 dagegen 0 bis -5% , woraus erhellt, dass er das Lambrecht'sche Instrument in seiner ursprünglichen Justirung für die Versuche verwendet und eine neue Justirung nicht vorgenommen hat, er bemerkt auch von einer solchen nichts. Dies ist auch der Grund, warum der mittlere Fehler bei 40 bis 50% ± 1 ist, dann aber nach beiden Seiten hin wächst. Bei der Lambrecht'schen Justirung ist nämlich die Amplitude zu klein, eine Vergrößerung derselben würde herbeiführen, dass die von Trowbridge angegebenen mittleren Abweichungen von 0 bis 100 gleichmäßiger würden.

Im Mittel sind jedoch die in Tabelle VII angegebenen Abweichungen der Haarhygrometer vom Aspirationspsychrometer kleiner, als die entsprechenden des Psychrometers; wenn auch Abweichungen auftreten, die $\pm 5\%$ betragen, so kann dasselbe auch vom Psychrometer gesagt werden.

Wir können das Resultat dieses Abschnittes kurz in folgender Weise zusammenfassen:

1. Die Haarhygrometer können bis zu $\pm 5\%$ vom Aspirationspsychrometer abweichen, trotzdem ist ihre Übereinstimmung besser als die des gewöhnlichen Psychrometers.
2. Die Angaben des Haarhygrometers sind von der Windgeschwindigkeit unabhängig, während das Psychrometer von derselben stark beeinflusst wird, es finden sich jedoch auch bei der Geschwindigkeit 2 und 3 der 10theiligen Scala Abweichungen bis zu 4% .

5. Empfindlichkeit der Haarhygrometer.

Bei den Versuchen über die Empfindlichkeit wurden gleichzeitig ein Haarhygrometer und ein gewöhnliches Psychrometer abgelesen, u. zw. wurden beide Instrumente aus einem Raume von bekannter, mit dem Aspirationspsychrometer gemessenen Feuchtigkeit, in einen anderen von ebenso bestimmter Feuchtigkeit gebracht.

Auch von diesen Versuchen sind einige in Tabelle VIII wiedergegeben. Dieselben wurden so lange fortgesetzt, bis sich ein den gleichzeitigen Ablesungen des Aspirationspsychrometers entsprechender constanten Stand der beiden Instrumente einstellte.

Im Versuche I wurden beide Instrumente aus einer mit dem Assmann'schen Psychrometer zu 59% bestimmten Feuchtigkeit in fast gesättigte Luft gebracht. Das Psychrometer geht anfangs rascher in die Höhe als das Haarhygrometer, wird aber schließlich von letzterem überholt, erreicht nach 11 Minuten einen constanten Stand, während das Haarhygrometer nach 12 Minuten sich nicht mehr ändert. Die Einstellungs-

geschwindigkeit ist also ungefähr dieselbe. Versuch II (eine Fortsetzung des ersten, indem beide Instrumente gleichzeitig ins Freie gebracht wurden, wo eine Feuchtigkeit von 45⁰/₁₀₀, respective am Ende des Versuches von 44⁰/₁₀₀ herrschte) zeigt eine größere Empfindlichkeit des Haarhygrometers, welches sich nach 8 Minuten einstellt, während das Psychrometer nach 13 Minuten unveränderlich wird.

Tabelle VIII.
Empfindlichkeit des Psychrometers und Haarhygrometers.

Zeit	Psychrometer			Haar- hygrometer 0/100	Zeit	Psychrometer			Haar- hygrometer 0/100
	trocken	feucht	relative Feuchtigkeit 0/100			trocken	feucht	relative Feuchtigkeit 0/100	
I					II				
4 ^h 05	18°0	13°8	60	58	5 ^h 00 p.	18°2	17°8	96	90
08	17°8	14°8	70	65	01	17°7	14°4	70	53
09	17°7	15°6	79	77	02	18°0	14°4	65	48
10	17°7	16°0	83	83	04	18°2	13°9	59	45
11	17°6	16°3	87	87	05	18°4	13°9	58	44
12	17°6	16°5	89	90	06	18°6	14°0	57	44
13	17°5	16°6	91	92	08	18°6	14°0	57	43
14	17°5	16°8	93	94	09	18°7	14°2	57	43
15	17°5	17°0	95	95	10	19°0	14°0	56	43
17	17°6	17°1	95	96	11	19°0	14°0	54	43
19	17°6	17°2	96	96	13	19°2	14°0	53	42
21	17°8	17°4	96	96	14	19°2	13°9	53	42
23	17°9	17°5	96	96·5	15	19°2	14°0	53	43
26	18°0	17°5	95	96·5	16	19°2	14°0	53	42
28	18°1	17°6	95	96	18	19°2	14°0	53	42
30	18°1	17°7	96	96	20	19°0	13°8	52	43
32	18°2	17°8	96	96	21	19°0	13°8	52	42
III					IV				
2 ^h 02	24°2	17°2	53	50 51	1 ^h 34	16°4	12°4	60	59
03	22°8	18°2	62	51 58	35	16°3	11°7	55	49
05	17°4	14°4	70	58 82	36	16°3	11°3	51	48
06	16°8	13°8	69	60 90	37	16°3	11°0	48	47
07	15°4	13°4	79	61 92	38	16°3	10°9	47	46
08	15°4	13°3	82	65 95	39	16°4	10°9	46	46
10	15°4	13°2	87	65 97	40	16°4	11°0	47	46
11	14°3	13°0	86	66 97	41	16°4	10°9	46	45
12	14°0	12°8	87	75 99	42	16°4	10°7	44	45
14	13°8	12°8	90	77 98	43	16°3	10°6	44	45
15	13°7	12°7	89	78 98	44	16°6	10°9	44	45
16	13°7	12°8	91	83 99	45	16°7	11°0	45	45
17	13°8	12°9	91	89 98	46	16°7	11°0	45	44
19	13°7	12°8	92	91 98	48	16°8	11°0	44	45
21	13°8	12°9	92	91 98	50	16°8	10°9	44	45

Beim Versuche III wurde außer dem Lambrecht'schen Hygrometer auch ein Koppe'sches abgelesen, wobei sich herausstellte, dass das letztere bedeutend empfindlicher ist: dass das Instrument eine Feuchtigkeit von 99% angibt, hat seinen Grund in der zu großen Amplitude, die aber bei diesem Instrumente nicht verkleinert werden kann. Dieser Umstand hat jedoch in der vorliegenden Frage keine Bedeutung, da es sich nicht um die Prüfung der Richtigkeit der Angaben handelt. Das Lambrecht'sche Hygrometer gibt erst nach 17 Minuten einen unveränderlichen Feuchtigkeitsgrad an, das Psychrometer nach 14, das Koppe'sche Hygrometer aber bereits nach 10 Minuten. Der Versuch IV gibt die Empfindlichkeit bei einem kleineren Unterschiede zwischen Anfangs- und Endfeuchtigkeit, auch hier stellte sich das Haarhygrometer etwas rascher ein, als das Psychrometer. Die Versuche zeigen außerdem, dass die Empfindlichkeit bei abnehmender Feuchtigkeit größer ist, als bei zunehmender. Verschiedene Versuche, die außerdem mit dem Haarhygrometer von Koppe angestellt wurden, zeigten, dass dasselbe eine weit größere Empfindlichkeit besitzt als das Lambrecht'sche; bei Feuchtigkeitsunterschieden von 30% stellte sich das Koppe'sche Hygrometer in 3—4, das Lambrecht'sche in mehr als 7 Minuten ein.

Ein Grund für diesen Vorzug des Hygrometers ist, dass es nach allen Seiten frei ist, wodurch der Luft ungehinderter Zugang verschafft wird, außerdem dürfte auch die Verwendung eines Haarbündels einen schädlichen Einfluss haben.

Aber auch das Lambrecht'sche Hygrometer übertrifft an Empfindlichkeit das Psychrometer, worauf bereits bei der Vergleichung beider Instrumente mit dem Assmann'schen Aspirationspsychrometer aufmerksam gemacht wurde. Die kleinsten Schwankungen der Feuchtigkeit, die das Aspirationspsychrometer angab, machten sich auch beim Hygrometer bemerkbar, während das Psychrometer constante Feuchtigkeit zeigte.

Also bezüglich der Empfindlichkeit muss das Haarhygrometer von Lambrecht, insbesondere aber das von Koppe, dem gewöhnlichen Psychrometer vorgezogen werden.

6. Einfluss directer Sonnenstrahlung.

Obwohl sich die Untersuchung der Haarhygrometer bloß auf die Verwendbarkeit derselben als Instrumente zur Messung der relativen Feuchtigkeit an den meteorologischen Beobachtungsstationen beschränken soll, die obige Frage also diesbezüglich nicht gestellt zu werden braucht, so wird man aber dazu gedrängt, weil die Verwendung des Aspirationspsychrometers von Assmann¹ bei Ballonfahrten mit mannigfachen Schwierigkeiten verbunden ist, während das Haarhygrometer jedenfalls die einfachste Behandlung erfordert. Ist zwar die Einstellungsgeschwindigkeit des Haarhygrometers auch nicht so groß als die des Aspirationspsychrometers, so ist dagegen die bei letzterem Instrumente nothwendige Befeuchtung eine Fehlerquelle, wenn die Temperatur des trockenen Thermometers dem Gefrierpunkte nahe kommt.

Nach den Untersuchungen von Assmann beträgt die Einstellungsgeschwindigkeit eines eben befeuchteten Thermometers auf 4° C. ungefähr 5 Minuten, dieselbe wird aber umso kleiner, d. h. es vergeht eine größere Anzahl von Minuten, wenn sich das Thermometer auf eine tiefere Temperatur, wie dies bei Ballonfahrten immer der Fall ist, stellt. Überhaupt ist das Aspirationspsychrometer bei Temperaturen unter 0° C. noch nicht untersucht worden.

Wir haben nun gesehen, dass das Haarhygrometer, unabhängig von der Temperatur, die relative Feuchtigkeit zwar nicht mit absoluter, wohl aber hinlänglicher Genauigkeit angibt, und es fragt sich nun, ob dasselbe bei wissenschaftlichen Ballonfahrten verwendet werden darf. Bei Temperaturen über 0° oder nahe um 0° kann es natürlich das Assmann'sche Aspirationspsychrometer nie ersetzen.

Ein Lambrecht'sches Hygrometer wurde in die Sonne gestellt, die Luftfeuchtigkeit mit dem Condensationspsychrometer gemessen, sie war in der Sonne und im Schatten dieselbe. Das Haarhygrometer

¹ Assmann, Das Aspirationshygrometer. Abhandlungen des königl. preußischen meteorologischen Institutes. Herausgegeben durch W. v. Bezold, Bd. I, Nr. 5.

dagegen gieng immer mehr und mehr zurück; zeigte es früher eine Feuchtigkeit von 56⁰/₁₀₀, so gab es nach einer Viertelstunde 46⁰/₁₀₀ an, war also um 10⁰/₁₀₀ gesunken. Verschwand die Sonne, so war wieder ein Steigen des Haarhygrometers zu bemerken, wurde es durch Hin- und Herschwingen eines Buches ventiliert, so zeigte sich dasselbe. Durch eine relativ größere Ausdehnung des Messingrahmens kann diese Erscheinung wohl erklärt werden, dann muss aber vorausgesetzt werden, dass das Messing eine größere Temperatur besitzt als der Haarstrang.¹ Wurde das Haarhygrometer so gestellt, dass die Sonne die schmalen Kanten des Metallrahmens und gleichzeitig das Haar traf, so gieng das Hygrometer auch zurück, aber nicht in demselben Maße, was seinen Grund in der gleichzeitigen Ausdehnung des Haares und des Metalles hat (Ausdehnungscoefficient des Haares 0·0002 pro Grad). Der Grund der ganzen Erscheinung ist, dass die zwischen beiden Metallplatten sich befindliche Luftsäule gleichzeitig mit dem Metalle und dem Haare erwärmt, die relative Feuchtigkeit des Zwischenraumes also kleiner wird. Um ein Urtheil über diese Temperaturerhöhung zu erlangen, wurde ein Thermometer mit kleinem Gefäße so zwischen den Platten befestigt, dass das Gefäß von der Sonne nicht beschienen, thunlichst in der Mitte zwischen den Platten hieng.

Die Tabelle IX gibt die erhaltenen Resultate, die Temperaturen in der vierten Spalte entsprechen der vom Hygrometer angegebenen relativen Feuchtigkeit, wenn die absolute Feuchtigkeit constant ist (9 mm Dampfdruck oder 9·8° für den Thaupunkt, wie das Condensationshygrometer angab). Die fünfte Spalte gibt den Sonnenschein in der Bezeichnung wie sie Assmann angewendet hat. Sie zeigt ebenso wie die dritte Spalte die Empfindlichkeit des Hygrometers, indem dasselbe den geringsten Schwankungen der Temperatur folgt, ja in einigen Fällen im Steigen oder Fallen begriffen ist, wo das Thermometer diese Veränderung nicht anzeigt. Die direct gemessenen Temperaturen sind größer als die berechneten, der Grund dafür ist wohl darin zu suchen, dass das Thermometer der beschienenen Metallfläche näher stand als das Haarbündel, und letzteres sich später erwärmte als die Metallflächen und der Hebel.

Es ist wohl nicht nöthig, die übrigen Versuche, die dasselbe Resultat lieferten, wiederzugeben.

Der Grund für das Sinken des Hygrometers liegt also in der Erwärmung der das Haar umgebenden Luftsäule. Wird dafür gesorgt, dass die Luft im Zwischenraume nicht stagnieren kann, so kann die Ausdehnung der Metallplatten noch einen Einfluss haben, wird auch diese verhindert, respective die Temperatur des Haarbüschels gleich der des Rahmens erhalten², so kann die Strahlung keinen Einfluss üben.

Wenn die beiden offenen Seiten des Instrumentes geschlossen und oben ein Assmann'scher Aspirator angesetzt und durch mehr als eine Viertelstunde der Sonne ausgesetzt wurde, änderte das

¹ Hat das Haar eine Länge von 20 cm, der Hebel eine solche von 0·2 cm, so geht, wenn der Ausdehnungscoefficient des Messings $\beta = 0·0002$ gesetzt wird, die Größe c in der Formel (siehe Anmerkung)

$$\sin \alpha_r = \frac{c - l_0 f(r)}{a}$$

über in $c + (c + l_0) \beta t$, wo t die Temperaturzunahme bezeichnet; es wird also

$$\sin \alpha'_r = \frac{c + (c + l_0) \beta t - l_0 f(r)}{a};$$

daraus ergibt sich

$$\sin \alpha'_r - \sin \alpha_r = \frac{(c + l_0) \beta t}{a}.$$

Den größten Werth erhält dieser Ausdruck, wenn $\alpha_r = 0$ ist, der Hebel also senkrecht zum Haarstrange ist, es ist

$$\sin \alpha'_r = \frac{(c + l_0) \beta t}{a}$$

und für

$$t = 10^\circ \quad (c \approx 0·1 \text{ cm}) \quad \sin \alpha'_r = 0·201 \quad \alpha'_r = 11^\circ 36'.$$

was ungefähr 12⁰/₁₀₀ relativer Feuchtigkeit entspricht. Dabei ist noch vorausgesetzt, dass sich der Hebel nicht verlängert.

² In diesem Falle multipliciert sich Zähler und Nenner des Ausdruckes für $\sin \alpha_r$ mit $1 + \beta t$, da der Ausdehnungscoefficient für Haar und Messing nahezu derselbe ist.

Hygrometer seinen Stand um $1\frac{0}{10}$, was der Ansdehnung der Metallplatten zugeschrieben werden muss, da eine Erwärmung desselben trotz der durchströmenden Luft nicht verhindert werden kann, wie Assmann¹ gezeigt hat.

Tabelle IX.
Hygrometer in der Sonne.

Zeit	Hygrometer 0/10	Temperatur		Sonnen- schein	Zeit	Hygrometer 0/10	Temperatur		Sonnen- schein
		Zwischen- raum	berechnet				Zwischen- raum	berechnet	
4 ^h 01	50·0	18°8	18°8	0	4 ^h 32	50·5	20°8	20°5	1
03	54·8	18·8	19·2	2	35	50·3	20·4	20·8	1
05	54·8	18·9	19·2	2	37	51·5	20·3	20·1	0
07	52·8	19·8	19·8	2	40	52·0	20·0	20·0	1
09	51·5	20·2	20·1	1	42	51·3	20·1	20·2	0
11	50·0	20·0	20·7	1	44	52·1	20·2	19·9	1
13	50·5	20·4	20·5	0	47	50·0	20·8	20·8	2
15	50·0	20·7	20·7	1	49	48·0	21·8	21·3	1
17	49·2	21·4	20·9	2	51	47·5	22·0	21·5	2
20	50·0	20·8	20·7	1	53	47·4	22·2	21·5	1
22	50·5	20·5	20·5	0	55	45·8	22·9	22·1	1
24	51·0	20·3	20·3	0	58	46·0	22·8	22·0	1
27	52·0	20·0	20·0	1	5 00	45·0	23·3	22·4	0
30	51·5	20·4	20·1	1	02	45·2	23·5	22·2	1

Zeit	Hygrometer 0/10	Temperatur		Sonnen- schein
		Zwischen- raum	berechnet	
5 ^h 04	43·0	24°5	22°9	1
06	43·0	24·8	23·2	0
09	44·0	24·5	22·7	1
11	44·0	24·4	22·4	1
13	43·0	24·1	23·2	2
15	44·0	24·0	22·7	2
17	41·0	25·8	24·0	2
19	40·0	25·9	24·3	2
22	41·0	25·9	24·0	1
24	41·3	26·1	23·7	1
26	40·0	26·3	24·0	2
28	40·0	26·3	24·0	1
30	39·0	26·4	24·7	2
32	39·0	26·5	24·7	1

¹ Assmann, *ibid.*, p. 154.

Nur ist bei Ballonfahrten zwar eine natürliche Ventilation vorhanden, ob dieselbe aber in allen Fällen ausreichend ist, könnte nur durch einen directen Versuch ermittelt werden.

Aus der ganzen Untersuchung geht hervor, dass die Haarhygrometer nicht unter allen Umständen die relative Feuchtigkeit genau angeben, sie können Anlass zu Fehlern geben, die sogar 5⁰/₁₀ betragen. In der Mehrzahl der Fälle und im Mittel erreichen die Abweichungen höchstens 3⁰/₁₀, respective — 1⁰/₁₀ relativer Feuchtigkeit. Wie auf Seite 19 gezeigt wurde, wird ein Haarhygrometer insbesondere dann unzuverlässig, wenn es durch längere Zeit in einem Raume von constanter Feuchtigkeit aufgestellt ist, eine zeitweilige Auffrischung des Haares durch Benetzung ist in solchen Fällen nicht nur empfehlenswert, sondern geboten. Wenn aber die Feuchtigkeit des Raumes, in welchem sich das Hygrometer befindet, selbst großen Veränderungen unterworfen ist, der Sättigungspunkt auch nicht oft erreicht wird, so liegen die Fehler innerhalb jener Grenzen, die für die Haarhygrometer überhaupt erreichbar sind.

Ein Beweis dafür liegt in der folgenden Beobachtung: ein Lambrecht'sches Hygrometer war während eines ganzen Jahres im Freien aufgestellt und so den täglichen Feuchtigkeitsänderungen unterworfen; von Zeit zu Zeit wurden nun seine Angaben mit dem Condensationshygrometer controlirt: die Abweichungen betragen nie mehr als 3—4⁰/₁₀, obwohl das Instrument nie künstlich aufgefrischt wurde.

Temperatur und Windgeschwindigkeit haben nach den angeführten Beobachtungen, mit Ausnahme des in Abschnitt 5 untersuchten Falles der directen Sonnenstrahlung, keinen Einfluss auf das Haarhygrometer.

Inwieweit der Luftdruck die Angaben ändert, wurde nur im Falle voller Sättigung untersucht, wobei sich herausstellte, dass eine Veränderung desselben sich am Haarhygrometer überhaupt nicht bemerkbar macht. Auch bei Temperaturen unter Null, entsprechend einer solchen des feuchten Thermometers, sind die Angaben des Haarhygrometers gleich verlässlich, wenn zwar darüber nur eine geringe Anzahl von Beobachtungen angestellt wurde.

Erwägt man nun die einfache Behandlungsweise des Haarhygrometers im Gegensatze zum Psychrometer, dessen Angaben fast allgemein um mehr Procente von den absoluten Bestimmungen differieren als das Haarhygrometer, und welches namentlich im Winter einer doppelten Aufmerksamkeit bedarf, ferner den Umstand, dass die relative Feuchtigkeit nicht erst berechnet, sondern vom Instrumente direct abgelesen, die Bestimmung des Dampfdruckes aber mit Hilfe einer Tabelle von circa 10 Seiten bestimmt werden kann, während die Psychrometer-Tafeln einen weit größeren Umfang beanspruchen, so ist man zu dem Schlusse berechtigt, dass das Haarhygrometer dem Psychrometer, wenn nicht vorgezogen, so doch wenigstens gleichzustellen ist.

Von den beiden Haarhygrometern, dem Koppe'schen und Lambrecht'schen, hat das eine den Vortheil größerer Empfindlichkeit bei jähen Feuchtigkeitsänderungen, das andere den Vortheil der doppelten Justierbarkeit und größeren Widerstandsfähigkeit; unter gewöhnlichen Verhältnissen functionieren beide mit derselben Verlässlichkeit.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Denkschriften der Akademie der Wissenschaften.Math.Natw.Kl. Frueher: Denkschr.der Kaiserlichen Akad. der Wissenschaften. Fortgesetzt: Denkschr.oest.Akad.Wiss.Mathem.Naturw.Klasse.](#)

Jahr/Year: 1901

Band/Volume: [73](#)

Autor(en)/Author(s): Pircher Johann

Artikel/Article: [Über die Haarhygrometer. \(Mit 4 Textfiguren\). 267-300](#)