

(Institut für Meteorologie und Klimatologie, Technische Hochschule Hannover,
Direktor: Prof. Dr. W. DAMMANN)

Meßfehler bei der Taupunktmessung mit Lithiumchlorid-Feuchtefühlern¹

Von

Michael Miess

Mit 7 Abbildungen

(Eingegangen am 27. Januar 1968)

Zusammenfassung. Vergleichsmessungen zwischen Lithiumchlorid-Feuchtefühlern und Assmann-Psychrometern im Gelände zeigen, daß die im vorliegenden Falle verwendeten Lithiumchlorid-Feuchtefühler infolge Wärmeabgabe an die Umgebung zu niedrige Meßwerte gegenüber den Assmann-Psychrometern ergeben. Unter besonderen Bedingungen kann durch Nebeltröpfchen, die am Lithiumchlorid-Feuchtefühler abgesetzt werden, der Taupunkt über den im bodennahen Bereich der Atmosphäre möglichen Wert τ [$^{\circ}$ C] $\leq t$ [$^{\circ}$ C] angehoben werden. Der Einfluß von auf dem Schutzgehäuse der Lithiumchlorid-Feuchtefühler verdunstendem Tauniederschlag auf die Taupunktanzeige wird an einem Beispiel gezeigt.

Summary. A comparison of data derived from field-measurements with lithiumchlorine dew cells and with Assmann-psychrometers proves, that the tested LiCl dew cells furnish lower dew point temperatures than the Assmann-psychrometers due to loss of heat to the environment. Under special conditions, fog particles can be precipitated at the LiCl dew cells, causing the dew point in the air near the ground to exceed the limiting value τ [$^{\circ}$ C] $\leq t$ [$^{\circ}$ C]. The influence of dew precipitation on the records of dew point is demonstrated by an example.

Résumé. On a comparé des mesures de l'humidité effectuées sur le terrain, mesures faites avec un psychromètre Assmann et un hygromètre au chlorure de lithium. On a pu constater que le second appareil indiquait des valeurs inférieures à celles du premier et cela par suite d'une déperdition de chaleur vers le milieu ambiant. Dans certaines conditions particulières, les gouttelettes de brouillard qui se déposent sur le capteur d'humidité au chlorure de lithium peuvent relever

¹ Herrn Prof. Dr. WALTER DAMMANN zum 60. Geburtstag gewidmet.

le point de rosée pres du sol au-dessus de la valeur τ [$^{\circ}$ C] $\leq t$ [$^{\circ}$ C]. Par un exemple, on démontre l'effet perturbateur sur l'indication du point de rosée de la rosée s'évaporant sur le bâti protecteur du capteur.

Für die Messung der Luftfeuchte ist eine große Anzahl von Verfahren entwickelt worden; die meteorologisch bedeutsamsten wurden von GRUNDMANN [1], ROBITZSCH [2] und SONNTAG [3] zusammenfassend dargestellt.

Bei Wärmehaushaltsuntersuchungen in der Hamme-Wümmeniederung, einer von großflächigen Mooren bedeckten flachen Wanne nordwestlich von Bremen, wurde die Eignung von Lithiumchlorid-Fühlern für die Messung der vertikalen Feuchteverteilung in den unteren 10 m der Atmosphäre untersucht.

Das Meßverfahren beruht auf der Erniedrigung des Wasserdampfpartialdrucks gesättigter wäßriger LiCl-Lösungen gegenüber dem reinen Lösungsmittel Wasser und auf der Eigenschaft der Salze, abhängig vom Verdünnungsgrad zu dissoziieren und bei vorhandener elektrischer Spannung den Strom zu leiten. Aus dem Stromfluß resultiert eine Erwärmung und Wasserdampfdruck-erhöhung an der Meßzelle. Dieser Effekt kann dazu benutzt werden, einen Gleichgewichtszustand zwischen dem Wasserdampfpartialdruck an der Meßzelle und dem Wasserdampfdruck der Umgebung einzuregeln. Im Gleichgewichtszustand ist die in der Zeiteinheit der Zelle zugeführte Wasserdampfmenge gleich dem Wasserdampfverlust an die Umgebung. Die Zelle neigt erst wieder zur Erwärmung und damit zur Erhöhung des Wasserdampfpartialdrucks über dem LiCl-getränkten Gewebe, wenn die aus der umgebenden Atmosphäre in der Zeiteinheit der Meßzelle zugeführte Wasserdampfmenge den momentanen Wasserdampfverlust überwiegt. Erhöhung der Dissoziation des LiCl-Salzes, des Stromflusses, der Erwärmung und schließlich des Dampfdrucks an der Meßzelle bis zu einem neuen Gleichgewichtszustand mit der Umgebung sind die Folge. Der umgekehrte Vorgang findet bei Feuchteabnahme in der Umgebung des Meßfühlers statt. Durch den Wasserdampfpartialdruck der Atmosphäre wird demnach die Heizung der Meßzelle geregelt, und ihre Temperatur kann als Maß für die in der Umgebung herrschende Luftfeuchte benutzt werden. Die Messung der Feuchte wäre damit auf eine im Prinzip einfachere Messung der Temperatur zurückgeführt.

Ein nach dem eben beschriebenen Verfahren arbeitender Lithiumchlorid-Feuchtefühler ist in der Aufbauskizze (Abb. 1) schematisch dargestellt. Beschreibungen der Funktionsweise findet man auch bei LIENEWEG [4], WALLSTEIN [5], CONOVER [6] und HÖHNE [7].

Der Regelkreis am Feuchtemeßfühler arbeitet nur dann richtig, wenn die umgebende Feuchte groß genug ist, um die Heiztemperatur am Meßfühler über die Lufttemperatur der Umgebung einzuregeln, was bei einer relativen Feuchte $>15\%$ gegeben ist.

Der Umstand, daß das Funktionsprinzip eine höhere Temperatur am Meßfühler gegenüber der Umgebung fordert, kann — durch Wärmeableitung vom Meßfühler an die Umgebung bedingt — zu beachtlichen Meßfehlern bei der Taupunktmessung führen. Ver-

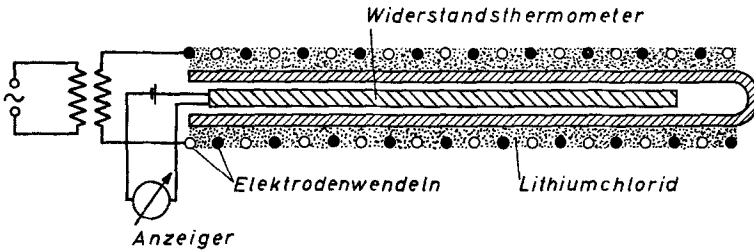


Abb. 1. Aufbauzeichnung eines Lithiumchlorid-Fühlers mit Widerstandsthermometer

gleichsmessungen mit Assmann-Psychrometern ergaben, daß die meisten mit Lithiumchlorid gemessenen Taupunktwerte um 2°C unter den mit Assmann-Geräten bestimmten Werten lagen.

Überlegungen, daß Wärmeverluste des beheizten Widerstandsthermometers eine Ursache für die zu niedrige Anzeige des LiCl-Feuchtefühlers sein könnten, erwiesen sich bei Nachprüfung im Labor als richtig. Um den Wärmeverlust und die daraus resultierende Temperaturerniedrigung abzuschätzen, wurde die Heiztemperatur am Meßfühler in einem Ultrathermostaten simuliert. Die am Meßfühler angeschlossenen Armaturen wurden auf konstanter Temperatur gehalten. Abhängig von der Temperaturdifferenz Meßfühler — Armaturen wurde eine Temperaturerniedrigung am Widerstandsthermometer beobachtet, die beispielsweise bei 40°C eine um 2°C zu niedrige Anzeige ergab. Dem Betrag nach genügt die Temperaturerniedrigung durch Wärmeableitung, um die bei den Vergleichsmessungen unter natürlichen Bedingungen festgestellten Abweichungen zu erklären. Die Temperaturdifferenz zwischen Meßfühler und Armaturen von 40°C erhält man beispielsweise bei der Feuchtemessung unter natürlichen Bedingungen bei 10°C Taupunkt und Wasserdampfsättigung.

Die im Labor durchgeführten Voruntersuchungen dienten im wesentlichen der ursächlichen Klärung möglicher Meßfehler bei der Feuchtemessung mit Lithiumchlorid-Feuchtefühlern im Gelände. Der quantitative Betrag der Abweichungen wurde durch direkte Ver-

gleichmessungen mit Assmann-Geräten im Gelände ermittelt. Abb. 2 enthält Ergebnisse der Vergleichsmessungen, die während

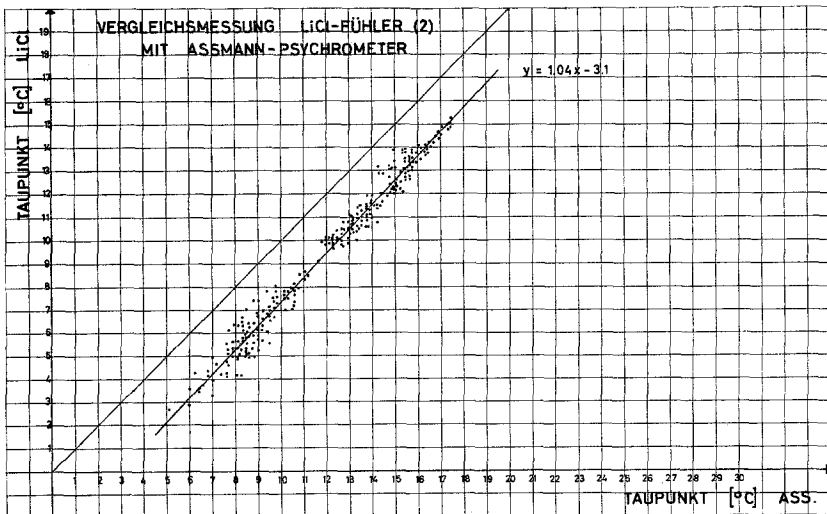
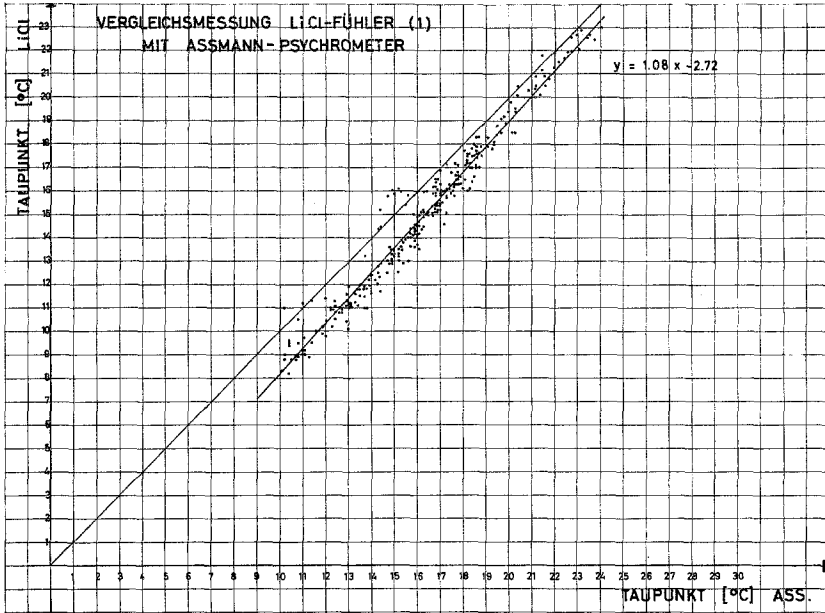


Abb. 2. Regressionsgerade zweier Lithiumchlorid-Meßfühler nach Vergleichsmessungen mit Assmann-Psychrometern

verschiedener Wetterlagen und zu verschiedenen Tageszeiten erzielt wurden. Die mit Assmann-Psychrometern verglichenen Lithiumchlorid-Feuchtefühler (Ausführung einer Thermometerfabrik) waren durch besonders ungünstige Anordnung des Widerstandsthermometers hinsichtlich der Wärmeisolation zur Umgebung gekennzeichnet.

Die Anordnung der Punktwolke um die 45°-Gerade zeigt den Betrag und das Vorzeichen der Abweichung der mit Lithiumchlorid-Feuchtefühlern gemessenen Taupunktwerte (Ordinate) zu den mit Psychrometern bestimmten Werten (Abszisse). Mit Hilfe der linearen Regressionsgleichung wurde aus der Gesamtzahl der Meßwerte für jeden der untersuchten Meßfühler der Regressionskoeffizient errechnet und die zugehörige Regressionslinie gezeichnet. Die Geradengleichung wurde für jeden Meßfühler angegeben.

Die Punktwolke um die Ausgleichsgerade zeigt die beträchtliche Streuung der Meßwerte. Aus Abb. 2 ist außerdem die Zunahme des Meßfehlers nach niedrigen Taupunktwerten zu erkennen. Dieser Umstand erklärt sich daraus, daß die relativ niedrigsten Taupunktwerte während der Nachtstunden bei gleichzeitig hoher relativer Feuchte gemessen werden, also dann, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Pt-Thermometer und den angeschlossenen Armaturen die größten Beträge erreicht.

Diese Abhängigkeit des Meßfehlers von der Tageszeit wird in Abb. 3 gezeigt. Während des Einstrahlungszeitraumes mit niedriger relativer Feuchte decken sich die Meßergebnisse aus Lithiumchlorid-Feuchtefühler und Assmann-Gerät nahezu. Die Strahlungserwärmung der Armaturen tagsüber begrenzte den Wärmeabfluß vom Widerstandsthermometer durch Verringerung des Temperaturgegensatzes. Nachts dagegen, bei negativer Strahlungsbilanz und hohen Werten der relativen Feuchte, ergaben sich wesentlich größere Differenzen der nach beiden Methoden bestimmten Taupunktwerte. Die Annahme, daß die Strahlungserwärmung der Armaturen den Meßfehler verkleinere, legen auch Messungen nahe, die während zweier bewölkter Tage im Juni und Juli mit wesentlich geringeren Werten positiver Strahlungsbilanz durchgeführt wurden (Abb. 4). Die Differenz der nach diesen beiden Methoden bestimmten Taupunkte betrug im allgemeinen nahezu 2° C. Die großen zeitlichen Änderungen der Taupunkttemperatur am 1. 7. 1964 (Abb. 4) waren durch kurz andauernde Regenschauer verursacht.

Schließlich sei auf zwei weitere mögliche Fehlerquellen der Lithiumchlorid-Meßfühler hingewiesen, die während eines Meßabschnitts in den Herbstmonaten 1965 auftraten. Abb. 5 a wurde nach

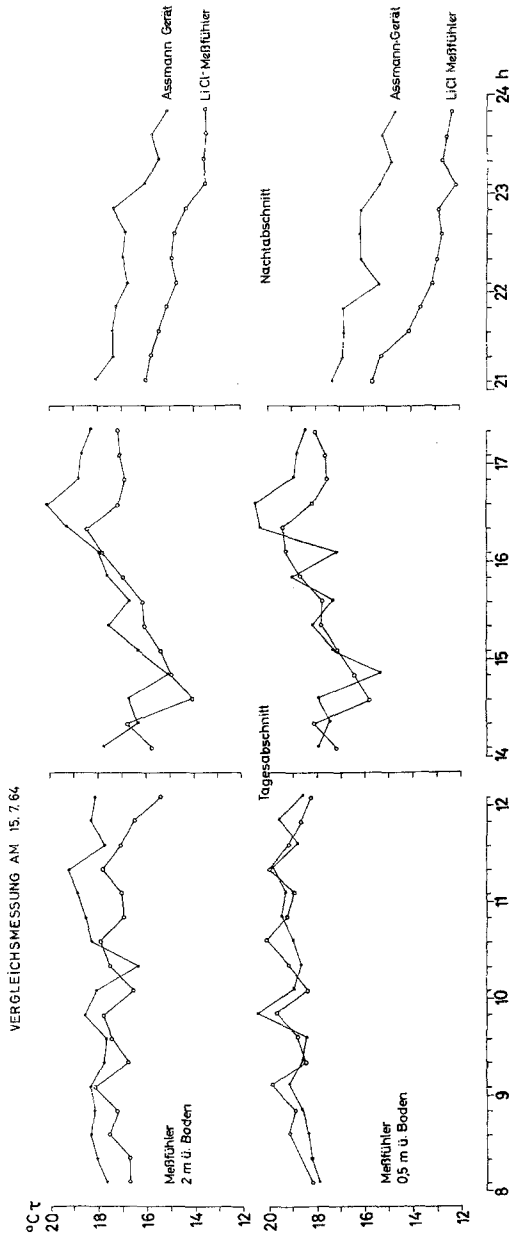


Abb. 3. Durch unterschiedliche Strahlungsbilanz und relative Feuchte bewirkte Abweichungen der Taupunktanzeige von Lithiumchlorid-Fühlern gegenüber Assmann-Psychrometern

gleichzeitigen Registrierungen der Taupunkt- und Lufttemperatur in verschiedenen Höhen über dem Boden gezeichnet. Während der Nachtstunden übersteigt an den bodennahen Meßstellen (5 cm

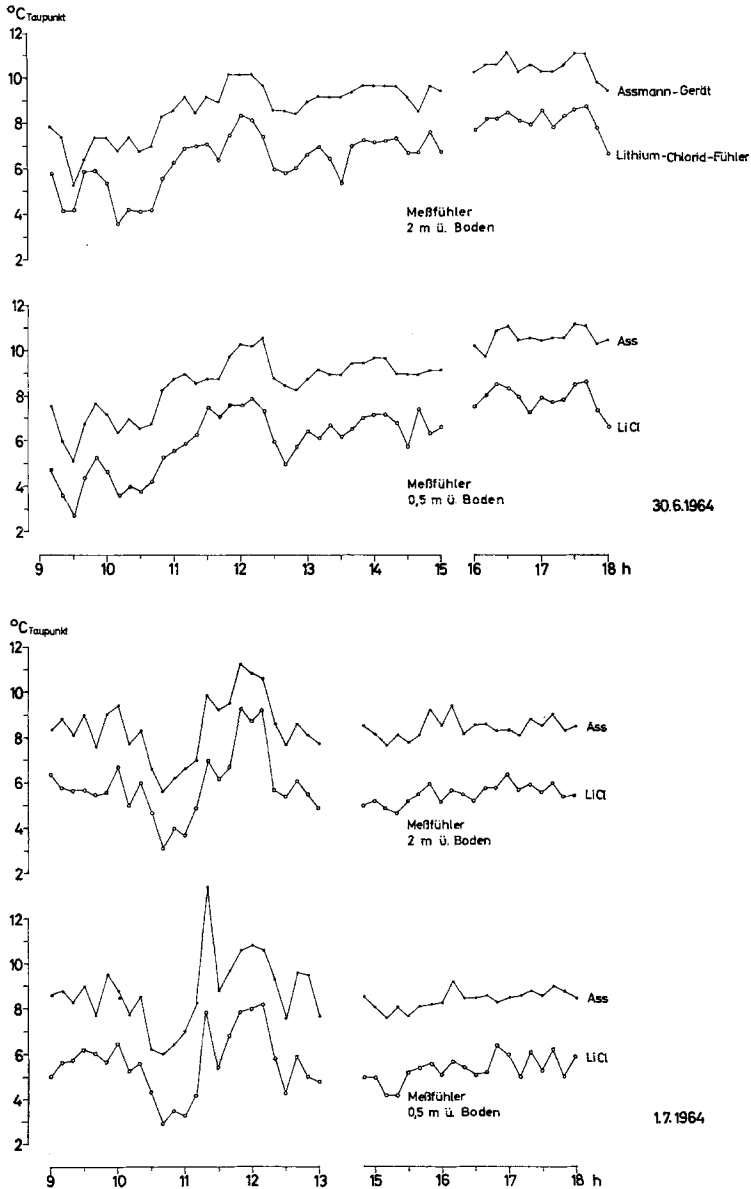


Abb. 4. Ergebnisse von Vergleichsmessungen zwischen Lithiumchlorid-Fühler und Assmann-Psychrometer während stark bewölkter Tage

bis 200 cm) die Taupunkttemperatur die Werte der Lufttemperatur und täuscht dadurch eine Wasserdampfübersättigung vor. Die überhöhte Anzeige des Taupunkts ist aber nur dadurch zustande gekommen, daß driftende Nebeltröpfchen während einer Bodennebel-Wetterlage am Lithiumchlorid-Meßfühler abgesetzt wurden und die Taupunktanzeige über den in Bodennähe möglichen Wert $\tau [^{\circ}\text{C}] \leq t [^{\circ}\text{C}]$ angehoben wurde. An der Beobachtungsstation Teufelsmoor des Deutschen Wetterdienstes trat an beiden Tagen (10. 9. und 11. 9. 1965) morgens Nebel auf. In der gleichen Nacht wurde an der benachbarten, ca. 5 km entfernten und 50 m höher gelegenen Station, an welcher der Bodennebel nicht auftrat (Geest), über Mineralboden nur in 5 cm Höhe ein überhöhter Taupunkt beobachtet, entsprechend der geringeren Nebelneigung des höher gelegenen, nicht vermoorten Standorts (Abb. 5 b).

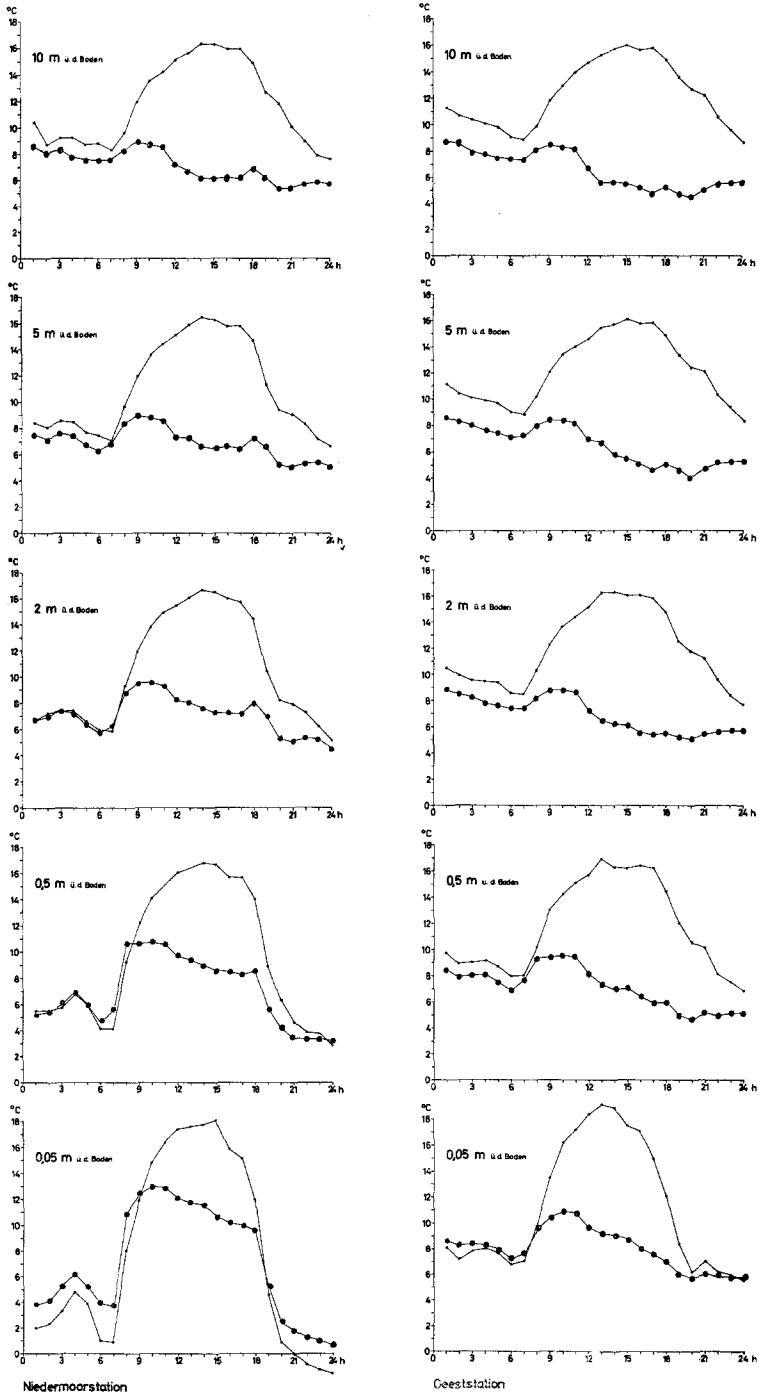
Bei Vergleichsmessungen mit Assmann-Psychrometern konnte der gleiche Effekt nicht beobachtet werden, obwohl während einer Meßreihe nachts Bodennebel auftrat. Es bedarf offensichtlich einer besonders dichten Nebelbildung und besonderer Strömungsverhältnisse, um die beobachtete Erscheinung hervorzurufen. Immerhin macht es das Lithiumchlorid-Verfahren in solchen Situationen unsicher.

Der durch Nebel verursachte Meßfehler bei der Taupunktregistrierung kann möglicherweise benutzt werden, um den Lithiumchlorid-Fühler zusammen mit einem Temperaturfühler als „Nebel-detektor“ einzusetzen. Voraussetzung dafür ist, daß bei Nebelwetterlagen die Taupunkttemperatur am Lithiumchlorid-Fühler infolge Nebelabsatz an der Meßzelle die Lufttemperatur der Umgebung stets aus dem gleichen Grunde übersteigt, so daß diese Erscheinung als sicheres Merkmal für Nebel in der Umgebung des Meßfühlers gewertet werden kann. Versuche, den Lithiumchlorid-Fühler zur Nebelregistrierung einzusetzen, werden zur Zeit durchgeführt.

Der andere Fall für Fehlermöglichkeiten betrifft die Situation des nächtlichen Taufalls. Nach starkem nächtlichem Tauabsatz am Schutzgehäuse um die Lithiumchlorid-Meßfühler wurde in den Morgenstunden ein steilerer Anstieg der Taupunktanzeige der Lithiumchlorid-Feuchtegeber gegenüber den Assmann-Werten beobachtet (Abb. 6). Durch die Strahlungserwärmung des Schutzgehäuses nach Sonnenaufgang (5.45 Uhr) verdunstete der am Gehäuse ab-

Abb. 5. Einfluß von Bodennebel auf die Taupunktanzeige von Lithiumchlorid-Fühlern am 10. 9. 1965

a) Niedermoor, b) an der Station geringerer Nebelneigung Geest
—•—•—•— Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), •—•—•—•— Taupunkt ($^{\circ}\text{C}$)



a)

Abb. 5

b)

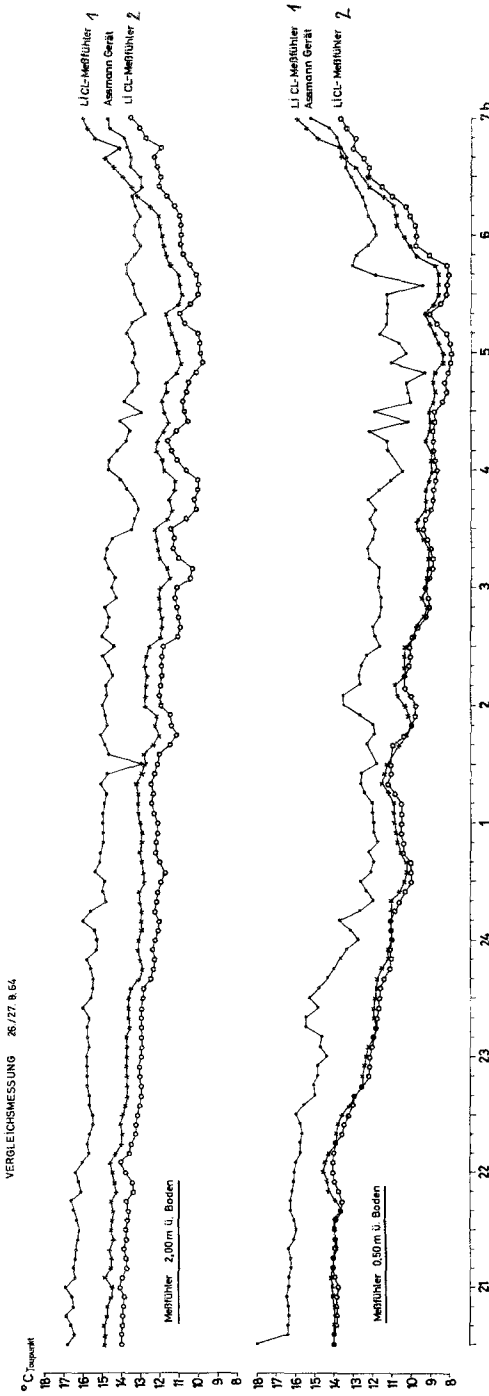
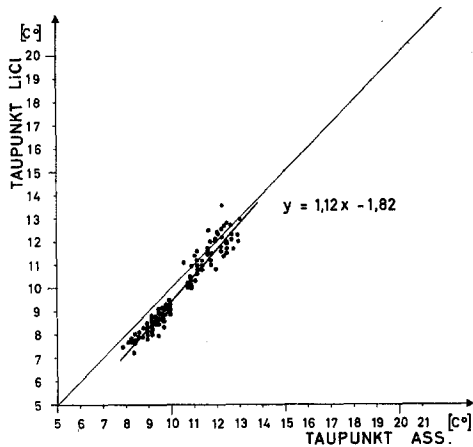


Abb. 6. Erhöhung der Taupunktanzeige durch Tauabsatz am Schutzgehäuse der Lithiumchlorid-Fühler. In jeder Meßhöhe waren zwei Lithiumchlorid-Feuchtfühler während der Vergleichsmessung befestigt

gesetzte Tau und bewirkte eine lokale Erhöhung des Taupunkts; die Meßanordnung selbst war kurzzeitig Wasserdampfquelle und hatte gegenüber der Umgebung einen überhöhten Taupunkt (Abb. 7, 6 bis 7 Uhr).

Wie aus den Untersuchungen und besonders aus Abb. 2 und Abb. 6 hervorgeht, weichen die Meßergebnisse der Lithiumchlorid-

VERGLEICHSMESSUNG VERBESSERTER LiCl-FÜHLER (1)
MIT ASSMANN - PSYCHROMETER



VERGLEICHSMESSUNG VERBESSERTER LiCl-FÜHLER (2)
MIT ASSMANN - PSYCHROMETER

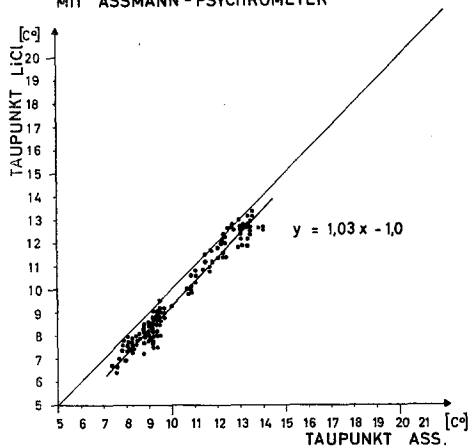


Abb. 7. Taupunktanzeige einer verbesserten Ausführung von Lithiumchlorid-Fühlern (vgl. Abb. 2)

Meßfühler von den mit Assmann-Psychrometern gemessenen Werten individuell ab. Die Korrekturwerte müssen daher für jeden Fühler gesondert ermittelt werden.

Nachdem als eine wesentliche Fehlerursache die Wärmeableitung vom Pt-Thermometer an die Umgebung erkannt war, wurde versucht, durch konstruktive Änderungen die Wärmeisolation des Widerstandsthermometers gegen die Umgebung zu verbessern. Wie Ergebnisse anschließender Vergleichsmessungen an den verbesserten Meßfühlern zeigen (Abb. 7), weichen die Meßwerte jetzt wesentlich weniger von den mit Assmann-Psychometern erzielten Taupunktwerten ab als die in Abb. 2 dargestellten Meßwerte der ursprünglichen Ausführung. Eine vollständige Ausschaltung der infolge Wärmeableitung an die Umgebung entstehenden Meßfehler dürfte bei den in herkömmlicher Weise konstruierten Meßfühlern jedoch nicht möglich sein, da die Funktion des Regelkreises eine höhere Temperatur am Meßfühler als in der umgebenden Atmosphäre voraussetzt; diese Temperaturdifferenz erzwingt aber Wärmeströme zum Ort tieferer Temperatur, die offensichtlich nicht immer durch Wärmenachschub von den Heizelektroden über die Glashülle ersetzt werden.

Vollständig läßt sich der durch Wärmeableitung verursachte Meßfehler wahrscheinlich unter der Voraussetzung vermeiden, daß das Widerstandsthermometer selbst als Träger des LiCl-getränkten Gewebes und der Heizelektroden verwendet wird. Auftretende Wärmeverluste würden dann durch das Regelprinzip selbst beseitigt, das ja keine dauernden Dampfdruckdifferenzen zwischen Meßzelle und umgebender Atmosphäre zuläßt. Wärmeverluste würden einer Dampfdruckerniedrigung an der Meßzelle gleichzusetzen sein, die einen Wasserdampfstrom aus der Atmosphäre mit entsprechender Leitfähigkeitserhöhung und Erwärmung aus der externen Energiequelle, dem elektrischen Netz, zur Folge hätte. Versuche in dieser Hinsicht sind beabsichtigt.

Literatur

1. GRUNDMANN, W.: Haar- und Absorptionshygrometrie. Handb. met. Instrumente, Herausg. E. KLEINSCHMIDT, Berlin (1935).
2. ROBITZSCH, M.: Die Messung der Luftfeuchtigkeit und die Verdunstung. Handb. met. Instrumente, Herausg. E. KLEINSCHMIDT, Berlin (1935).
3. SONNTAG, D.: Hygrometrie, ein Handbuch der Feuchtigkeitsmessung in Luft und anderen Gasen. Berlin (1966).
4. LIENEWEG, F.: Absolute und relative Feuchtebestimmung mit dem Lithiumchlorid-Feuchtemesser. Siemens-Zeitschr. Nr. 29 (1955).
5. WALLSTEIN, F.: Schnellansprechende Feuchtigkeitsmessung und -regelung. AEG Mitt. Nr. 47 (1957).
6. CONOVER, J. H.: Tests and Adaption of the Foxboro Dew-Point Recorder for Weather Observatory. Blue Hill Met. Obs. Harvard Univ., Reprint No. 2 (1956).

7. HÖHNE, W.: Der Einstellvorgang beim LiCl-Taupunkthygrometer. *Időjárás* **67**, 213—225 (1963).
8. BAUMBACH, S.: Schwingungsunempfindlicher Schiffsvielfachschreiber zur Untersuchung des Schiffaderaum- und Seeklimas — Meßmethode und Meßelemente — *Techn. Mitt. Instrumentenamt Deutsch. Wetterd.* **28** (1954).
9. LÜCK, W.: *Feuchtigkeit: Grundlagen, Messen, Regeln.* München (1964).
10. TANNER, C. B., and V. E. SUOMI: Lithiumchloride Dew Cell Properties and Use for Dew-point and Vapor-pressure Gradient Measurement. *Transact. Amer. Geophys. Union* **37**, 413—420 (1956).
11. TANNER, C. B., and V. E. SUOMI: A Max-Min Dew-Point Hygrometer. *Transact. Amer. Geophys. Union* **39**, 63—66 (1958).
12. HICKES, W. F.: Humidity Measurement by a New System. *Refriger. Eng.* **54**, 351—354, 388 (1947).
13. BLEY, H., und A. GOLDMANN: *Elektronische Meßfühler*, **2**, Stuttgart (1963).

Anschrift des Verfassers: MICHAEL MIESS, Institut für Meteorologie und Klimatologie der Technischen Hochschule Hannover, Herrenhäuser Straße 2, D-3 Hannover-Herrenhausen.