

KfK 3072
Januar 1981

Vergleich verschiedener Feuchtemeßgeräte

M. Becker
Hauptabteilung Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Sicherheit

KfK 3072

Vergleich verschiedener Feuchtemeßgeräte

M. Becker

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

**Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003**

Zusammenfassung

Verschiedene Feuchtemeßgeräte sind im Freien bei unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen in mehreren parallel laufenden Meßreihen getestet worden. Diese Meßreihen dienten der Untersuchung, ob die wartungsintensiven LiCl-Taupunktgeber am Mast durch andere Geräte ersetzt werden können; sie stellen keinen vollständigen Gerätetest dar. Als Referenzgeräte dienten ein Aspirations-Psychrometer nach Aßmann und ein Thermometer (Pt-100) nach Frankenberger. Es zeigte sich, daß ein Digital-Psychrometer (Aspirations-Psychrometer mit Digital-Anzeige) weder für Kontroll- noch für Dauermessungen geeignet ist. Ein Kondensator-Hygrometer erscheint in seiner jetzigen Bauweise nur dann für kurzfristige Kontrollzwecke geeignet, wenn es belüftet wird. Das Haar-Hygrometer zeigte vor allem, daß es sehr träge ist und raschen Feuchtigkeitsänderungen nicht so gut folgen kann.

Für den Dauerbetrieb am meteorologischen 200 m-Mast erscheint von den untersuchten Instrumenten das LiCl-Feuchtemeßgerät am geeignetsten.

Summary

Comparison of Various Humidity Meters

Various humidity meters have been tested in the open air under different meteorological conditions within several measurement series in parallel. These measurement series served the purpose of examining whether the LiCl-dew point pickups installed at the meteorological tower and requiring much maintenance work may be replaced by other instruments; they do not provide for complete instrument testing. An aspiration psychrometer according to Aßmann and a thermometer (Pt-100) according to Frankenberger served as the reference instruments. It appeared that a digital psychrometer (aspiration psychrometer with digital indication) is neither suited for control nor for permanent measurements. A capacitor hygrometer in its present version seems to be suited for short term control purposes only in case it is ventilated. The hair hygrometer revealed above all that it is very slow and cannot follow so satisfactorily quick changes in humidity.

Among the instruments under investigation the LiCl humidity meter seems to be most suited for permanent operation at the 200 m high meteorological tower.

1. Beschreibung der Meßreihen

Sowohl für den Routineeinsatz am meteorologischen 200 m-Mast als auch für Eichzwecke wird ein Feuchtemeßgerät gesucht, das einfach zu bedienen ist und bei großer Genauigkeit wenig Wartungsaufwand erfordert. Es sind deshalb verschiedene Geräte beschafft worden, die in mehreren vergleichbaren Meßreihen im Freien bei unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen getestet worden sind.

Von einer Untersuchung der Meßfühler im Klimaschrank wurde abgesehen, da die Bestimmung der Feuchte im Klimaschrank mit hinreichender Genauigkeit problematisch erschien. Abgesehen davon hätte das Einbringen der Sensoren von Fall zu Fall größeren Aufwand erfordert. Bei der Untersuchung im Freien konnten die Geräte dagegen leicht bei allen Bedingungen getestet werden, wenn man nur das geeignete Wetter abwartete.

Folgende Geräte wurden untersucht: (siehe Tabelle)

- Digital-Psychrometer, Aspirations-Psychrometer mit digitaler Anzeige
- Kondensator-Hygrometer
- LiCl-Taupunkt-Geber, kombinierter Geber für Taupunkt und Lufttemperatur
- Haar-Hygrometer, Thermo-Hygrograph

Als Referenz-Geräte dienten:

- Aspirations-Psychrometer nach Abmann
- elektr. ventiliertes Thermometer Pt-100 nach Frankenberger.

Zu den vergleichenden Messungen wurden die Geräte an einem Mast auf der meteorologischen Meßwiese in 2 m Höhe nebeneinander aufgehängt. Nur der Thermo-Hygrograph befand sich in einer Klimahütte ca. 10 m entfernt. Die Geräte waren mindestens 15 min in Betrieb, bevor mit den Messungen begonnen wurde. Der LiCl-Geber, das Thermometer nach Frankenberger und der Thermo-

hygrograph sind an den beschriebenen Stellen immer in Betrieb. Die Meßwerte des Thermometers nach Frankenberger, des LiCl-Gebers und zeitweise des Kondensator-Hygrometers werden elektrisch über das automatische Datenerfassungssystem von HS/M alle 20 sec abgefragt und nach jeweils 10 min zu einem Mittelwert zusammengefaßt.

Bei den anderen Geräten wurden im Abstand von einer Minute die Feuchtwerte bzw. die Werte der feuchten und trockenen Thermometer abgelesen und aufgeschrieben. Hinterher wurden 10 min-Mittelwerte gebildet, die in der Tabelle 1 zusammengefaßt sind.

2. Vergleich der untersuchten Geräte

2.1 Referenzgeräte

Als Referenzgerät für die Temperaturmessung diente das Instrument nach Frankenberger mit einem belüfteten Doppel-Pt-100-Sensor als Meßfühler. Frühere Untersuchungen ergaben für den Sensor Fehlergrenzen von $\pm 0,02$ K. Wegen des Aufzeichnungsverfahrens des digitalen Datenerfassungssystems muß für die mit Hilfe dieses Gerätes erhaltenen Meßwerte ein Fehler von $\pm 0,1$ K angesetzt werden.

Das Aspirations-Psychrometer nach Aßmann stellte das Referenzgerät für die Feuchtigkeitsmessungen dar.

Die Bestimmung des Taupunktes aus den Meßwerten T_{tr} und T_f des trockenen und des befeuchteten Thermometers erfolgte mit Hilfe eines Tabellenwerkes des Deutschen Wetterdienstes /1/.

Die angegebenen Fehler für den Taupunkt und die relative Feuchte wurden mit Hilfe einer Fehlerfortpflanzungsrechnung an der dem Tabellenwerk zugrunde liegenden Sprung'schen Formel gefunden. Bei der Rechnung gehen folgende Fehler ein: die Ablesegenauigkeit mit $\pm 0,1$ K; die Fehlergrenzen der Thermometer mit $\pm 0,2$ K; größter Unterschied von Fehlern in jedem beliebigen Skalenabschnitt von 10 K : 0,1 K. Bei allen Messungen lag der Luftdruck zwischen 750,5 und 757,3 mm Hg. Sein Einfluß konnte immer vernachlässigt werden.

Alle mit Hilfe des Aßmann'schen Psychrometers und des Temperaturfühlers nach Frankenberger gemessenen Temperaturen liegen innerhalb der Fehlergrenzen.

2.2 Digital-Psychrometer

Der Hersteller des Digital-Psychrometer gibt einen Fehler von $\pm 0,1$ K für die Temperaturen des trockenen und des befeuchteten Thermometers und von ± 1 % für die errechnete relative Feuchte an. Die gemessenen Temperaturen des trockenen und des befeuchteten Thermometers lagen jedoch häufig außerhalb der Fehlergrenzen der Messwerte der angegeben Referenzgeräte.

Es fällt auf, daß die Temperaturen des befeuchteten Thermometers dieses Geräts ständig kleiner als die entsprechenden Werte des Aßmann'schen Psychrometers sind. Dementsprechend ergeben sich auch höhere Werte der relativen Feuchte. Darüber hinaus war der Akku-Betrieb des Hand-Psychrometers problematisch, da der Meßwert von der Versorgungsspannung abhängig ist und daher die Temperaturen des befeuchteten Thermometers nach entsprechender Entladung des Akkus zu hoch gemessen wurden.

Alle Messungen mit dem Digital-Psychrometer erfolgten daher bei Netzbetrieb. Wenn dennoch eine zu hohe relative Feuchtigkeit gemessen wurde, mag das an der unzureichenden Belüftung des befeuchteten Thermometers liegen. Daher ist dieses Gerät weder für den Dauerbetrieb noch für Kontrollzwecke geeignet.

2.3 Kondensator-Hygrometer

Bei dem Kondensator-Hygrometer besteht der Feuchtesensor aus einem Dünnschicht-Polymer-Kondensator. Aus den Angaben des Herstellers ergibt sich für die Anzeige der relativen Feuchte ein Fehler von ± 3 %. Beim Vergleich der Meßergebnisse mit den Werten des Aßmann'schen Psychrometers zeigen sich deutlich größere Unterschiede, als die Meßunsicherheiten zulassen.

Bei kleiner relativer Feuchte wird eine zu kleine, bei hoher relativer Feuchte eine zu hohe Feuchte angezeigt.

Darüber hinaus wurde das Kondensator-Hygrometer in mehreren Meßserien einem Dauertest über mehrere Tage unterworfen. Als Vergleichsgerät diente dabei nur der LiCl-Feuchtefühler. Zum Schutz vor Regen wurde der Feuchtesensor des Kondensator-Hygrometers in ein Gehäuse eingebaut und belüftet, wie es für einen Temperaturfühler nach Frankenberger vorgesehen ist.

Dabei ergaben sich im Verlauf eines Tages bei relativen Feuchten zwischen 66 % und 100 % zufriedenstellende Werte: die Abweichungen der Meßwerte des Kondensator-Hygrometers und des LiCl-Feuchtefühlers betragen maximal 2 %. Dies liegt innerhalb der angegebenen Meßunsicherheiten.

Nach einem Tag reagierte allerdings der Feuchte-Sensor des Kondensator-Hygrometers nicht mehr auf Feuchteänderungen. Vermutlich war er verschmutzt; denn nach Waschen in destilliertem Wasser funktionierte er wieder.

Der gleiche Betrieb des Kondensator-Hygrometers mit einem käuflichen Metall-Sinterfilter zum Schutz vor Verunreinigung ergab allerdings Meßwerte, die sich beträchtlich von denjenigen des LiCl-Feuchtefühlers unterschieden. Ein typischer Verlauf ist in der Abb. 2 festgehalten. Die Abweichungen betrugen bis zu ± 10 %, wobei das Kondensator-Hygrometer häufig bei hoher Feuchte zu hohe Meßwerte und bei niedriger Feuchte zu niedere Meßwerte anzeigte. Zudem war es nach längerem Betrieb bei 100 % relativer Feuchte notwendig, den Sensor in eine trockenere Umgebung (50 - 60 % relative Feuchte) zu bringen, bevor er wieder auf Feuchteänderungen reagierte.

Daraus ergibt sich, daß das Kondensator-Hygrometer für den Dauerbetrieb nicht geeignet erscheint. Für kurzzeitige Eichzwecke muß es zumindest belüftet werden.

2.4 Kombiniertes LiCl-Geber für Taupunkt und Lufttemperatur

Bei diesem Feuchtegeber beruht das Meßprinzip darauf, daß eine Probe mit LiCl-Salz in einer belüfteten Kammer auf diejenige Temperatur gebracht wird, bei der sich das Salz im Bereich eines Phasenüberganges befindet. Diese Temperatur ist von der Feuchtigkeit der Luft abhängig und liefert ein Maß für den Taupunkt.

Aus den in mV gemessenen Spannungen U bei den LiCl-Feuchtefühlern ergibt sich der Taupunkt τ in °C gemäß der Formel:

$$\tau = A_0 + A_1 \cdot U$$

Die Konstanten A_0 und A_1 ergeben sich aus Vergleichsmessungen, die bei verschiedenen Bedingungen mit dem Aßmann'schen Psychrometer durchgeführt wurden. In Abb. 1 sind die Ergebnisse solcher Vergleichsmessungen mit vier verschiedenen LiCl-Psychrometern festgehalten. Der Eichfaktor ist $A_1 = 0,73$ nach den Angaben des Herstellers. Die Konstante A_0 gibt an, um wieviel Grad die Meßwerte gegenüber den Angaben des Herstellers angehoben werden müssen. Der Hersteller gibt eine Meßunsicherheit von $\pm 0,2$ K an.

Es erscheint sinnvoll, für die Konstanten A_0 und A_1 nicht kurzfristig gemessene, sondern langfristige Mittelwerte anzuwenden. So ist A_0 mit 0,0 am 17.1.80 offenbar zu klein (s. Tab. 1) mit 0,6 am 17.7.80 dagegen zu groß. Man sollte durchgehend für alle Messungen $A_0 = 0,3$ wählen. Die für die bei HS/M vorhandenen LiCl-Meßfühler gefundenen Werte A_0 und A_1 lassen die vom Hersteller pauschal angegebene Meßunsicherheit von $\pm 0,2$ K des Taupunktes als zu günstig erscheinen. Unsere Ergebnisse (s. Abb. 1) deuten auf eine Meßunsicherheit von $\pm 0,5$ K hin.

2.5 Haar-Hygrometer des Thermohygrographen

Der Hersteller des Haar-Hygrometers gibt eine Meßunsicherheit von 2,5 % an. Der Vergleich der Meßergebnisse mit den mit dem Aßmann'schen Psychrometer gewonnenen Ergebnissen zeigt außer am 25.8.80 Übereinstimmung in den Verträglichkeitsgrenzen. Am 25.8.80 spielte die große Zeitkonstante des Haar-Hygrometers (ca. 15 min) eine Rolle; denn das Haar-Hygrometer konnte der raschen Abnahme der relativen Feuchtigkeit nicht so schnell folgen, wie die anderen Instrumente.

3. Schlußfolgerung

Außer dem LiCl-Taupunkt-Geber zeigten die verglichenen Meßgeräte erhebliche Meßfehler. Das Digital-Psychrometer (Aspirations-Psychrometer mit Digital-Anzeige) ist wegen vermutlich unzureichender Belüftung weder für Kontroll- noch für Dauer-

messungen geeignet. Es müßte geprüft werden, ob eine Verstärkung des Luftdurchsatzes zu einer Verbesserung der Meßergebnisse führt.

Das Kondensator-Hygrometer erscheint in seiner jetzigen Bauweise nur dann für kurzfristige Kontrollzwecke geeignet, wenn es belüftet wird. Der Betrieb des belüfteten Kondensator-Hygrometers müßte noch unter verschiedenen Bedingungen getestet werden, bevor das Gerät für Kalibrierzwecke kurzfristig bei Feuchten unterhalb der Sättigung eingesetzt werden kann.

Das Haar-Hygrometer zeigte vor allem, daß es sehr träge ist und raschen Feuchtigkeitsänderungen nicht so gut folgen kann.

Literatur

/1/ Aspirations-Psychrometer-Tafeln, Hrsg. Deutscher Wetterdienst, 5. Auflage, Vieweg, Braunschweig (1976)

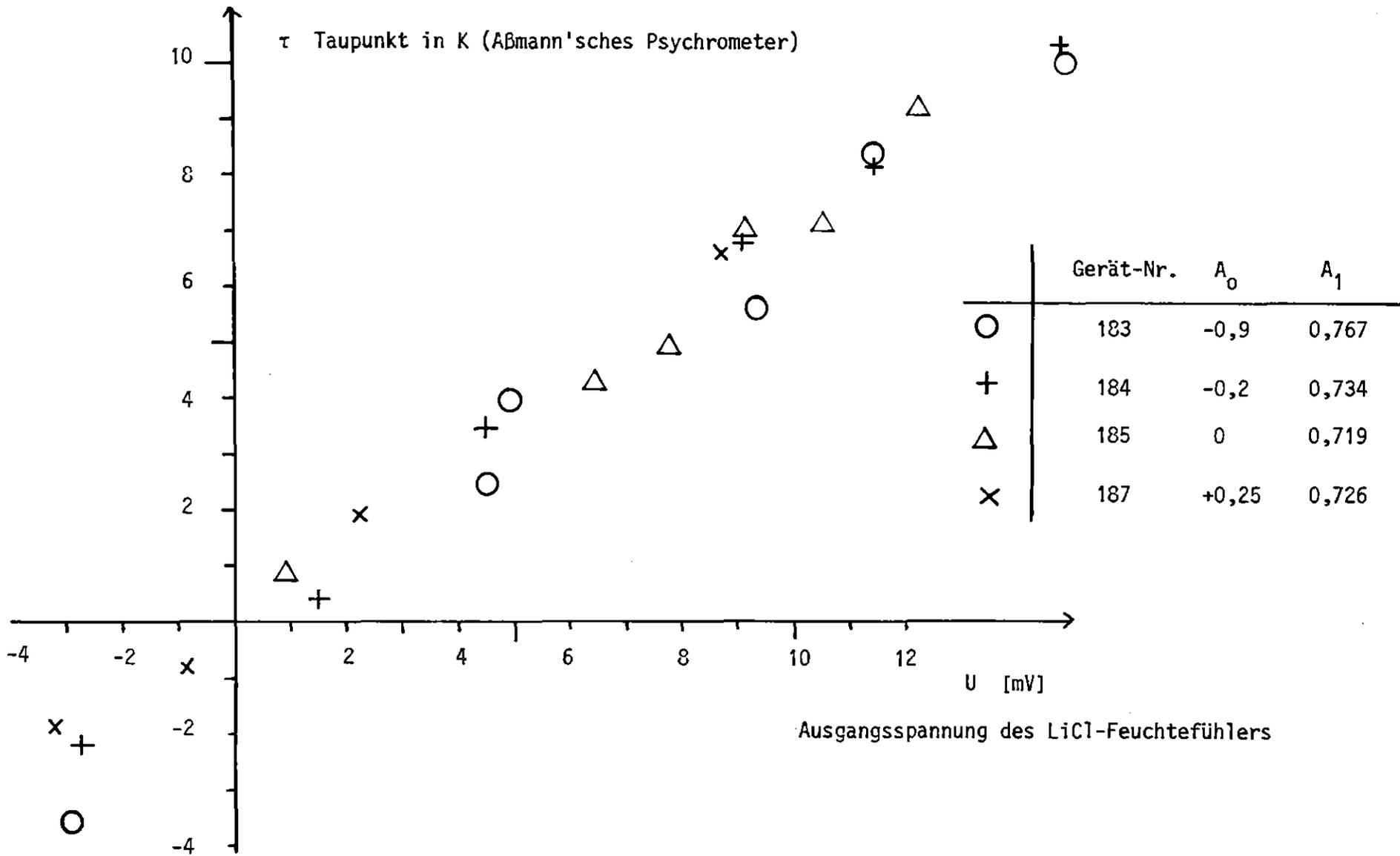


Abb. 1: Mit dem Abmann'schen Psychrometer gemessene Taupunkte in Abhängigkeit von der Ausgangsspannung des LiCl-Feuchtefühlers

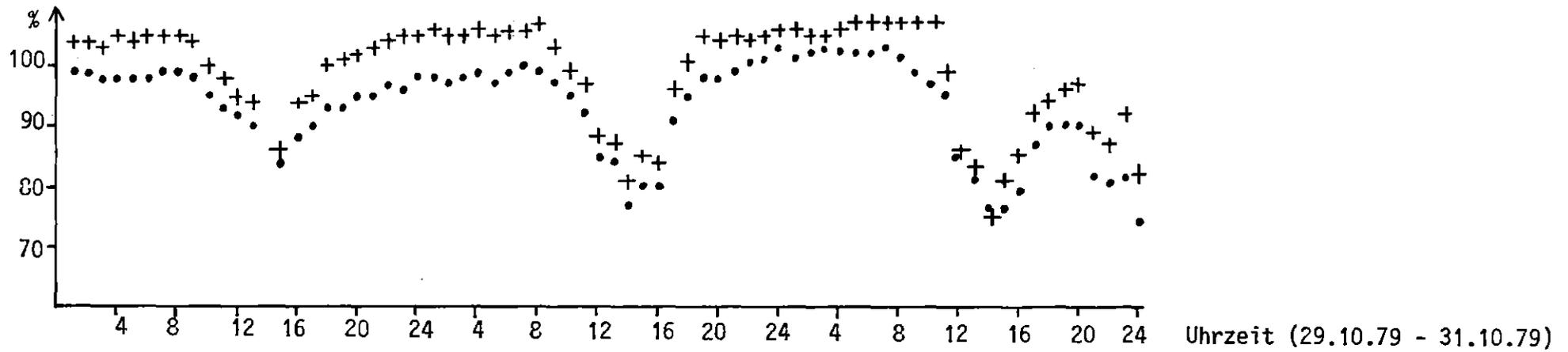
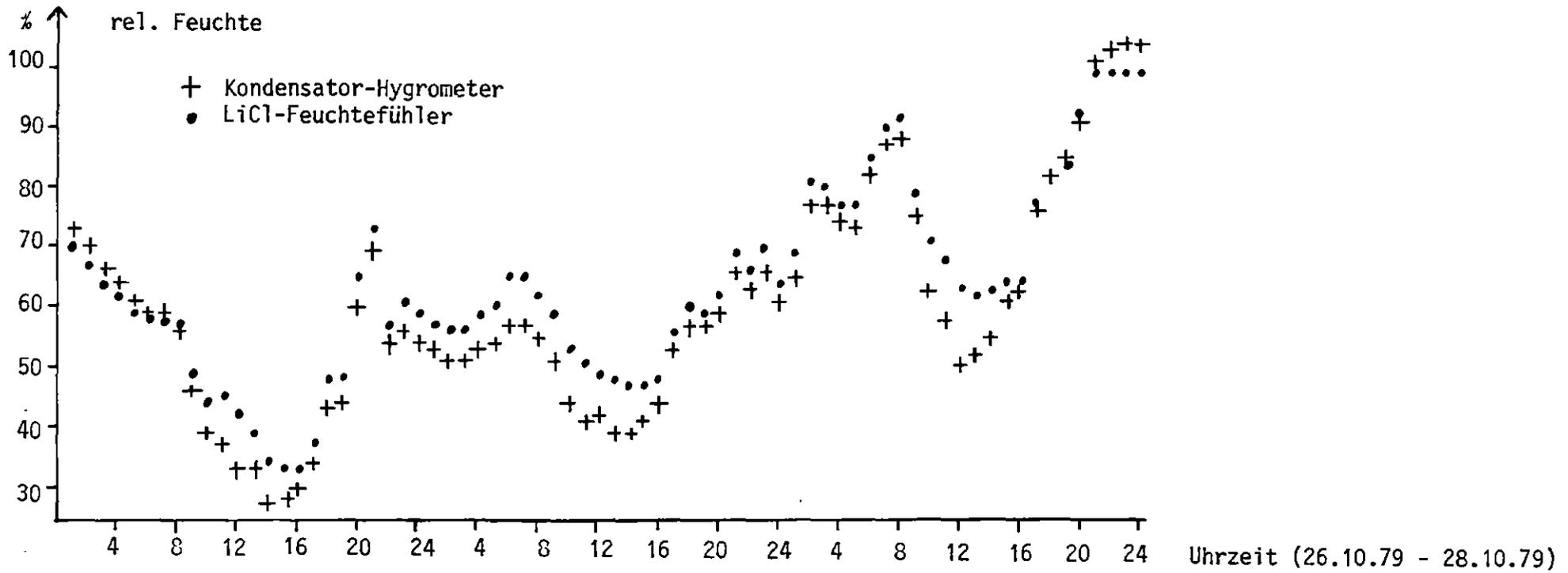


Abb. 2: Der zeitliche Verlauf der Feuchteanzeige des belüfteten Kondensator-Hygrometers mit Sinterfilter und des LiCl-Feuchtefühlers vom 26.10.79 bis 31.10.79

Datum	Zeit	Asp.-Psychr.- Abmann				Franken- berger	Digital-Psychr.				Kond.- Hygr.	LiCl-Geber				Haar- Hygr.	Bemerkungen	
		T _f	T _{tr}	τ	r.F.		T	T _f	T _{tr}	τ		r.F.	r.F.	A ₀	A ₁			τ
17.01.80	10.40	-3,0	-1,7	-5,8	74 } ± 3	-1,7	-2,5	-1,6	-4,3	82	60	0,0		-6,3	70	67	Die Dochte der be- feuchteten Thermometer waren mit Eis bedeckt	
	10.50	-3,0	-1,6	-5,9		72	-1,6	-2,5	-1,5	-4,4	81			60	-6,3	70		67
	11.00	-3,0	-1,6	-5,9		72	-1,6	-2,4	-1,5	-4,3	81			60	-6,3	70		68
	11.00	-3,1	-1,8	-5,8		74	-1,6	-2,5	-1,5	-4,4	81			59	-6,5	69		68
17.07.80	13.40	10,8	17,0	5,1	46 } ± 2	16,9	11,4	16,7	6,9	52	42	0,6		5,4	46	47		
	13.50	11,0	17,2	5,5		46	17,2	11,9	17,0	7,7	53			41	5,6	46		47
28.07.80	14.20	20,2	26,2	17,2	58 } ± 4	26,0	21,4	26,7	19,0	61	53	0,3	730	17,8	60	55		
	14.30	20,1	26,0	17,2		58	25,9	21,6	26,6	19,4	63			49	17,5	59		55
25.08.80	8.00	8,4	9,9	7,0	82 } ± 2	10,0	9,0	9,8	8,3	90	68	0,5		7,3	83	95		
	8.10	8,8	10,8	7,0		77	10,9	9,2	10,6	7,9	83			64	7,2	78		93
	8.20	9,0	11,1	7,0		76	11,3	9,2	10,8	7,8	81			65	7,3	76		90
28.08.80	9.40	18,1	18,3	17,9	97 } ± 2	18,5	18,1	18,1	18,1	99	105	0,5		18,2	98	94		
	9.50	18,1	18,4	17,9		96	18,6	18,2	18,3	18,2	99			105	18,3	98		95
	10.10	18,0	18,4	17,8		97	18,4	17,9	18,1	17,8	97			104	18,0	97		95
28.08.80	10.30	19,6	25,0	16,9 ± 0,3	61 ± 2		19,9	25,1	17,3	61	64						Die Messung erfolgte im Keller der Meßwarte	

Legende: T_f: Temperatur der befeuchteten Thermometer [°C]
T, T_{tr}: Temperatur der trockenen Thermometer [°C]
τ: Taupunkt [°C]
r.F.: relative Feuchte [%]

Tabelle 1: Mittelwerte der Temperatur und Feuchte