



**Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt**  
**Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie**  
**Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia**  
**Working Reports of the Swiss Meteorological Institute**

**Zürich**

No. 87.

STATISTISCHE EIGENSCHAFTEN DES DAMPFDRUCKS UND  
IHRE ERKLÄRUNG

von

Walter Kuhn, Zürich

Juni 1979

Theoretische Meteorologie  
Klimatologie

551.501.45  
551.571.3

Zusammenfassung

Gegenstand dieser Arbeit ist die Differenz zwischen dem mittleren Dampfdruck irgend eines Satzes von Beobachtungen und demjenigen Dampfdruck, den man aus der mittleren Temperatur und mittleren relativen Feuchtigkeit des gleichen Satzes von Beobachtungen berechnet. Diese Differenz kann positiv oder negativ sein. Es wird ein Kriterium hergeleitet, das über ihr Vorzeichen entscheidet. Im Falle von Monatsmitteln ist es zweckmässig, das Näherungsverfahren zunächst auf die Monats-Terminmittel anzuwenden und diese dann zu mitteln. So ergeben sich Fehler von der Grössenordnung eines Zehntelmillibars. Die instrumentell bedingten Fehler sind in der Regel grösser.

Résumé

Dans cette étude il s'agit de déterminer la différence entre la pression moyenne de la vapeur d'eau d'un ensemble quelconque d'observations et la pression de la vapeur que l'on peut calculer en partant de la température moyenne et de l'humidité relative moyenne de cet ensemble. Cette différence est positive dans certains cas et négative dans d'autres cas. On établit un critère qui permet de déterminer le signe de la différence. Dans le cas de moyennes mensuelles, on a avantage à appliquer le calcul approximatif d'abord à chaque heure d'observation séparément et de faire la moyenne ensuite. L'erreur due à ce procédé de calcul est de l'ordre d'un dixième de millibar; elle est généralement inférieure aux erreurs provenant de l'inexactitude des instruments.

### Riassunto

Lo scopo di questo studio è la determinazione della differenza tra la pressione media del vapore acqueo di una serie di osservazioni e la pressione del vapore acqueo, calcolata partendo dalla temperatura media e dall'umidità relativa media della stessa serie di osservazioni. Questa differenza può essere sia positiva, sia negativa. E' stato stabilito un criterio, che permette di determinare il segno della differenza. Nel caso delle medie mensili, è consigliabile applicare dapprima il calcolo approssimativo, separatamente per ogni ora di osservazione e in seguito fare la media. Gli errori dovuti a questo procedimento di calcolo sono dell'ordine di un decimo di millibar e sono in generale inferiori a quelli dovuti all'inesattezza degli strumenti.

### Summary

This paper is an investigation of the difference between the average water vapour pressure of any set of observations on the one hand, and the water vapour pressure computed from the average temperature and average relative humidity of the same set of observations on the other. This difference may be positive or negative. A criterion determining the sign of the difference is developed. In the case of monthly means one should begin by computing approximate values for each observation hour separately and take the average afterwards. The resulting errors are of the order of a tenth of millibar; they are generally smaller than errors due to instrument deficiencies.

## Einleitung

Seit 1971 wird im schweizerischen Klimadienst das Element "Dampfdruck" für alle Klimastationen terminweise aus relativer Feuchtigkeit und Temperatur berechnet. In den "Annalen" sind bei allen Klimastationen Monats- und Jahres- Terminmittel und Gesamtmittel des Dampfdrucks aufgeführt; bei den zwölf Extensostationen sind ausserdem die täglichen Terminwerte angeben.

Unter "Dampfdruck" versteht man den Partialdruck des in der Luft enthaltenen Wasserdampfs. Er wird hier mit dem Buchstaben  $e$ , in Anlehnung an die Computer-Ausdrucke auch mit  $PV$  bezeichnet. Der nur von der Lufttemperatur  $T$  abhängige Sättigungs-Dampfdruck wird zur Vermeidung von Indizes mit einem grossen  $E$  bezeichnet.

Im Unterschied zu den Angaben in den "Annalen" wird als Einheit des Dampfdrucks in diesem Arbeitsbericht durchwegs das Millibar verwendet.

Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung bildete ein Problem, das sich bei der nachträglichen Bearbeitung von Dampfdrucken aus früheren Beobachtungszeiträumen stellte, unter anderem auch in der "Klimatologie der Schweiz", Heft D (Luftfeuchtigkeit). Wie in der Einleitung zu jenem Heft erwähnt, wurde in Anbetracht der vom Instrument her (Haarhygrometer!) nicht sehr genauen Feuchtigkeitsmessung auf die nachträgliche Berechnung von  $PV$  für jeden einzelnen Beobachtungstermin verzichtet. Die mitgeteilten Monats-Terminmittel wurden aus den entsprechenden Mittelwerten von Temperatur und relativer Feuchtigkeit anhand der Näherungsformel

$$\overline{PV} \approx E(\overline{T}) \times \frac{\overline{U}}{100\%}$$

bestimmt. ( $U$  bedeutet die relative Feuchtigkeit in %). Die Bearbeiter waren sich darüber im klaren, dass dieses Verfahren nicht völlig korrekt ist; sie konnten jedoch darauf hinweisen, dass die durch das Rechenverfahren bedingten Fehler vermutlich kleiner als die instrumentell bedingten Fehler seien. Vorzeichen und Betrag des rechenbedingten Fehlers sind Hauptgegenstand dieser Untersuchung; es wird auch diskutiert, wovon der Fehler abhängt.

### 1. Theoretische Ueberlegungen

Der Sättigungs-Dampfdruck ist bekanntlich keine lineare Funktion der Temperatur, sondern er wird durch eine gekrümmte Kurve mit durchwegs positiver erster und zweiter Ableitung dargestellt, s. oberste Kurve in Fig. 5. In der Umgebung irgend einer Mitteltemperatur  $\bar{T}$  kann  $E(T)$  durch eine Taylor'sche Reihe approximiert werden:

$$E(T) = E(\bar{T}) + \left(\frac{dE}{dT}\right)_{\bar{T}} \cdot (T-\bar{T}) + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2E}{dT^2}\right)_{\bar{T}} \cdot (T-\bar{T})^2 + \dots \quad (1)$$

Für das Folgende dürfen wir diese Reihe beim quadratischen Term abbrechen. Führen wir noch die Abkürzungen

$$a = \left(\frac{dE}{dT}\right)_{\bar{T}} \quad , \quad b = \frac{1}{2} \left(\frac{d^2E}{dT^2}\right)_{\bar{T}} \quad (2)$$

ein, so geht (1) über in

$$E(T) = E(\bar{T}) + a (T-\bar{T}) + b (T-\bar{T})^2 \quad (3)$$

(3) bedeutet, dass wir den Sättigungsdampfdruck  $E$  in der Umgebung der Mitteltemperatur  $\bar{T}$  durch eine Parabel approximieren. Die Koeffizienten  $a$  und  $b$  sind ihrerseits Funktionen der Mitteltemperatur  $\bar{T}$ , jedoch durchwegs positiv.

Nun betrachten wir ein beliebiges Kollektiv von Messpunkten mit der Mitteltemperatur  $\bar{T}$ . Bei der Mittelbildung fällt der lineare Term weg und es wird

$$\overline{E(T)} = E(\bar{T}) + b (\bar{T}-\bar{T})^2 = E(\bar{T}) + b s_T^2 \quad , \quad (4)$$

wenn  $s_T$  die Streuung von  $T$  bezeichnet.

In Worten: Wegen der positiven Krümmung der Dampfdruckkurve ist der mittlere Sättigungsdruck stets etwas höher als der zur Mitteltemperatur gehörende Sättigungsdruck.

Im allgemeinen haben wir es aber mit ungesättigter Luft zu tun. Wir führen deshalb die relative Feuchtigkeit als Dezimalbruch ein:

$$u = \frac{U}{100\%} \quad (5)$$

Der Dampfdruck berechnet sich dann zu irgend einem Zeitpunkt nach der Formel

$$e = E(T) \cdot u \quad (6)$$

Das korrekte Dampfdruckmittel unseres Kollektivs ergibt sich als mittleres Produkt korrespondierender E- und u-Werte; wir wollen es vergleichen mit demjenigen e-Wert, den wir aus  $\bar{T}$  und der mittleren relativen Feuchtigkeit  $\bar{u}$  berechnen. Die Differenz führt auf den Korrelationskoeffizienten zwischen  $\bar{E}$  und  $\bar{u}$ :

$$(\overline{E \cdot u}) - \bar{E} \cdot \bar{u} = r(E, u) \cdot s_E \cdot s_u \quad (7)$$

Für  $\bar{E}$  führen wir die Zerlegung nach (4) ein:

$$(\overline{E \cdot u}) - E(\bar{T})\bar{u} = b \cdot s_T^2 \cdot \bar{u} + r(E, u) \cdot s_E \cdot s_u \quad (8)$$

Hier können wir  $r(E, u)$  durch  $r(T, u)$  und  $s_E$  durch  $a \cdot s_T$  ersetzen. Diese Substitutionen wären zwar nur bei linearem Zusammenhang zwischen T und E streng richtig, doch bewirkt die Krümmung der Dampfdruckkurve hierin nur minime Abweichungen. Damit lautet die gesuchte Differenz in guter Näherung:

$$(\overline{E \cdot u}) - E(\bar{T})\bar{u} \approx s_T [b \cdot s_T \cdot \bar{u} + a \cdot r(T, u) \cdot s_u] \quad (9)$$

In der eckigen Klammer sind mit Ausnahme von  $r(T, u)$  sämtliche Grössen positiv.  $r(T, u)$  bzw.  $r(E, u)$  ergibt sich bei den meisten Kollektiven als negativ, besonders wenn es sich um Beobachtungen des gleichen Tages handelt (beim normalen Tagesgang nimmt bei zunehmender Temperatur die relative Feuchtigkeit ab). Es wird sich zeigen, dass die beiden Glieder

in [ ] von gleicher Grössenordnung sind, dass sie sich u.U. also aufheben können. Das erste Glied werde als Krümmungseffekt, das zweite als Korrelationseffekt bezeichnet.

Aus Gl. (9) kann geschlossen werden, dass die Differenz zwischen dem exakten und dem oben definierten Näherungswert des Dampfdrucks positiv oder negativ ausfallen kann, je nachdem ob der Krümmungseffekt oder der Korrelationseffekt überwiegt. Ohne eingehende statistische Analyse des Beobachtungsmaterials ist jedoch schwer abzuschätzen, welcher der beiden Terme grösser ist. Um zu einem leicht interpretierbaren Kriterium zu gelangen, betrachten wir als einfachsten Fall ein Kollektiv, das aus nur zwei Messpunkten  $(T_1, u_1)$ ,  $(T_2, u_2)$  mit geringem Temperaturunterschied  $2\Delta T = T_2 - T_1$  und Feuchtigkeitsunterschied  $2\Delta u = u_2 - u_1$  besteht. Die Mittelwerte seien

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2}{2}, \quad \bar{u} = \frac{u_1 + u_2}{2}$$

Die Frage lautet jetzt: Unter welchen Bedingungen ist bei einem solchen Punktepaar  $\overline{(E \cdot u)} < E(\bar{T}) \cdot \bar{u}$  ?

Parabolische Approximation der E-Werte nach (3) und Multiplikation mit den entsprechenden u-Werten ergibt:

$$\begin{aligned} E_1 &= E(\bar{T}) - a \cdot \Delta T + b \cdot (\Delta T)^2 & u_1 &= \bar{u} - \Delta u \\ E_2 &= E(\bar{T}) + a \cdot \Delta T + b \cdot (\Delta T)^2 & u_2 &= \bar{u} + \Delta u \end{aligned}$$

---


$$2 \overline{(Eu)} = 2E(\bar{T}) \cdot \bar{u} + 2a \cdot \Delta T \cdot \Delta u + 2b \cdot \bar{u} (\Delta T)^2$$

oder 
$$\overline{(Eu)} - E(\bar{T}) \cdot \bar{u} = \Delta T (a \cdot \Delta u + b \cdot \bar{u} \cdot \Delta T) \quad (10)$$

Die rechte Seite von (10) wird negativ, wenn

$$\Delta u / \bar{u} \cdot \Delta T < -\frac{b}{a} = -\frac{1}{2} \frac{d^2 E / dT^2}{dE/dT} \quad (11)$$

Fasst man T, E und u im betrachteten Bereich als stetige Veränderliche auf, so können beide Seiten als logarithmische Differentialquotienten geschrieben werden:

$$\frac{\delta}{\delta T} \left[ u \cdot \left( \frac{dE}{dT} \right)^{1/2} \right] < 0 \quad (13)$$

Bei steigender Temperatur muss also die relative Feuchtigkeit mindestens in dem Verhältnis abnehmen wie die Wurzel aus der Steigung der Dampfdruckkurve zunimmt, damit die in (10) ausgedrückte Differenz negativ wird.

In Fig. 5 sind zwei punktierte Linien entsprechend der Grenzbedingung

$$u \cdot \left(\frac{dE}{dT}\right)^{1/2} = \text{const} \quad (14)$$

eingezeichnet. Damit zwei oder mehrere Punkte auf einer geraden Strecke die obige Bedingung erfüllen, muss im (T,e)-Diagramm der Fig. 5 die Verbindungsstrecke nach rechts (d.h. bei wachsendem T) weniger steil ansteigen als die punktierten Linien; sie darf natürlich auch horizontal verlaufen oder nach rechts fallen.

Im Sommer bleibt bekanntlich der Dampfdruck während eines störungsfreien Tages an einer Flachlandstation nahezu konstant. Die dem sommerlichen Tagesgang entsprechenden Zustandspunkte werden also - weil näherungsweise auf einer Horizontalen liegend - eine negative Differenz gemäss (10) ergeben. Mit andern Worten wird das Näherungsverfahren  $E(\bar{T}) \cdot \bar{u}$  auf den Tagesgang im Sommer angewendet, resultieren etwas zu hohe mittlere Dampfdrucke. Diese Tatsache wird im folgenden durch empirische Resultate bestätigt.

Im allgemeinen liegen die Messpunkte eines Kollektivs natürlich nicht auf einer Geraden. Bei einem Punkthaufen entscheidet die Neigung der Regressionsgeraden  $E_u/T$ , verglichen mit der Neigung der Linien gemäss (14) über das Vorzeichen des Fehlers.

Zahlenwerte von  $\left(\frac{dE}{dT}\right)^{1/2}$  sind nebst anderen Parametern in Tabelle 1 wiedergegeben.

## 2. Empirische Befunde

### 2.1. Beobachtungsmaterial für die vorliegende Untersuchung

Wir stützen uns im folgenden auf die provisorischen, via Computer ausgedruckten Monatstabellen von drei synoptischen Stationen (Zürich-Kloten, Locarno-Magadino und Gütsch); als Zeitraum wurden die drei Jahre 1975, 1976 und 1977 gewählt.



Synop-Stationen bieten den Vorteil, dass Beobachtungen von acht gleichmässig über den Tag verteilten Terminen vorliegen. Da der Tagesgang des Dampfdrucks in dieser Untersuchung eine wesentliche Rolle spielt, wurde dieser Umstand als entscheidend angesehen. Künftig kann eine Dampfdruck-Untersuchung besser auf ANETZ-Messungen abgestützt werden.

Die provisorischen Ausdrücke wurden verwendet, weil in den definitiven Monatstabellen für die Annalen der Dampfdruck bei den Synop-Stationen einstweilen nicht aufgeführt wird. Allerdings wird damit der Nachteil in Kauf genommen, dass die provisorischen Ausdrücke auf die verschlüsselten Wettermeldungen abstellen, worin Temperaturen und Taupunkte auf ganze Grade gerundet erscheinen. Monatsmittel und Monats-Terminmittel dieser Parameter sind auf Zehntelgrade genau angegeben. Die auf die Verschlüsselung zurückgehenden Rundungsfehler dürften sich in Monatsmitteln aufheben und ohne Einfluss auf die daraus abgeleiteten mittleren Dampfdrucke sein.

Offensichtliche Fehler in den provisorischen Tabellen wurden korrigiert, Lücken mit Hilfe der Beobachtungsprotokolle geschlossen.

Die in den provisorischen Ausdrücken enthaltenen Dampfdrucke sind in  $(1/10)$  mm Hg angegeben. Sie wurden für den vorliegenden Arbeitsbericht auf Millibar umgerechnet. Die Monatsmittel wurden auf Grund der acht Monats-Terminmittel neu berechnet, wobei aus Rechnungsgründen eine zweite Dezimale nach dem Komma (Hundertstel-Millibar) mitgeführt wurde.

Die drei Stationen wurden so gewählt, dass die Verhältnisse im Mittelland, am Alpensüdfuss und in Berglagen durch je eine typische Station vertreten sind.

## 2.2. Tagesgang des Dampfdrucks im Sommer

In Fig. 1 ist der sommerliche Tagesgang (Mittel der Monate Juni/ Juli/August, 1975/76/77) der drei Stationen aufgetragen.

Die einzige Gemeinsamkeit der drei Kurven ist ihre verhältnismässig kleine Amplitude. Die einzelnen Terminmittel weichen in

Zürich-Kloten und Locarno-Magadino höchstens um 5%, beim Gütsch um 11% vom Gesamtmittel ab. Im Uebrigen sind die Jahresgänge völlig verschieden.

Locarno-Magadino liegt in einer Ebene an dem von Osten nach Westen fliessenden Teilstück des Tessins, 2 km östlich des Langensee-Ufers. Der Talwind fällt dort mit dem Seewind zusammen. Deshalb ist der Dampfdruck in den Nachmittagsstunden am höchsten, während am frühern Morgen der von Osten wehende Bergwind etwas trockenere Luft heranzführt.

Zürich-Kloten weist insgesamt etwas niedrigere Dampfdruckwerte und bemerkenswerterweise eine Doppelwelle mit Maxima um 9h und 21h, Minima um 3h und 15h Weltzeit auf. Das ausgeprägtere Nachmittags-Minimum dürfte auf die erhöhte Turbulenz und Konvektion zurückzuführen sein; beide Effekte bewirken eine Durchmischung der unteren Troposphäre und damit eine Abnahme der Luftfeuchtigkeit in den untersten Schichten. Das sekundäre Minimum am frühen Morgen ist schwieriger zu erklären. Es könnte mit der Taubildung zusammenhängen.

Der Nachmittags-Gipfel beim Gütsch (Station auf flachem Südhang im Oberalpengebiet, 2300 m.ü.M.) geht eindeutig auf die Anreicherung der Luft mit Feuchtigkeit durch Konvektion und Hangwinde zurück. (Gegenstück zum Effekt in Kloten).

### 2.3. Grobe Approximation auf Grund des Monatsmittels von T und u (vgl. Fig.2)

$\overline{PV}$  ist das korrekte Dampfdruckmittel (arithmetisches Mittel aus sämtlichen Einzel-Terminwerten).  $PV(\overline{T}, \overline{u})_M$  der aus Monatsmitteln von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit bestimmte Dampfdruck.

Wäre nur der Krümmungseffekt vorhanden, müssten sämtliche Differenzen positiv sein. In Kloten ist aber das Vorzeichen von März bis September negativ, und die negativen Differenzen des Sommerhalbjahres sind wesentlich grösser als die positiven des Winterhalbjahres, ein Zeichen dafür, dass der Korrelationseffekt im Sommerhalbjahr überwiegt. In Locarno-Monti finden wir sogar nur

im November eine leichte positive Differenz; in allen andern Monaten ist die Differenz negativ. Bei beiden Stationen ist die negative Abweichung im Juli am grössten; sie erreicht in Magadino 0,25 mbar, in Kloten nahezu 0,4 mbar.

Ganz anders verhält sich in dieser Beziehung der Gütsch. Hier sind die Differenzen zwischen korrektem und grob genähertem Dampfdruckmittel in allen Monaten sehr gering; sie erreichen im Frühjahr + 0,05 mbar, im Herbst -0,02 mbar. Bei dieser Station könnte also der Dampfdruck ohne weiteres nach der groben Näherung  $PV(\bar{T}, \bar{u})_M$  berechnet werden.

#### 2.4. Approximation auf Grund der Monats-Terminmittel von T und u

(vgl. Fig. 3)

Hier wird das Näherungsverfahren  $PV(\bar{T}, \bar{u})$  zunächst auf die acht Monats-Terminmittel angewandt; dann wird aus den acht so erhaltenen Werten das arithmetische Mittel gebildet.

In Zürich-Kloten und Locarno-Magadino sind die daraus entstehenden Fehler (im Vergleich zum korrekten Mittel) im Sommer zwar ebenfalls negativ, aber beträchtlich kleiner als bei Verwendung des Monatsmittels von T und u. Im Winter ist das feine Verfahren nicht besser als das grobe. Beim Gütsch liefern beide Verfahren praktisch die gleichen Differenzen.

In Anbetracht der nicht sehr genauen Feuchtigkeitsmessung können systematische Fehler im Monatsmittel des Dampfdrucks von 0,1 mbar wohl in Kauf genommen werden. Somit sind bei retrospektiven Bearbeitungen gegenüber der feinen, auf Monats-Terminmittel gegründeten Methode keine Bedenken am Platz.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass hier die Resultate jedes Kalendermonats über drei Jahre gemittelt und erst noch durch zweimalige Bildung übergreifender drei-Monats-Mittel geglättet wurden. Betrachtet man die 36 Monate einzeln, so variieren die Differenzen in Kloten zwischen -0,5 mbar (Juli 1976) und +0,2 mbar (November 1976); sie bleiben aber stets unter 3% des jeweiligen Monatsmittels. In Magadino und auf dem Gütsch überschreitet der relative Fehler in keinem Monat 2%.

## 2.5. Andere Approximationen des Monatsmittels

Versuchsweise sind wir von den Monatsmitteln und Monats-Terminmitteln der Taupunktstemperatur ausgegangen. Da bei diesem Verfahren allein der Krümmungseffekt, nicht aber der Korrelations-effekt zum Zuge kommt, sind die entsprechenden Korrekturen  $\overline{PV} - PV(\bar{T}_d)$  durchwegs positiv; sie sind erheblich grösser, das Verfahren ist also schlechter.

Ferner haben wir für Kloten und Magadino je einen Sommer- und einen Wintermonat "vertikal" statt "horizontal", dh. von Tagesmitteln der Temperatur und relativen Feuchtigkeit ausgehend, approximiert. Die daraus resultierenden Korrekturen  $\overline{PV} - PV(\bar{T}, \bar{u})_{31}$  sind neben denen des Terminmittel-Verfahrens in Tabelle 2 wiedergegeben. Das Tagesmittelverfahren gibt etwa viermal soviel zu rechnen wie das Terminmittelverfahren, führt aber kaum zu besseren Ergebnissen. Es kann somit nicht empfohlen werden.

An den in Tab. 2 zitierten Beispielen konnte übrigens die Gültigkeit der Fehlergleichung (9) verifiziert werden.

## 2.6. Korrelation zwischen Temperatur (oder Sättigungs-Dampfdruck) und relativer Feuchtigkeit

Da diese Korrelation nach Gl. (9) Grösse und Vorzeichen des Approximationsfehlers von  $PV(\bar{T}, \bar{u})$  beeinflusst, haben wir  $r[E(T), u]$  für jede der Drei Stationen monatsweise aus den jeweils acht Terminmitteln bestimmt.

Die Resultate wurden wiederum für jeden Kalendermonat über drei Jahre gemittelt und anschliessend durch einmalige Bildung übergreifender drei-Monats-Mittel geglättet.

Das Ergebnis ist in Fig. 4 für Zürich-Kloten und Güttsch graphisch dargestellt. Auf die Darstellung der Werte von Locarno-Magadino wurde in dieser Figur verzichtet, da sie sich nahezu mit denen von Zürich-Kloten decken.

In Zürich-Kloten variiert der Korrelationskoeffizient zwischen -0,94 und -1,00, auf dem Güttsch zwischen -0,44 und -0,72. Die straffere negative Korrelation in der Niederung ist mit ein Grund für das dortige Vorwiegen negativer Korrekturen während der Sommermonate.

Wenn wir statt des Sättigungs-Dampfdruckes die Temperatur mit der relativen Feuchtigkeit korreliert hätten, wären bis auf minime Abweichungen die gleichen Korrelationskoeffizienten herausgekommen.

## 2.7. Tagesgänge im (T,e)-Diagramm (Fig. 5 und Tab. 3)

Um das am Ende von Abschnitt 1 aufgestellte Kriterium zu prüfen, haben wir die mittleren sommerlichen Tagesgänge der drei Stationen in ein Diagramm mit den Koordinaten Temperatur und Dampfdruck eingetragen.

Im allgemeinen wird sich der Tagesgang des Dampfdruckes durch eine Schleife wie beim Gütsch darstellen. Diese Schleife kann aber, wie im Falle von Locarno-Magadino, in ein doppelt durchlaufendes Kurvenstück oder in zwei an den Enden spitz zusammenlaufende Kurvenäste degenerieren (Zürich-Kloten).

Das erwähnte Kriterium sagt etwas aus über die Differenz zwischen dem mittleren Dampfdruck, der aus den T- und u-Werten der acht Termine berechnet wird,  $PV(\bar{T}, \bar{u})_8$ , und dem aus den Monatsmitteln von T und u berechneten Dampfdruck,  $PV(\bar{T}, \bar{u})_M$ . Diese Differenz ist andererseits gleich dem Ordinatenunterschied zwischen den zur gleichen Station gehörenden Kurven in den Figuren 2 und 3, siehe auch Tab. 3.

Beginnen wir mit Locarno-Magadino. Trotz leichter Krümmung der Tagesganglinie an den Enden ist die durchschnittliche Neigung (bzw. die Neigung der gedachten Regressionslinie  $e/T$  in Fig. 5) leicht abzuschätzen. Sie ist auf jeden Fall kleiner als die Neigung der punktierten Linie, die dem Grenzkriterium

$$u \cdot \left(\frac{dE}{dT}\right)^{1/2} = \text{const.}$$

entspricht. Also ist mit einer negativen Differenz  $PV(\bar{T}, \bar{u})_8 - PV(\bar{T}, \bar{u})_M$  zu rechnen. Ein Blick auf die Figuren 2 und 3 bestätigt dies.

Der zu Zürich-Kloten gehörende Doppelbogen liegt im Durchschnitt horizontal (d.h. der Dampfdruck ist während des Tages nahezu konstant). Der Neigungsunterschied gegenüber der punktierten Linie

ist grösser als bei Locarno-Magadino, also ist im Sommer mit stärkeren negativen Differenzen zu rechnen. Auch diese Eigenschaft lässt sich aus den Ordinaten der Figuren 2 und 3 für die Monate Juni, Juli und August mühelos herauslesen.

Bei der Station Gütsch schliesslich hat die mittlere Tageskurve im Sommer die Gestalt einer Keule, deren Längsachse eher etwas steiler ansteigt als die untere der beiden punktierten Kurven im betrachteten Bereich. Man muss also dort im Sommer eine leicht positive Differenz erwarten. Aus den Figuren 2 und 3 ist dies nicht ohne weiteres ersichtlich, doch bestätigen die in Tabelle 3 zusammengestellten Zahlen diese Eigenschaft sogar für das ganze Jahr.

3. Schlussfolgerungen (E=Sättigungs-Dampfdruck, T=Temperatur, u=rel. Feuchtigkeit)

1. Bei irgend einem Kollektiv von Wertepaaren (T,u) besteht zwischen dem mittleren Dampfdruck  $\overline{E(T) \cdot u}$  und seiner Approximation auf Grund der mittleren Temperatur und relativen Feuchtigkeit  $E(\overline{T}) \cdot \overline{u}$  eine Differenz nach Gl. (9).

2. Diese Differenz kann positiv oder negativ sein. Ihr Vorzeichen hängt davon ab, ob auf der Regressionslinie  $E \cdot u/T$  des Punkthaufens die Grösse

$$u \cdot \left(\frac{dE}{dT}\right)^{1/2}$$

bei steigender Temperatur zu- oder abnimmt.  $\frac{dE}{dT}$  ist die Steigung der Sättigungs-Dampfdruckkurve.

3. Bei Monatsmitteln des Dampfdrucks ist die Approximation auf Grund von Monats-Terminmitteln besser als diejenige auf Grund des Monats-Gesamtmittels. Eine Approximation auf Grund der Tagesmittel wäre etwa gleichwertig, gäbe aber viel mehr zu rechnen.

4. Im Falle der Approximation auf Grund von Monats-Terminmitteln von T und u ist bei Tal- oder Flachlandstationen der Fehler  $\overline{E \cdot u} - [E(\overline{T}) \cdot \overline{u}]_g$  im Sommer negativ, im Winter leicht positiv. Sein Betrag ist von der Grössenordnung eines Zehntel-Millibars, also meist kleiner als die instrumentell bedingten Fehler.

5. Für die nachträgliche Bearbeitung von Beobachtungsreihen, bei denen der Dampfdruck noch nicht terminweise berechnet wurde, ist das Näherungsverfahren auf Grund der Monats-Terminmittel von T und u in Anbetracht der obengenannten Eigenschaften vertretbar.

Verdankungen: Die Arbeit ging aus der Notwendigkeit hervor, im Zusammenhang mit der Verdunstung des Zürichsees den Dampfdruck verschiedener Stationen anhand älterer Beobachtungsreihen zu berechnen. Herr Dr. J. Joss regte mich an, das Problem durchzudenken und anhand von Beobachtungen zahlenmässig zu belegen. Herr A. Urfer half mir bei der Beschaffung des Beobachtungsmaterials. Einen grossen Teil der Berechnungen besorgten die Herren H. Bantle und U. Reichmuth am RZ der ETHZ. Herr U. Reichmuth zeichnete auch die Figuren ins Reine. Frau R. Spaar schrieb die Druckvorlage. Ihnen allen danke ich herzlich.

#### Literatur

Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt. - Zürich, unter diesem Titel seit 1881.

Klimatologie der Schweiz, Heft D Luftfeuchtigkeit. von M. Schüepp und CH. Urfer.

- Beiheft zu den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt (Jahrgang 1970), Zürich 1971.

Tables Météorologiques Internationales, préparées par S. Letestu.

- Organisation Météorologique Mondiale, Genève 1966.

Riegel, C.A.: Comments on "A Simple but Accurate Formula for the Saturation Vapor Pressure Over Liquid Water".

- J. Appl. Met. 13(5): 606-607, Boston (USA) 1974.

#### Adresse des Verfassers:

Prof. Walter Kuhn  
Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt  
Krähbühlstrasse 58

CH-8044 Zürich

Tabelle 1: Parameter im Zusammenhang mit der Sättigungs-Dampfdruckkurve

T	E	$a = \frac{dE}{dT}$	$\left(\frac{dE}{dT}\right)^{1/2}$	$b = \frac{1}{2} \frac{d^2E}{dT^2}$
°C	mbar	mbar/K	(mbar/K) <sup>1/2</sup>	mbar/K <sup>2</sup>
0	6,107	0,444	0,666	0,0143
5	8,718	0,608	0,780	0,0187
10	12,271	0,822	0,907	0,0242
15	17,042	1,097	1,047	0,0310
20	23,371	1,447	1,203	0,0392
25	31,668	1,888	1,374	0,0491
30	42,427	2,436	1,561	0,0609

Grundlagen: Sättigungs-Dampfdrucke nach "International Meteorological Tables".

Ableitungen nach der Formel von Magnus (vgl. Riegel 1974):

$$E = E_0 \cdot \exp [AT/(B+T)], \quad a = dE/dT = E \cdot AB/(B+T)^2, \quad b = a \frac{AB/2 - (B+T)}{(B+T)^2}$$

mit A = 17,42366; B = 239,7

Tabelle 2: Vergleich zwischen korrektem Dampfdruck-Monatsmittel  $\overline{PV}$  und zwei Approximationen desselben:

$PV(\overline{T}, \overline{u})_8$  aus Monats-Terminmitteln von T und u

$PV(\overline{T}, \overline{u})_{31}$  aus Tagesmitteln von T und u

Station	Monat	$\overline{PV} - PV(\overline{T}, \overline{u})_8$ mbar	$\overline{PV} - PV(\overline{T}, \overline{u})_{31}$ mbar
Zürich-Kloten	Juli 1976	-0,51	-0,63
Locarno-Magadino	Juli 1977	-0,28	-0,28
Zürich-Kloten	Dezember 1977	+0,18	+0,19
Locarno-Magadino	Januar 1977	+0,09	+0,02



Tabelle 3: Differenz zwischen der Approximation auf Grund der Termittel und Approximation auf Grund des Monatsmittels

$$PV(\bar{T}, \bar{u})_8 - PV(\bar{T}, \bar{u})_M \text{ in mbar}$$

(1975/76/77, Jahresgang geglättet)

Monat	Zürich-Kloten	Locarno-Magadino	Gütsch
Januar	-0,02	-0,04	+0,03
Februar	-0,04	-0,06	+0,04
März	-0,07	-0,10	+0,03
April	-0,13	-0,15	+0,03
Mai	-0,21	-0,19	+0,04
Juni	-0,27	-0,23	+0,06
Juli	-0,29	-0,23	+0,09
August	-0,24	-0,21	+0,10
September	-0,16	-0,15	+0,10
Oktober	-0,07	-0,09	+0,11
November	-0,02	-0,05	+0,07
Dezember	-0,01	-0,04	+0,05
Jahr	-0,13	-0,13	+0,06

Fig. 1: Tagesgang des Dampfdrucks in Locarno-Magadino, Zürich-Kloten und Gütsch im Sommer (Juni+ Juli+ August) 1975 / 76 / 77.

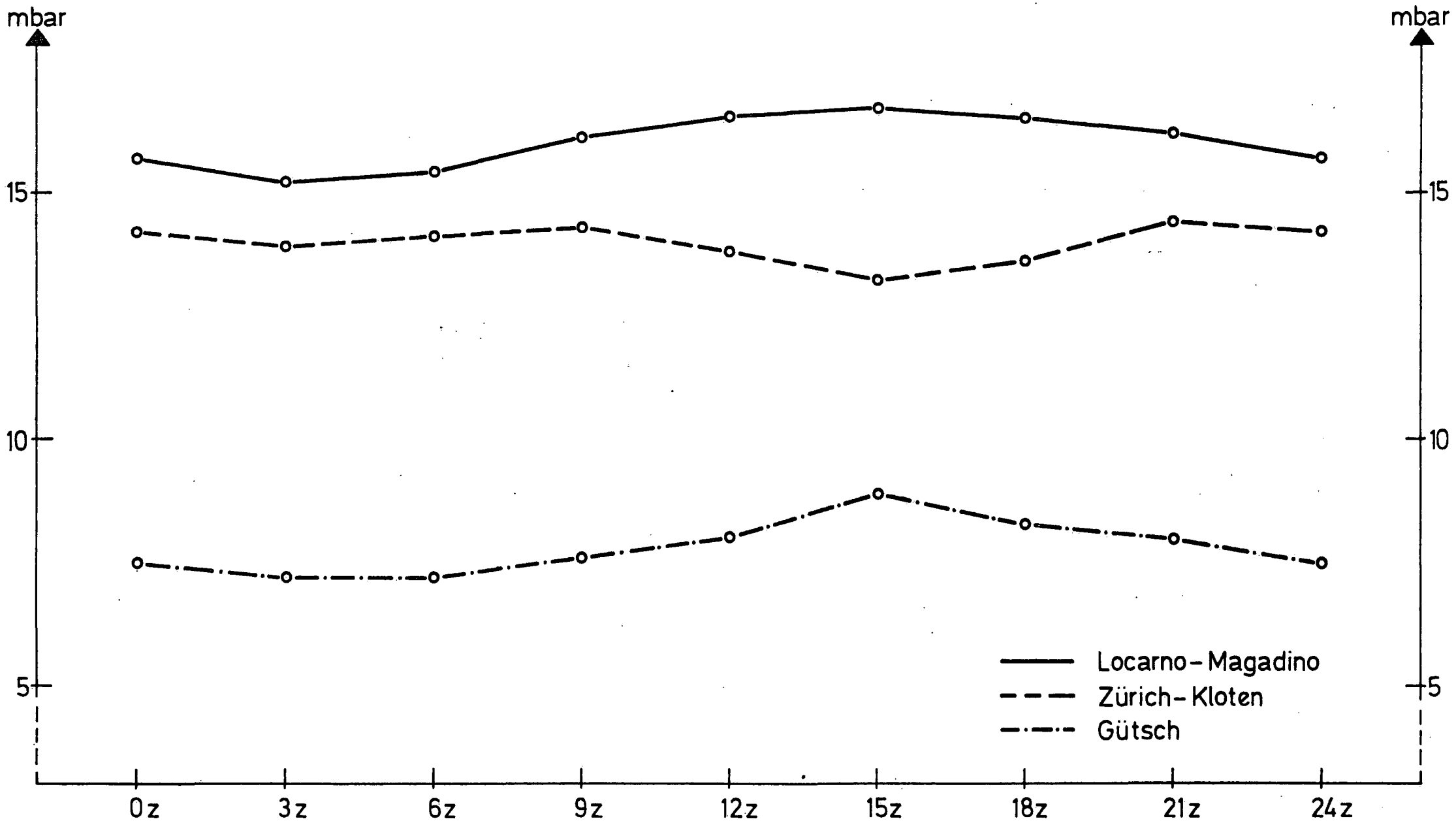


Fig. 2: Jahresgang der Differenz  $\overline{PV} - PV(\bar{T}, \bar{u})_M$  für Locarno-Magadino, Zürich-Kloten und Gütsch (1975/76/77 geglättet)

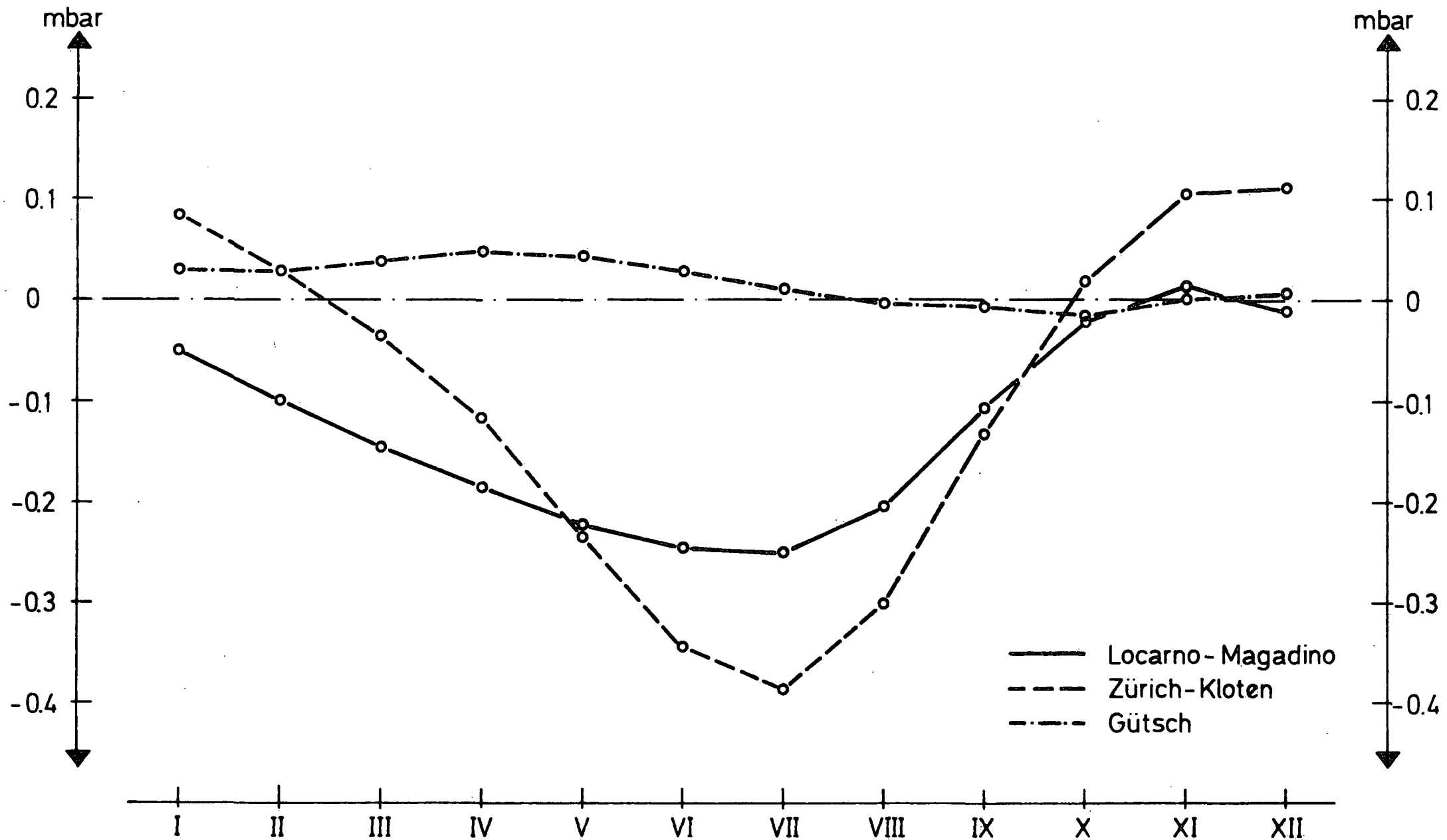


Fig. 3: Jahresgang der Differenz  $\bar{P}_V - P_V(\bar{T}, \bar{u})_8$  für Locarno-Magadino, Zürich-Kloten und Gütsch (1975/76/77 geglättet)

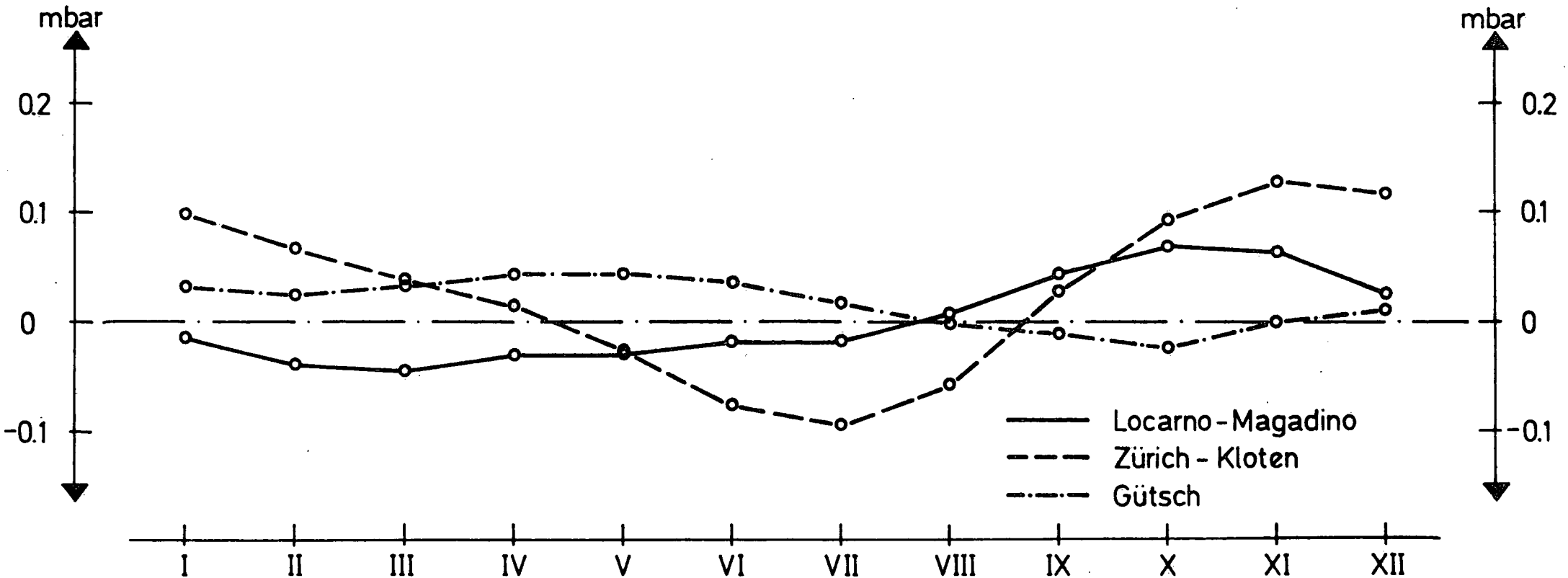


Fig. 4 : Korrelationskoeffizient zwischen Sättigungsdampfdruck (bezw. Temperatur) und relativer Feuchtigkeit im mittleren monatlichen Tagesgang (geglättet).

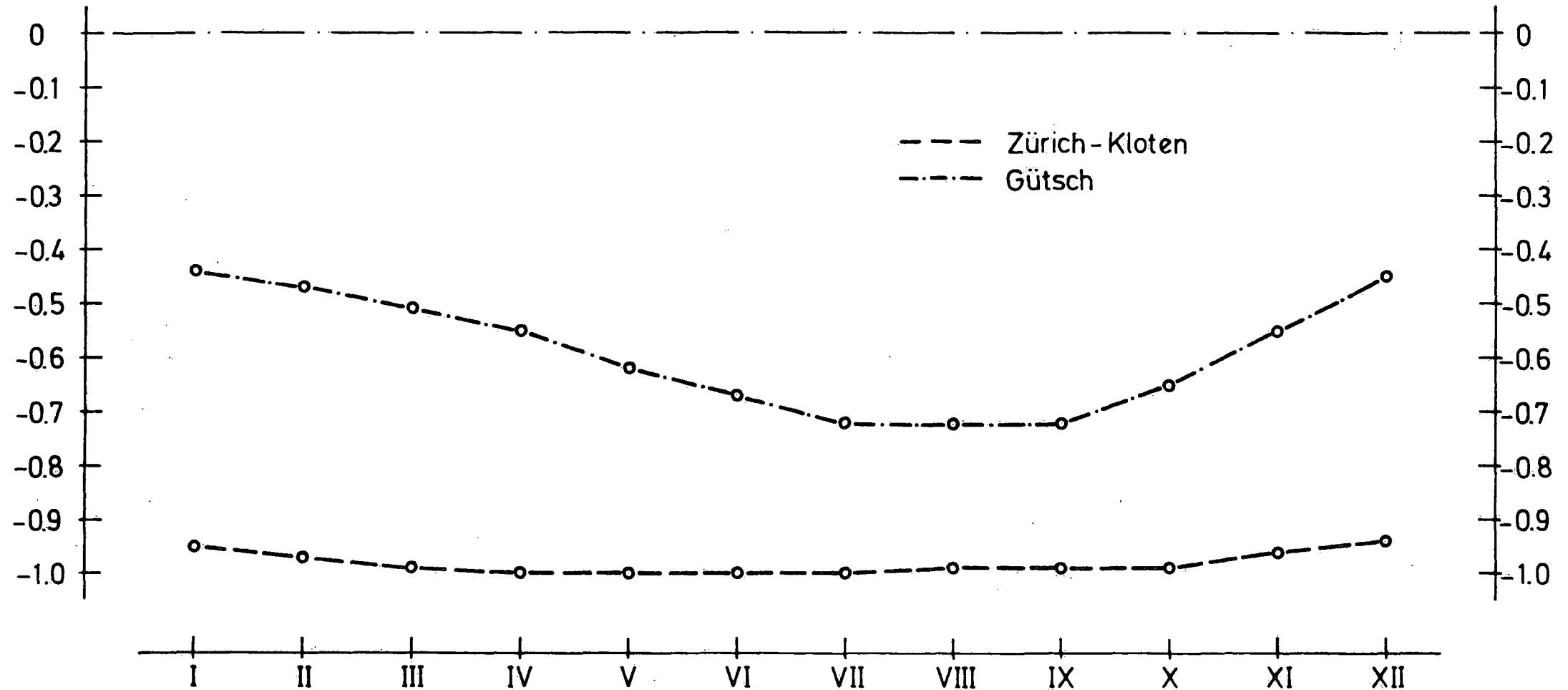


Fig. 5: Sommer - Tagesgang im (T,e)-Diagramm

