

Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 83 (1984)

Artikel: Bedeutung des Pflanzenwasserhaushaltes für Koexistenz und Artenreichtum von Trespen-Halbtrockenrasen (Mesobromion) = Influence of the water balance of the plants on the coexistence and the richness of plant species in semi-dry meadows (Mesobromion)

Autor: Kuhn, Urs

Kapitel: Anhang

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308731>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 31.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ANHANG 1. Berechnung der relativen Luftfeuchtigkeit (RH)
APPENDIX 1. Calculation of the relative humidity of the air

1. $P = P^{\circ} - (T-T') \frac{b}{1013}$ [kPa]

2. $RH = \frac{P}{P^{\circ}} \cdot 100$

3. $RH = P^{\circ} \left(1 - \frac{\gamma(T-T') \cdot b}{1013 \cdot P^{\circ}}\right) \cdot 100$

p = aussen Dampfdruck [mbar]

P° = Dampfdruck bei Sättigung [mbar]

γ = Psychrometerkonstante: bei Ventilation der beiden Thermometer von
ca. $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; = 0.667 (SLAVIK 1974)

T = aussen Lufttemperatur, trockenenes Thermometer [$^{\circ}\text{C}$]

T' = Temperatur des feuchten Thermometers [$^{\circ}\text{C}$]

b = atmosphärischer Druck [mbar]

RH = relative Luftfeuchtigkeit [%]

Die Werte T und T' wurden mit den Psychometern gemessen. Für den Wert b wurde die Höhe der Versuchsfläche über Meer, nicht aber der momentane Barometerstand berücksichtigt. Um die Auswertung im Computer durchführen zu können wurde der Dampfdruck P° als Funktion der Temperatur nach folgender Formel errechnet:

4. $P^{\circ} = a_0 + a_1 T + a_2 T^2$

$a_0 = 6.9946, \quad a_1 = -0.07109, \quad a_2 = 0.02988$

Diese Funktion entstand durch Regression der Werte aus Tabelle 6.7 in SLAVIK (1974). Im Temperaturbereich zwischen 10°C und 33°C ergeben sich daraus ausreichend genaue Annäherungen an die Tabellenwerte.

ANHANG 2: Berechnung der Blattleitfähigkeit (BL) nach KÖRNER (1978)
APPENDIX 2: Calculation of the leaf conductance (BL) after KÖRNER (1978)

$$5. \quad BL = \frac{(C_2 - C_1) \cdot k \cdot V}{(C_o - C_a) \cdot A \cdot \Delta t}$$

C_1 = absolute Luftfeuchtigkeit beim unteren Grenzwert des Messintervales [$\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

C_2 = absolute Luftfeuchtigkeit beim oberen Grenzwert des Messintervales [$\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

C_o = absolute Luftfeuchtigkeit im Blattinnern bei angenommener Sättigung der Luft mit Wasserdampf bei der betreffenden Blattempetatur

C_a = absolute Luftfeuchtigkeit, die während der Messung im Durchschnitt im Porometer herrscht [$\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

K = Gerätespezifischer Faktor

V = Volumen der Messkammer (25 cm^3)

A = exponierte Blattfläche (0.559 cm^2)

Δt = gestoppte Zeit, in der das Feuchteintervall durchlaufen wurde.

Hat die Kammerfeuchte die obere Grenze des Feuchteintervales erreicht, so wird mit einer Handpumpe frische Luft durch einen mit Silikat-Gel gefüllten Zylinder in die Messkammer geblasen. Diese trockene Luft senkt die Luftfeuchtigkeit in der Kammer. Ist der untere Wert des Feuchteintervales erreicht, stoppt man die Zufuhr der trockenen Luft und der Zyklus kann von neuem beginnen. Für die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist es entscheidend, dass dieser Zyklus zwei- bis dreimal, möglichst regelmässig durchlaufen wird. Um den Faktor K zu bestimmen, muss das Gerät bei verschiedenen Temperaturen geeicht werden. Dazu werden die Verdunstungsraten eines Mikroevaporimeters, das in die Messkammer eingeführt wurde, bestimmt. Der Eichfaktor lässt sich dann für jede Temperatur nach der Formel 6 errechnen.

$$6. \quad K = \frac{E \cdot \Delta t}{V \cdot (C_2 - C_1)}$$

E = Evaporation durch das Mikroevaporimeter. [$\mu\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$]

Die Eichung erfolgte bei den Temperaturen: 10.4, 14.3, 20.3, 25.6 und 33.3°C. Das Arbeitsintervall der relativen Luftfeuchtigkeit in der Kammer war 48-52% RH.

Für die Auswertung im Computer wurde K in Abhängigkeit der Temperatur und Stoppzeit durch ein Polynom höheren Grades ausgedrückt (Gleichung 7).

$$7. K = a_0 + a_1 x + a_2 y$$

$$a_0 = -0.838, \quad a_1 = 518.9, \quad a_2 = 50.9, \quad x = ([\Delta t + 2] \cdot T)^{-1}$$

$$y = e^{-(mT + n \cdot \Delta t)}, \quad m = 0.072, \quad n = 0.058$$

Die Messungen an der Blattunterseite (BLU) und Blattoberseite (BLO) wurden entsprechend Gleichung 8 gemittelt:

$$8. BL = 0.5 \cdot (BLU + BLO)$$

ANHANG 3: Eichung des Porometers MkII, Delta-T-Devices, Cambridge, Auswertung der Porometer- und Mikroklimadaten
APPENDIX 3: Gauging of the porometer MkII, Delta-T-Devices, Cambridge, evaluation of the data of the porometer and microclimate

Das Gerät wird mit einer vom Hersteller mitgelieferten Eichplatte ge-eicht. Die Platte wird in verschiedenen Stellungen in den Porometerkopf geklemmt; je nach Stellung sind 3 - 11 Löcher mit definiertem Durchmes-ser und Diffusionswiderstand für Wasserdampf in der Platte, welche gegen die Messkammer eine mehr oder weniger grosse Oeffnung zu einem auf der anderen Seite der Platte angeklebten feuchten Löschblatt frei lassen. Unter konstanten Bedingungen kann das Porometer so in ca. 3 - 4 Stunden geeicht werden. Wird das Gerät jedoch wie in der vorliegenden Arbeit für Messungen von Tagesgängen im Freien verwendet, so werden die verschiede-nen Klimabedingungen, die auftreten können, in die Eichung miteinbezo-gen. Versuche in der Klimakammer zeigten, dass nicht nur die Temperatu-ren in der Messkammer, die Blattemparatur und der Unterschied der Blatt-temparatur zur Messkopftemparatur die Ergebnisse stark beeinflussen, sondern auch die Aussenfeuchtigkeit. Ausserdem muss berücksichtigt wer-den, dass sich die Charakteristik des Feuchtefühlers mit zunehmendem Alter verändert. Sogar kurzfristige extreme Bedingungen, wie z.B. der Kon-takt des Feuchtefühlers mit der Luft von über 80% RH, kann die Messungen nachhaltig beeinflussen. Eine umfassende Eichung des Instrumentes bei verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten, die ca. zwei Wochen Arbeitszeit in Anspruch nimmt, kann somit schon nach einem Messtag ungültig sein. Aus diesen Gründen wurde die Eichung in zwei Teilen durch-geführt:

1. Ausführliche Eichung: Zeitaufwand ca. 2 Wochen; für die Messperioden 1980 und 1981 einmal im Winter 1980/81.
2. Tageseichung: Zeitaufwand ca. 1/2 Stunde: am Morgen vor jedem Mess-tag.

Ausführliche Eichung: Im Winter 1980/81 wurden die Porometer in der Kli-makammer bei den Temperaturen 16, 20 und 30°C und je den Aussenfeuchten 17, 56 und 95% RH geeicht. Nach jeder neuen Einstellung der Aussenbedin-gungen wurde so lange gewartet, bis sich die Aussentemperatur (TA) und die Cup-(Messkopf-) Temperatur (TC) auf mindestens 0.1°C angeglichen hatte. Während dieser Akklimatisationszeit, 1-2 Stunden, arbeitete das Gerät im üblichen Messzyklus zwischen 40 und 60% RH mit angeklemmter Eichplatte. Anschliessend wurden vier Eichungen mit $^{-1}$ den vorgegebenen Diffusionswiderständen 3.75, 6.9, 10.3 und 13.7 s.cm⁰(gültig bei 20°C)

durchgeführt. Jede dieser Messungen wurde so lange wiederholt, bis die Resultate konstant blieben (15-60 Minuten pro Messung).

Tageseichungen: Am Morgen von jedem Messtag wurde das Porometer am späteren Messort im Schatten aufgestellt. Mit der Eichplatte wurden mindestens zwei Eichungen mit den Diffusionswiderständen 3.75 und 10.5 $s \cdot cm^{-1}$ durchgeführt. Gleichzeitig wurden Aussen-, Kammer- und Blattemparatur und die Aussenfeuchte gemessen und notiert, wobei darauf geachtet wurde,

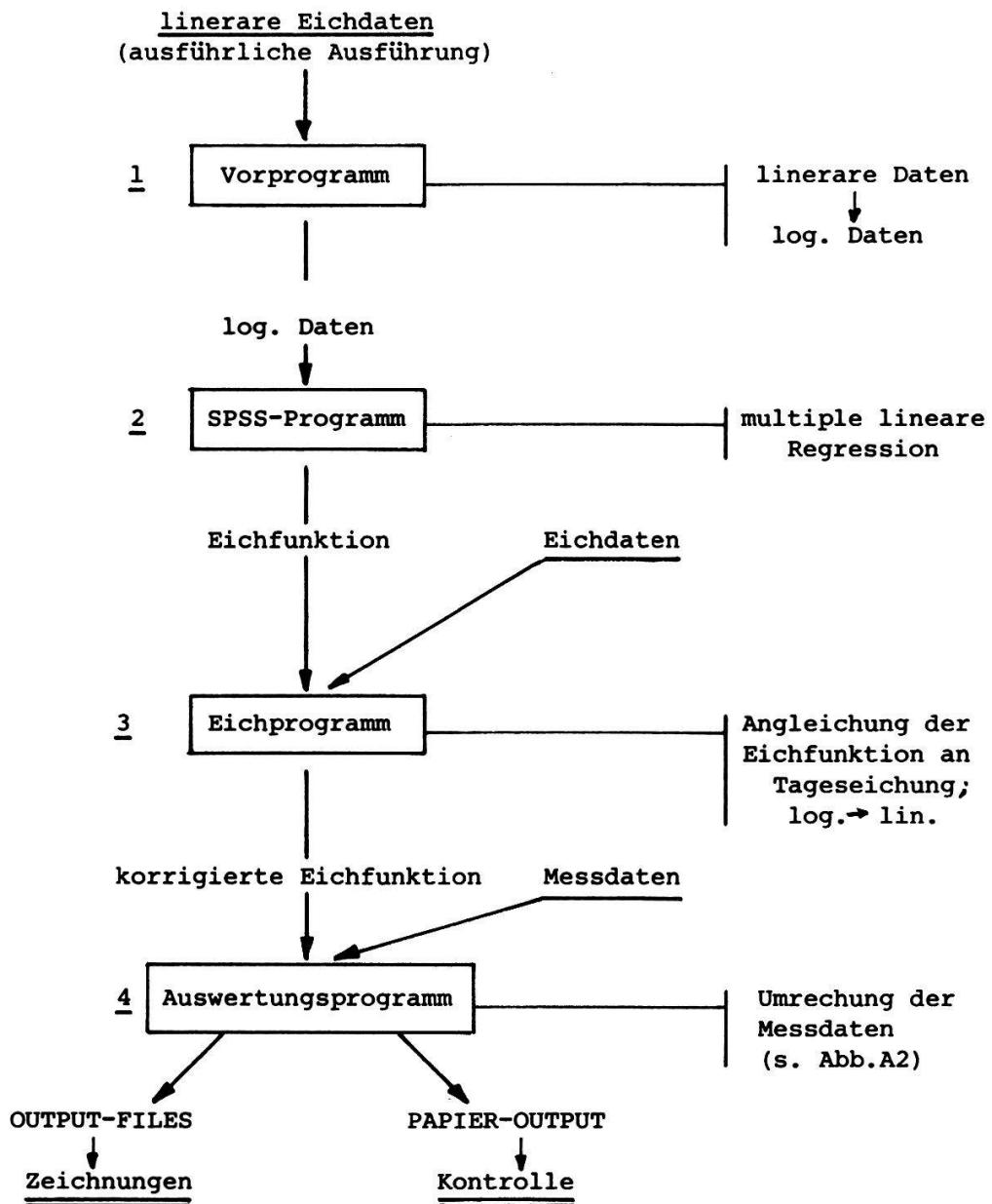


Abb. Al. Blockschema des Auswertungsprogrammes
Fig. Al. Scheme of the evaluation programme

dass der Temperaturunterschied zwischen Blatt und Kammer möglichst gering war. Eine ununterbrochene Beschattung des Messfühlers über den ganzen Messtag ist dazu unbedingt notwendig.

Auswertung der Daten: Mit den logarithmierten Daten der ausführlichen Eichung wurde eine multiple lineare Regression berechnet und daraus eine Eichkurve erstellt. Die Regression wurde mit Hilfe eines SPSS-Programms (Statistical Package for the Social Sciences) aus der Programmbibliothek des Rechenzentrums der ETH-Zürich durchgeführt (siehe auch NIE und HULL 1983). Diese Eichfunktion entspricht dem charakteristischen Verhalten der Messeinrichtung. Mit Hilfe der Daten aus der Tageseichung wurde nun das konstante Glied (C in Gleichung 9) angepasst. Auf diese Weise ist es möglich, die gerätetypische Charakteristik mit der ausführlichen Eichung gut zu erfassen und zudem kurzfristige Veränderungen an den Messfühlern zu berücksichtigen. Das Blockschema in Abb. A1 stellt den Ablauf dieser Auswertung dar. Das SPSS-Programm berechnet die Regression der logarithmierten Werte der Stopzeit (Counts CNT) mit dem Diffusionswiderstand der Eichplatte (BDWE), der Kamertemperatur (TC) und der relativen Luftfeuchtigkeit (RH). Die Variablen x_1 , x_2 und x_3 und die Konstante C werden berechnet und lassen sich in die Funktion (Gleichung 11, siehe weiter unten) einbauen.

$$9. \ln CNT = x_1 \ln BDWE + x_2 \ln TC + x_3 \ln RH + C$$

Im Eichprogramm wird diese Gleichung nach C aufgelöst, für CNT, BDWE, TC und RH werden die entsprechenden logarithmierten Werte der Tageseichung eingesetzt und die so berechnete Konstante C' für die weitere Auswertung der Daten dieses Messtages verwendet. Diese Auswertung erfolgt in mehreren Schritten im Programmblock 4 der Abb. A2. Zur Veranschaulichung der folgenden Schritte wird der Programmblock 4 aus Abb. A1 in Abb. A2 detaillierter dargestellt. In einem ersten Schritt (4a, Abb. A2) werden die folgenden Werte berechnet:

OZ: Die Tageszeiten wurden in dezimale Werte auf Ortszeit umgerechnet (Gleichung 10). Somit fällt der höchste Sonnenstand immer auf die Mittagszeit (12.00 Uhr).

$$10. OZ = TZD - 1 - SO + \frac{\text{Koord.}}{15}$$

OZ = Ortszeit (dezimal)
TZD = gemessene Tageszeit (dezimal)
SO = Jahr mit Sommerzeit (1981) SO = 1
Jahr ohne Sommerzeit (1980) SO = 0
Koord.: Längenkoordinaten des Messortes

BDW: Den Blattdiffusionswiderstand erhält man durch Auflösung der Gleichung 9 nach dem BDW:

$$11. BDW = CNT \cdot \left(\frac{1}{x_1} \right) \cdot e^{\left(\frac{C}{x_2} \right)} \cdot TC \cdot \left(\frac{x_3}{x_4} \right) \cdot RH \left(\frac{x_5}{x_6} \right) + BDW_0 [s \cdot sm^{-1}]$$

BDW₀ = Schnittpunkt der Eichkurve mit der Achse CNT=0

CNT = Gestoppte Zeit in Counts

BL: Die Blattleitfähigkeit wird durch den Kehrwert des BDW dargestellt (Gleichung 12).

$$12. \text{ BLT} = \frac{1}{\text{BDW}} [\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad \text{dieser Wert wurde nach COWAN (1977a) umge-}$$

rechnet (Gleichung 13)

$$13. \text{ BL} = \frac{273 \cdot 10^4}{(273 + \text{TC}) \cdot 22.4 \cdot \text{BDW}} [\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

TR: Die Transpiration verhält sich entsprechend dem Quotienten aus dem Feuchtegradienten vom Blattinnern (c_i) nach aussen (c_a) zum gesamten Blattdiffusionswiderstand (r) plus dem Grenzschichtwiderstand (r_a). (Gleichung 14)

$$14. \text{ TR} = \frac{c_i - c_a}{r + r_a} [\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Der Grenzschichtwiderstand r_a wurde für unsere Untersuchungen = 0 gesetzt.

Die absolute Luftfeuchtigkeit im Temperaturbereich 10°C bis 33°C lässt sich durch eine quadratische Gleichung (15) annähern (vereinfachte Form der Gleichung 4).

$$15. c_x = a \cdot T^2 + b$$

c_x = gesuchte absolute Luftfeuchtigkeit

T = Lufttemperatur

a = 0.0261

b = 6.849

Mit Hilfe der relativen Luftfeuchtigkeit (RH) und der Messkopf-(Cup-) Temperatur (Tc) kann der Feuchtegradient errechnet werden (Gleichung 16).

$$16. c_i - c_a = (1 - \frac{\text{RH}}{100} \cdot (0.0261 \cdot \text{TC}^2 + 6.84)) [\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$$

Die Diffusionswiderstände werden auf den Normaldruck an der Messstelle (Px) bezogen.

$$17. \frac{1}{r + r_a} = \frac{P_x}{P_o (\text{BDW} + r_a)} [\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}]$$

P_o stellt den Normaldruck auf Meereshöhe dar (760 Torr.). Für die Transpiration ergibt sich die Gleichung 18:

$$18. \text{ TRA} = \left(1 - \frac{\text{RH}}{100} \right) \cdot (0.0261 \cdot \text{TC}^2 + 6.85) \frac{\text{Px}}{\text{P}_o \cdot (\text{BDW} + r_a)} \cdot 6$$

[mg H₂O · dm⁻² · min⁻¹]

Diese Werte wurden auf die Einheit [mmol · m⁻² · s⁻¹] umgerechnet (Gleichung 19)

$$19. \text{ TR} = \frac{\text{TRA} \cdot 10}{108} \quad [\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

WSD: Das Wassersättigungsdefizit der Luft (WSD) gibt die Differenz zwischen dem aktuellen Wassergehalt der Luft und deren Sättigungsgehalt bei gegebener Temperatur an (Gleichung 20)

$$20. \text{ WSD}_L = \left(\frac{\text{P}_s}{\text{P}_o} - \frac{\text{RH} \cdot \text{P}_s}{100} \right) \cdot 0,133 \quad [\text{kPa}]$$

P_s [mm Hg] stellt den temperaturabhängigen Sättigungswert der Luft dar.

In einem weiteren Schritt (4b, Abb. A2) wurden die Werte BDW, BL, TR, g und E für die folgende Auswertung logarithmiert und anschliessend auf volle Stunden interpoliert (4c, Abb. A2). So konnten die Mittelwerte der verschiedenen Arten errechnet werden. Die Zeitspanne zwischen der ersten Messung am Morgen und der letzten am Abend verkürzt sich dadurch. Um mögliche Fehler in engen Grenzen zu halten wurden keine Extrapolationen durchgeführt. Schritt 4d, (Abb. A2) errechnet aus den Parallelen die Mittelwerte und dort wo mehr als 2 Parallelen gemessen wurden auch die Mediane und Standardabweichungen der Mittelwerte. Um systematische Fehler, die bei den Eichungen entstehen können, auszuschliessen und um verschiedene Messtage besser miteinander vergleichen zu können, wurde der relative Mittelwert jeder einzelnen Art im Vergleich zu den übrigen Arten errechnet. Dazu mussten in einem folgenden Schritt (4e, Abb. 6) zu jedem Zeitpunkt die Mittelwerte über alle 5 Arten mit den Mittelwerten jeder einzelnen Art verglichen werden (Gleichung 21).

$$21. \log (\text{rel } g) = \log \bar{g} - \log g$$

rel g = relative Blattleitfähigkeit
 \bar{g} = mittlere Blattleitfähigkeit aller Arten zu diesem Zeitpunkt
g = Blattleitfähigkeit der betreffenden Art zu diesem Zeitpunkt

In einem letzten Schritt (4f, Abb. 6) wurden die in (4b) logarithmierten Werte wieder in lineare Daten überführt.

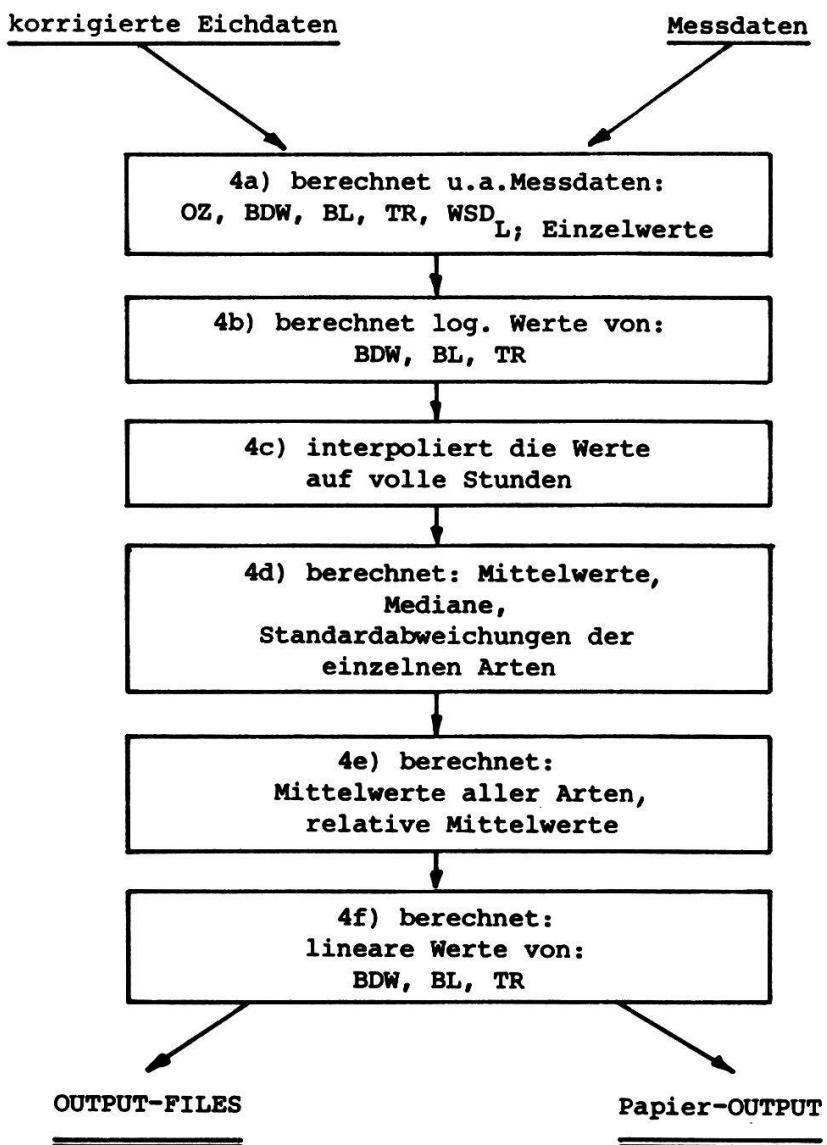


Abb. A2. Auswertungsprogramm (siehe Abb. A1)
Fig. A2. Programme of evaluations

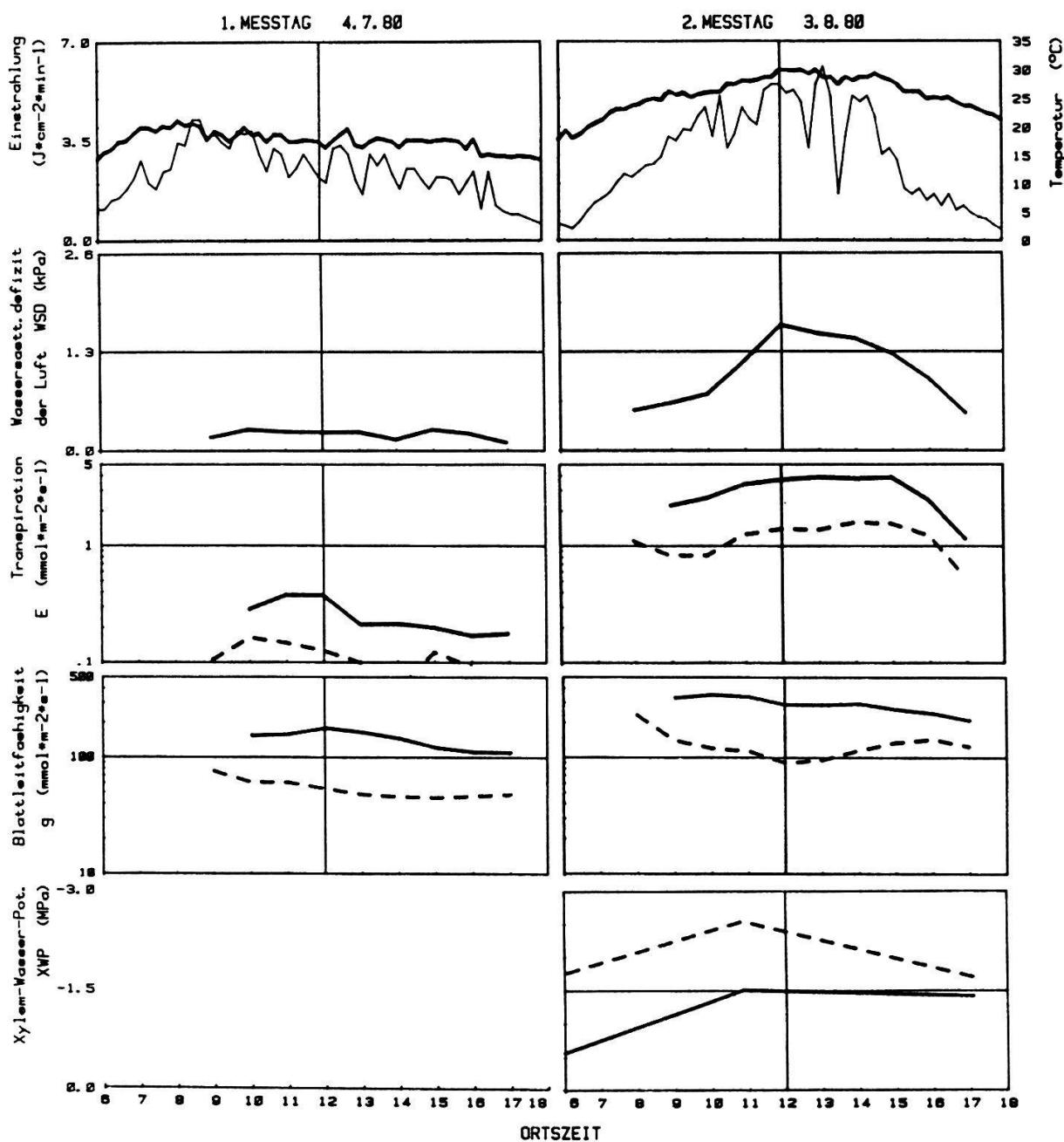
ANHANG 4. Klimabedingungen (Einstrahlung und Wassersättigungsdefizit der Luft) und ökophysiologische Daten (durchschnittliche Werte aller 5 Arten) vom 1. Messjahr 1980. Ausführliche Beschreibung s. Kap. 3.4.1.

Appendix 4. Climatic conditions (irradiance and water saturation deficit of the air) and ecophysiological data (mean values from all 5 species of transpiration, leaf conductance and xylem water potential) from the first measuring year 1980. For details see Chapter 3.4.1.

gestrichelte Linien - dashed lines - trockene Flächen - dry plots

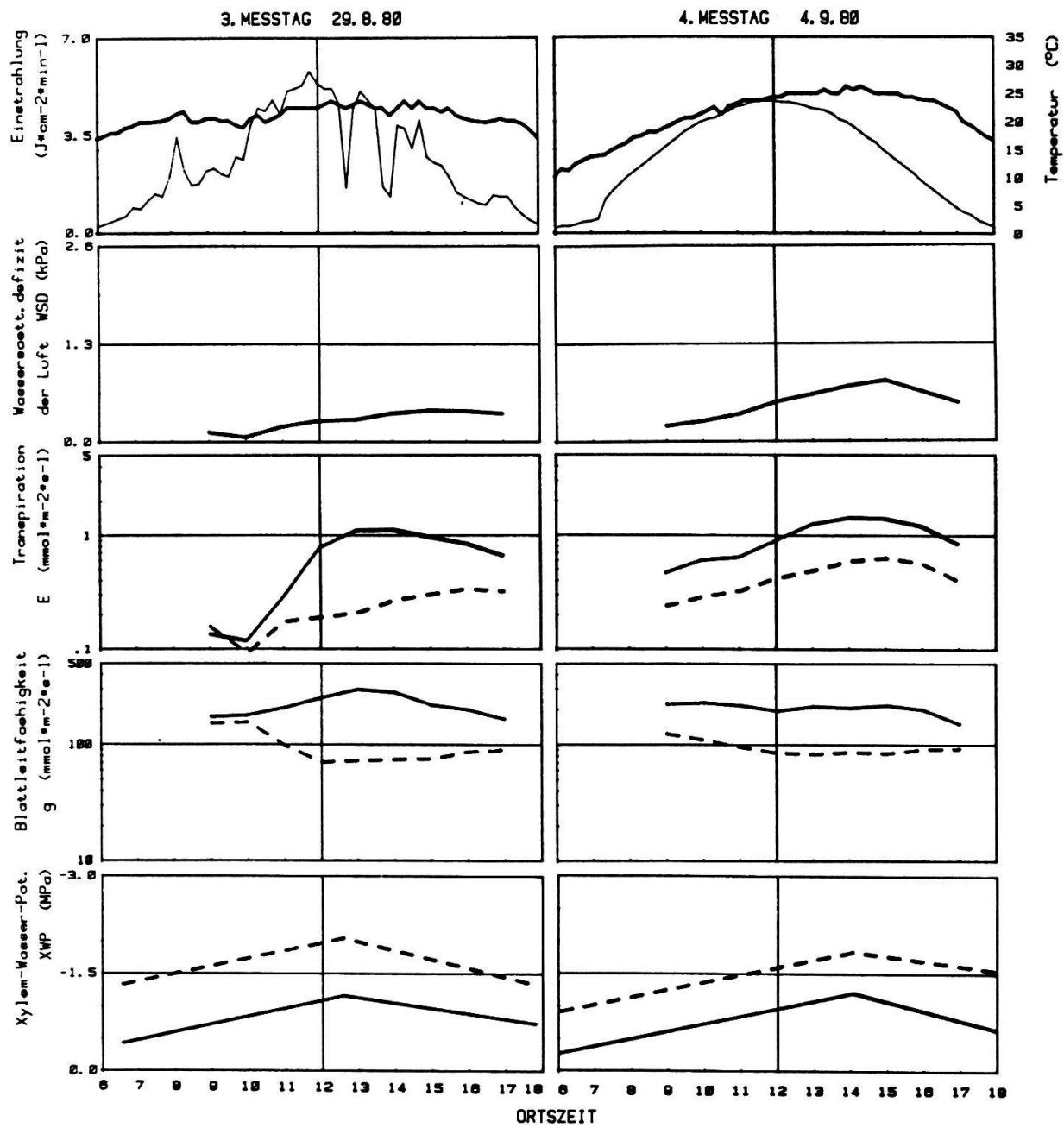
fette Linien - fat lines - nasse Flächen - moist plots

schmale Linien - fine lines - Einstrahlung - radiation



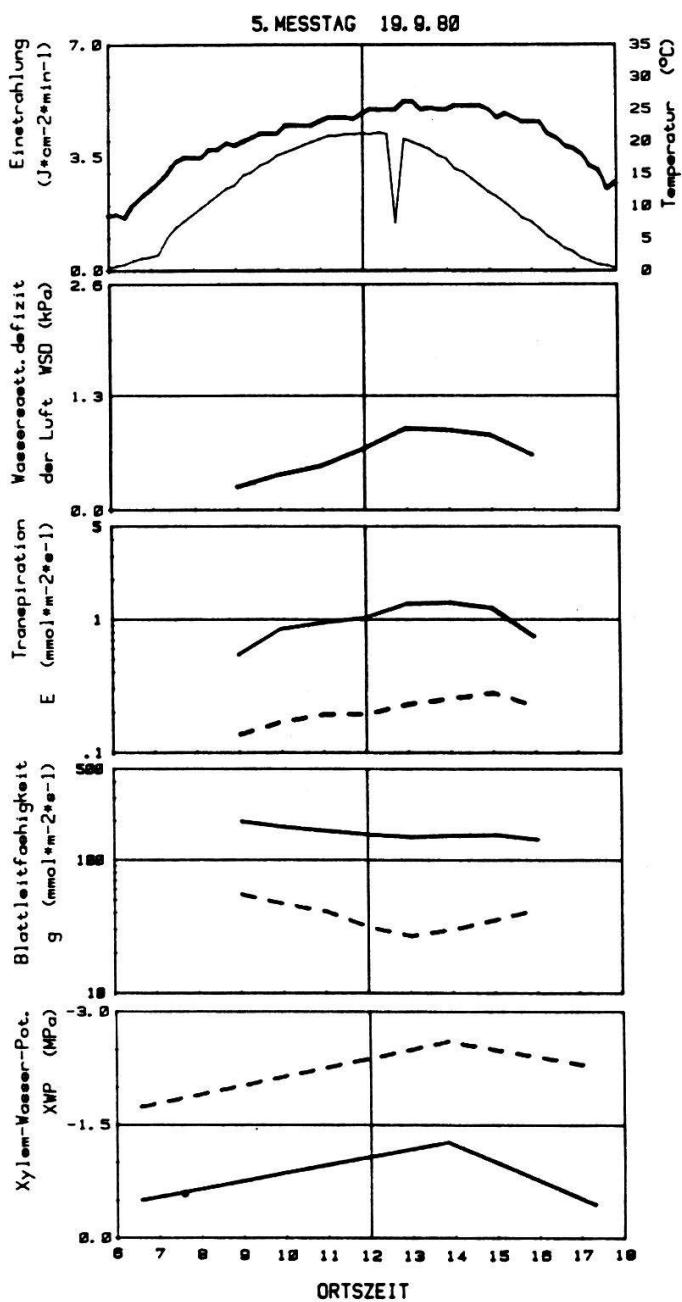
ANHANG 4.2 (Fortsetzung)

APPENDIX 4.2 (continuation)



ANHANG 4.3 (Fortsetzung)

APPENDIX 4.3 (continuation)

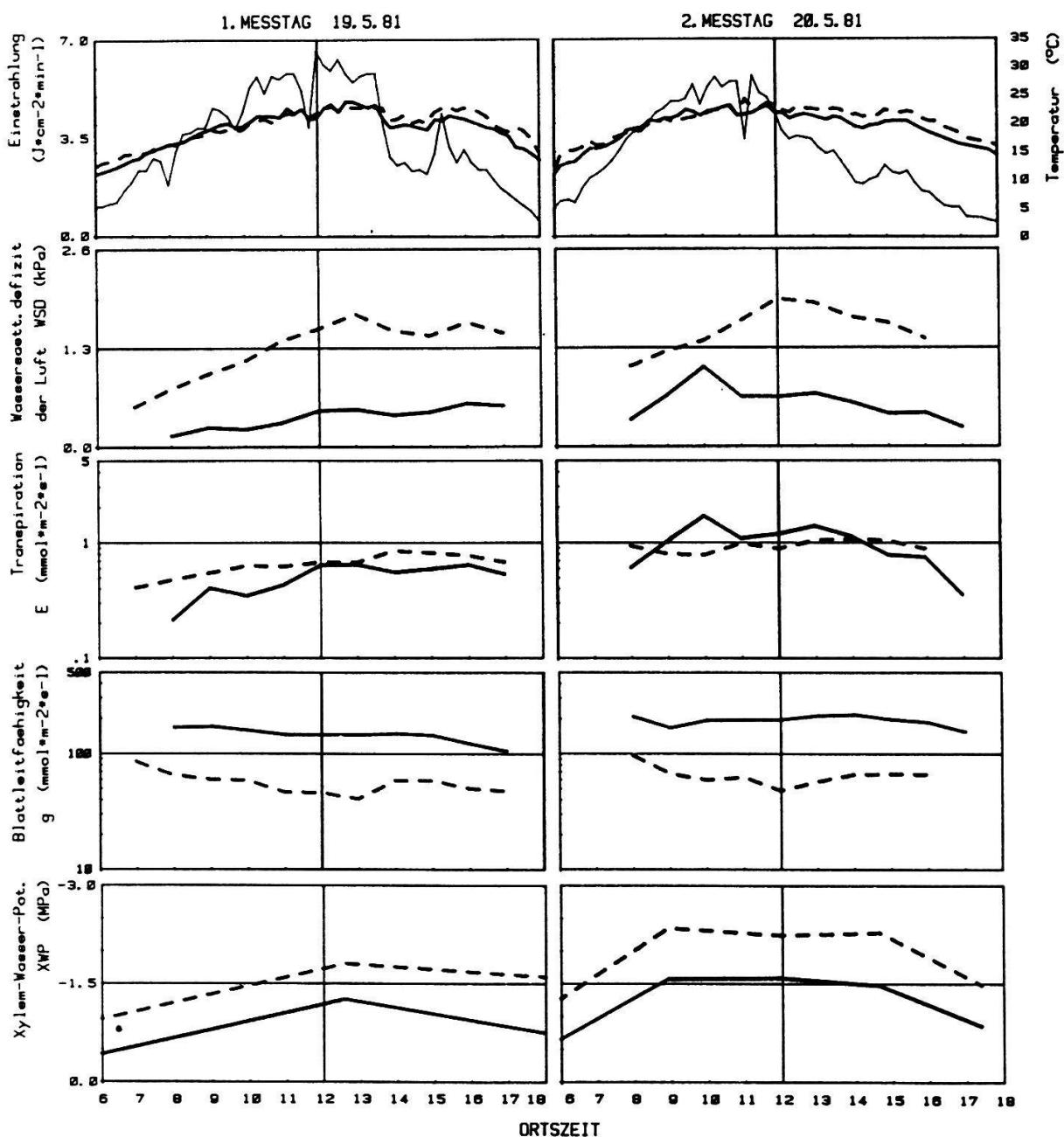


ANHANG 5. Klimabedingungen (Einstrahlung und Wassersättigungsdefizit der Luft) und ökophysiologische Daten (durchschnittliche Werte aller 5 Arten) vom 2. Messjahr 1981. Ausführliche Beschreibung s. Kap. 3.4.1.

Appendix 5. Climatic conditions (irradiance and water saturation deficit of the air) and ecophysiological data (mean values from all 5 species of transpiration, leaf conductance and xylem water potential) from the second measuring year 1981. For details see Chapter 3.4.1.

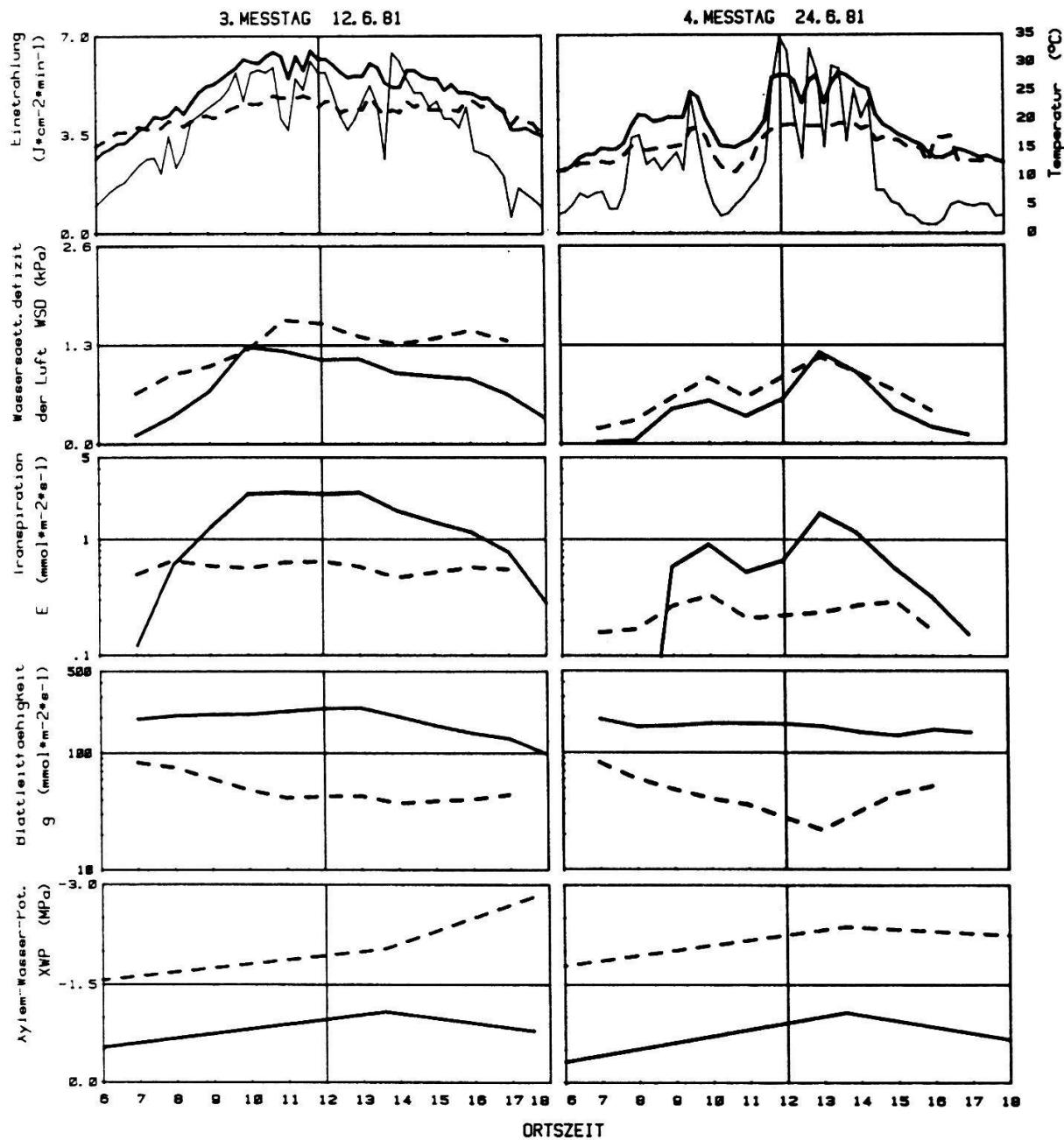
gestrichelte Linien - dashed lines - trockene Flächen - dry plots

fette Linien - fat lines - nasse Flächen - moist plots
schmale Linien - fine lines - Einstrahlung - radiation



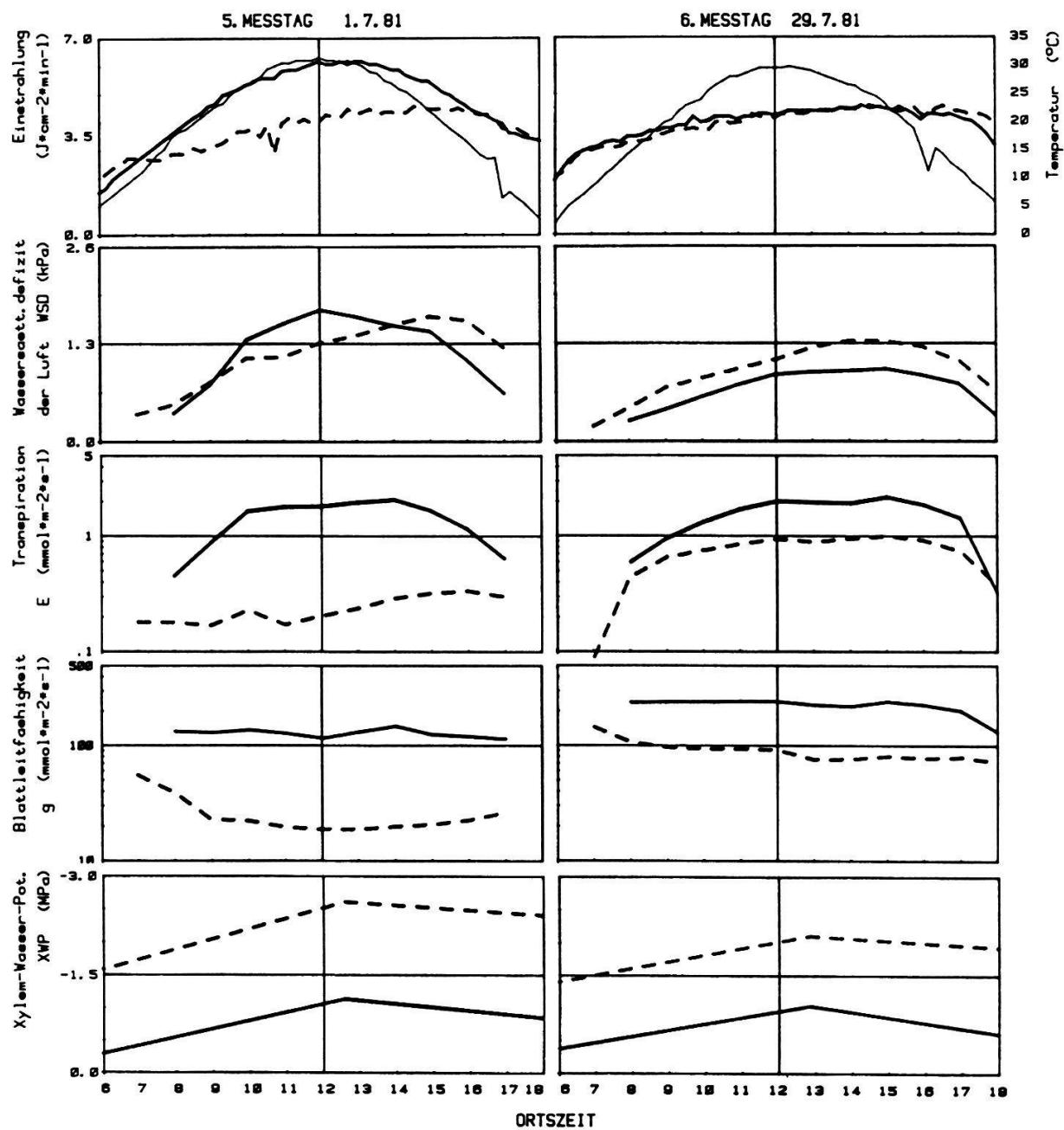
ANHANG 5.2 (Fortsetzung)

APPENDIX 5.2 (continuation)



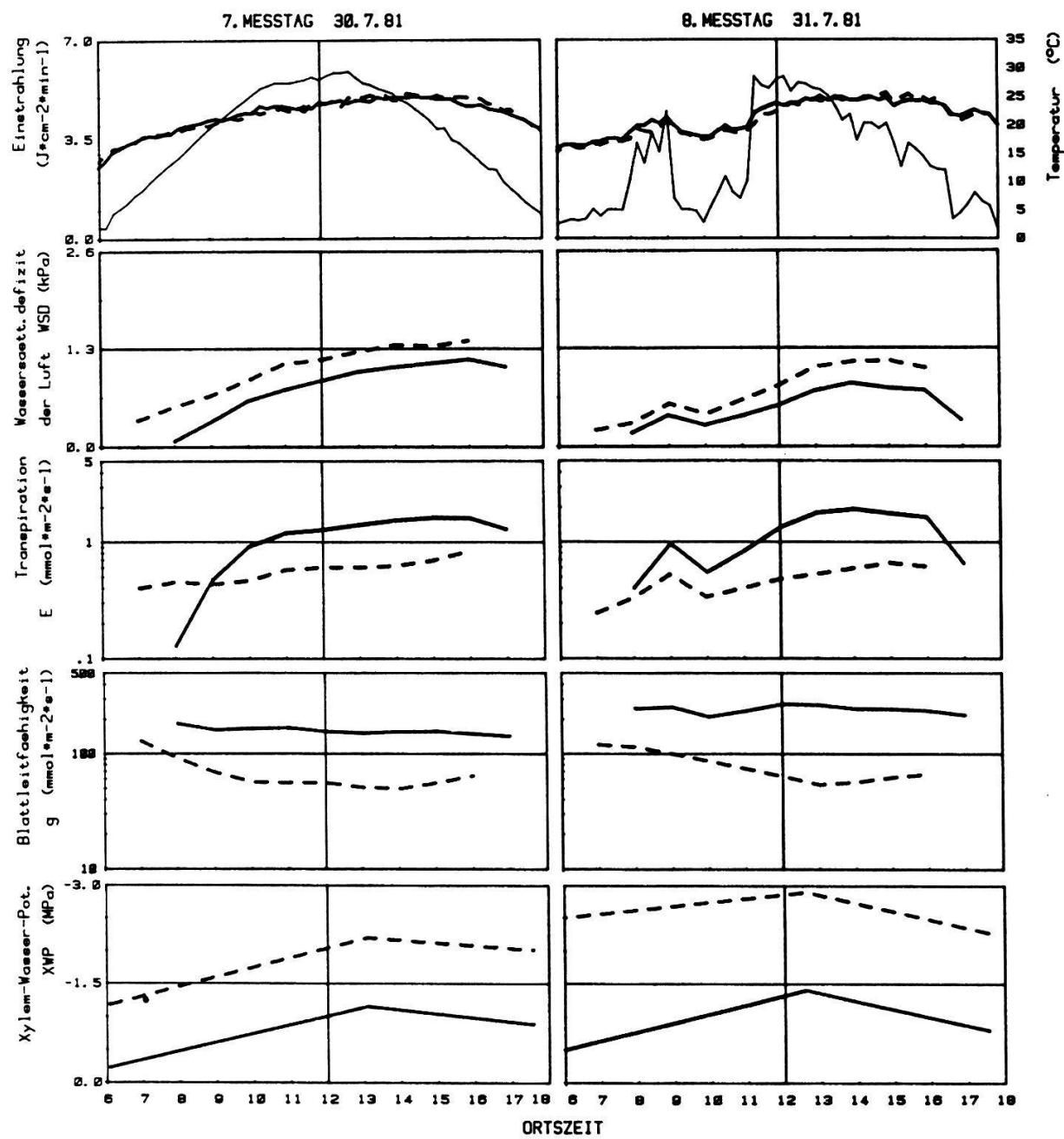
ANHANG 5.3 (Fortsetzung)

APPENDIX 5.3 (continuation)



ANHANG 5.4 (Fortsetzung)

APPENDIX 5.4 (continuation)



ANHANG 5.5 (Fortsetzung)

APPENDIX 5.5 (continuation)

