

- FRENZEL, B.: Climatic change in the Atlantic/Sub-Boreal transition. p. 99–123. in: World Climate 8000–0 B.C. Proc. Inter Conf., Roy. Met. Soc., 1966, pp. 229.
- : Die Klimaschwankungen des Eiszeitalters. Braunschweig, Vieweg. Die Wissenschaft, Bd. 129, 1967, pp. 296.
- HESS, P.; BREZOWSKY, H.: Katalog der Großwetterlagen Europas. Berichte des deutsch. Wetterdienstes Nr. 113, Bd. 15, Offenbach, 1969, pp. 56.
- KREBS, J. S.; BARRY, R. G.: The arctic front and the tundra-taiga boundary in Eurasia. Geogr. Rev. Vol. 60/4, 1973, p. 548–554.
- LAMB, H. H.: Climate: Present, past and future Vol. 2, Methuen, London, 1977, pp. 835.
- LARSEN, J. A.: Vegetational relationships with air mass frequencies: Boreal forest and tundra. Arctic Vol. 24/3, 1972, p. 177–194.
- MALBERG, H.: Mittlere jahreszeitl. Bewölkungsverteilung und Häufigkeit von heiterem, wolkigem und stark bewölktem Wetter im europäisch-atlantischen Bereich nach Satellitenaufnahmen. Meteorol. Rdsch. Vol. 26, 1973, p. 187–192.
- MEUSEL, H.; JÄGER, E.; WEINERT, E.: Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Jena, 1965.
- NICHOLS, H.: Central canadian palynology and its relevance to northwestern Europe in the late Quaternary period. Rev. of Palaeobot. and Palynol. Vol. 3, 1967, p. 231–243. Amsterdam.
- NEJSTADT, M. I.: History of the forests of the Soviet Union in the Holocene. Moscow, Izdat. Akad. Nauk. 1957 (in russ.).
- PALMÉN, E. NEWTON, C. W.: Atmospheric circulation systems. Acad. Press, New York, London, 1969.
- REED, R. J.: Principal frontal zones of the northern hemisphere an winter and summer. Bull. Am. Met. Soc. Vol. 41, 1960, p. 591–598.
- SCHERHAG, R.: Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1948.
- SCHMITHÜSEN, J.: Atlas zur Biogeographie. B.I. Hochschulatlanten, No. 303, Saarbrücken, 1976.
- STRAHLER, N. A.: Physical Geography. 4th Ed., New York, London, Toronto, 1969.
- TROLL, C.: Ozeanische Züge im Pflanzenkleid Mitteleuropas. in: Festgabe E. v. Drygalski zum 60. Geburtstag, München und Berlin, 1925, p. 307–335.
- WALTER, H.: Vegetationszonen und Klima. UTB-Ulmer, Stuttgart, 1970.
- WATTS, D.: Principles of Biogeography. New York, Mc Graw-Hill Book Comp., 1971, pp. 401.
- YOSHIMURA, M.: Annual change in frontal zones in the northern hemisphere. Geogr. Rev. of Japan Vol. 40, 1967, p. 393–408.
- : Annual changes in frontal zones in the northern hemisphere. Japanese Progress in Climatology, 1968, p. 69–74.

Danksagung:

Für kritische Hinweise danke ich Herrn Prof. Dr. Kessler und Herrn Prof. Dr. Eriksen. Herrn Prof. Dr. Lauer schulde ich besonderen Dank für einige überaus fruchtbare Diskussionsgespräche, die zu einer teilweisen Neufassung des 4. Abschnittes führten.

HUMIDITÄT UND KULTURPFLANZEN – EIN VERSUCH ZUR PARALLELISIERUNG VON FEUCHTEZONEN UND OPTIMALEN STANDORTEN AUSGEWÄHLTER KULTURPFLANZEN IN DEN TROPEN

Mit 6 Abbildungen und 4 Tabellen

WOLFGANG SCHMIEDECKEN

Summary: Humidity and cultivated plants – an attempt at parallelizing zones of humidity and optimal locations of selected cultivated plants in the tropics

Observations of water budget provide the potential (pLV) and the actual (aLV) regional evaporation, with the quotient of both of them (aLV/pLV) – in conformity with the subject matter – indicating the aridity limit at 1.0. The differentiation as to totally arid, semi-arid, semi-humid and totally humid months, the duration of the humidity situation of the time and the collation in a four figure reference number permit the setting up of an uninterrupted model of up to 455 different humidity zones.

In the case of sorghum and groundnut, two tropical cultivated plants, it is shown that the values which were found for the actual evaporation of the region are to be parallelized with those of the transpiration of the plants in question. The conversion of these results to the aLV/pLV quotients and thus to the humidity zones leads to an unambiguous

correlation, which in turn permits the definition of optimal potential areas of cultivation.

Verfolgt man die klimatologische Literatur der letzten 30 Jahre, so wird man mit einer gewissen Regelmäßigkeit auf Arbeiten zum Humiditätsproblem stoßen. Manch einer mag sich dabei gefragt haben, worin denn eigentlich der Reiz liegt, dieses Thema immer wieder aufzugreifen und neu anzugehen. Zwei Ursachen scheinen mir hierfür wesentlich. Die erste liegt in der Erkenntnis begründet, daß in weiten Teilen unserer Erde, insbesondere in den Tropen und Subtropen, die hygrischen Bedingungen – und diese sind nicht allein durch die Niederschlagsmenge gegeben, sondern ergeben sich aus dem Wechselspiel zwischen Wasserangebot und Wassernachfrage – bestimmend sind

für die Art der natürlichen Vegetation und ihre Ausbreitung, aber auch für die Lebensbedingungen der meisten in diesen Zonen angebauten Kulturpflanzen. Das Problem, das hier immer wieder auftaucht und noch einer endgültigen Lösung bedarf, ist das der Parallelisierung von Humiditäts- und Vegetations- bzw. Kulturpflanzenanbauzonen, was sich in der Diskussion über die Lage der verschiedenen Trockengrenzen widerspiegelt.

Den zweiten Grund findet man in der Bestimmung der Humidität selber; er ist also ein methodisches Problem. Durch Anstöße von zwei Seiten haben sich in den letzten Jahren neue Erkenntnisse ergeben: Einmal hat die Verdunstungsforschung wesentliche Fortschritte gemacht, so daß heute auch für einfache empirische Berechnungsformeln ein verlässlicher Korrekturmaßstab – etwa in Form der PENMAN-Formel oder von Tank-Messungen – vorhanden ist; zum anderen stehen inzwischen überschaubare hydrologische Modelle zur Verfügung, die es gestatten, das tatsächliche Wasserangebot zu bestimmen und dem maximalen Wasserbedarf gegenüberzustellen.

Die folgenden Ausführungen sollen aufzeigen, welche Möglichkeiten sich aus dieser methodischen Weiterentwicklung für die Beschreibung der Humiditätsabstufungen und der Abgrenzung von Feuchtezonen ergeben und wie sich hieraus wiederum ein Ansatz für die Festlegung von optimalen Anbauzonen für Kulturpflanzen ableiten läßt.

1. Die Bilanzierung des Wasserhaushaltes einer Station

Die neueren Arbeiten zur Frage der Trockengrenze haben wiederholt versucht, die PENKsche Definition zu interpretieren, um daraus methodischen Nutzen ziehen zu können. Diese Definition, von ihm kurz mit „Niederschlag gleich Verdunstung“ angegeben, ist leider wegen der Vielzahl der heutigen Verdunstungsbegriffe mehrdeutig und daher durchaus auslegungsfähig.

Da PENCK aber sowohl für das humide als auch für das aride Klima das Erscheinungsbild der Gewässer als Korrektiv heranzieht, muß wohl bei weiteren Überlegungen von der potentiellen Landschaftsverdunstung (pLV) ausgegangen werden, die sich aus der Addition von Evaporation und Transpiration ergibt, die aber einschließt, daß beide Werte wechselweise gegen Null gehen können. So wird in der Wüste die Evaporation überwiegen, während bei geschlossener Pflanzendecke die Transpiration den ausschlaggebenden Teil ausmacht (siehe hierzu auch LAUER/FRANKENBERG 1978).

Da die PENKsche Beschreibung auf Jahresbilanzen bezogen ist, Humiditäts- und Ariditätsberechnungen aber seit LAUER und WANG mindestens auf Monatsbasis durchgeführt werden, muß die Gleichung $N=V$, dem Inhalt entsprechend, erweitert werden. Wie bei der ergänzten Wasserhaushaltsgleichung steht bei kürzeren Zeiträumen als ein Jahr der Verdunstung nicht

nur der Niederschlag, sondern auch noch ein Teil des gespeicherten Bodenwassers zur Verfügung.

Qualitativ läßt sich diese Wassermenge wie folgt beschreiben:

(1) Für Perioden, in denen der Niederschlag kleiner als die potentielle Landschaftsverdunstung ist ($N < pLV$), ist sie gleich dem Niederschlag plus der Änderung des Bodenspeicherwassers, was wiederum der aktuellen Landschaftsverdunstung entspricht.

(2) Für Perioden, in denen der Niederschlag größer oder gleich der potentiellen Landschaftsverdunstung ist ($N \geq pLV$), läßt sie sich mit der Niederschlagsmenge gleichsetzen, da in diesem Falle die aktuelle Verdunstung gleich der potentiellen ist.

Damit läßt sich ein Gebiet für einen vorgegebenen Zeitraum als arid bezeichnen, wenn der Quotient aus dem aktuellen Wasserangebot ($aWA = aLV$ bzw. N) und dem potentiellen Wasserverbrauch (pLV) kleiner 1 ist, als humid, wenn der Quotient größer oder gleich 1 ist.

Auf der Grundlage dieses Ansatzes konzentriert sich die Lösung des Problems auf die folgenden zwei Fragen:

- Wie läßt sich möglichst exakt die potentielle Landschaftsverdunstung bestimmen?
- Wie läßt sich der tatsächliche, sich ständig verändernde Bodenwassergehalt und damit die aktuelle Landschaftsverdunstung ermitteln?

Der im folgenden benutzte Lösungsansatz geht auf ein von THORNTHWAITTE und MATHER 1957 vorgestelltes Modell zur Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen zurück, das leicht modifiziert wurde. Am Beispiel der Station Kaduna (Tab. 1) sei kurz das Berechnungsverfahren erläutert:

Zeile 1 gibt den mittleren Monatsniederschlag N an,

Zeile 2 die mittlere monatliche potentielle Landschaftsverdunstung. Zu ihrer Bestimmung wurde die von PAPADAKIS (1966) ermittelte Berechnungsformel $pET = E_{max} - E_{min-2}$ benutzt, die außer an See- oder küstennahen Stationen gute Ergebnisse liefert. Diese Werte wurden „höhenkorrigiert“ (pro 1000 m Höhe wurde $1/10$ des Ausgangswertes zuzaddiert) und – in Angleichung an die PENMAN-Formel bei $r = 0,25$ – mit 0,7 reduziert.

Zeile 3 gibt die klimatische Wasserbilanz, also die Differenz aus Niederschlag und potentieller Landschaftsverdunstung, an.

In Zeile 4 ist das im Boden befindliche und von den Pflanzen noch zu nutzende Wasser berechnet. Dies geschieht für Zeiten mit negativer klimatischer Wasserbilanz mit der Exponentialfunktion

$$Sp_n = \frac{Sp_{n-1}}{\frac{(pLV - N)_n}{WK}} \quad (\text{nach PFAU 1966})$$

e

Tabelle 1: Bilanzierung des Wasserhaushaltes:

Balancing of the water budget

Kaduna (Nigeria), 10° 36' N/07° 27' E, 645 m NN, WK: 200 mm

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
1. N	0	3	13	66	157	178	206	290	277	86	5	0	1281
2. pLV	125	136	139	121	97	83	66	62	81	104	133	129	1276
3. N-pLV	-125	-133	-126	-55	60	95	140	228	196	-18	-128	-129	
4. Sp	27	14	8	6	66	161	200	200	200	183	96	50	
5. Δ Sp	-23	-13	-6	-2	60	95	39	0	0	-17	-87	-46	
6. aLV	23	16	19	68	97	83	66	62	81	103	92	46	756
7. aWA/pLV	0.18	0.12	0.14	0.56	1.62	2.14	3.12	4.68	3.42	0.99	0.69	0.36	

mit Sp_n bzw. Sp_{n-1} – Wassergehalt des Bodens zum Zeitpunkt (Monat) n bzw. $n-1$, wobei $Sp_0 = WK$
 WK – Wurzelraumkapazität
 N – Niederschlagsmenge
 pLV – potentielle Landschaftsverdunstung
 e = 2,718282

Für Zeiten mit positiver Bilanz erfolgt die Berechnung durch Aufaddition des Überflusses, bis die Maximalmenge, die der Boden speichern kann, erreicht ist. In dem Beispiel von Kaduna sind dies 200 mm, d. h. den Pflanzen stehen maximal 200 Liter pro Quadratmeter Bodenfläche zur Verfügung, wobei ihre Wurzeltiefe bereits berücksichtigt wurde.

Zeile 5 ist eine reine Rechengröße und gibt die Änderung des Bodenwassers von Monat zu Monat an.

Die aktuelle Landschaftsverdunstung in Zeile 6 ist nun größenmäßig entweder gleich der potentiellen Landschaftsverdunstung, nämlich dann, wenn die klimatische Wasserbilanz positiv ist, oder aber – in Zeiten negativer Bilanz – sie setzt sich aus Niederschlag und Änderung des Bodenwassers zusammen.

Die Zeile 7 schließlich gibt den Quotienten aus aktueller Landschaftsverdunstung bzw. Niederschlag und potentieller Landschaftsverdunstung wieder.

2. Die Bildung der Feuchtekenziffer und die Konstruktion von Feuchtezonen

Dieses so gewonnene Ergebnis läßt nun die Möglichkeit einer weiteren Differenzierung des jeweiligen monatlichen Feuchtegrades in der Weise zu, daß neben der Trockengrenze bei 1,0 sowohl im humiden wie im ariden Bereich weitere Unterteilungen getroffen werden können. In diesem Fall bot sich eine Trennung des vollariden vom semiariden Bereich bei einem Wert von 0,5 und die des vollhumiden vom semihumiden Bereich bei 2,0 an.

Die Kennzeichnung einer Station bezüglich ihrer Humidität nach dieser Stufung läßt sich nun so dar-

stellen, daß die ermittelten Zahlen der vollhumiden, der semihumiden, der semiariden und der vollariden Monate zu einer 4stelligen Kennziffer zusammengefaßt werden. Dies ergibt z. B. für Kaduna mit 4 vollhumiden, 1 semihumiden, 3 semiariden und 4 vollariden Monaten die Kennziffer 4134. Für diese Kennzeichnung, mit der die Feuchtesituation differenzierter angegeben werden kann als mit der Benennung der Anzahl der humiden Monate, ergeben sich folgende Eigenschaften:

1. Die Quersumme jeder nur möglichen Kennziffer ist auf Monatsbasis mit 12 festgelegt.
2. Mit diesem System lassen sich maximal 455 verschiedene Feuchtezonen ausweisen.
3. Geht man davon aus, daß die durchschnittlichen Summenbildungen der Wasserhaushaltsglieder in der räumlichen Verteilung stetige Größen sind, so läßt sich für zwei beliebige Feuchteregeonen die Anzahl der mindestens zwischen ihnen liegenden Regionen bestimmen, d. h. die Veränderungen vollziehen sich kontinuierlich und ohne Sprung.

Überträgt man dieses Ergebnis auf die Karte, so ergibt sich für Nigeria das Bild der Abb. 1. Die graphische Umsetzung ist dabei wie folgt vor sich gegangen: Gezeichnet werden Isohygromenen (durchgezogene Linien) und die Grenzlinien zwischen den Gebieten mit verschiedenen vollhumiden (gerissene Linien) und denen mit verschiedenen vollariden Monaten (gepunktete Linien). Dabei ergibt sich ein kontinuierliches Muster von Feuchtezonen, wobei beim Überschreiten einer Grenze immer nur ein Monat zu der nächst höheren Feuchtestufe auf- oder zur nächst niedrigeren absteigen kann.

3. Die Parallelisierung von Feuchtezonen und Anbauzonen

Insbesondere JÄTZOLD hat in den letzten Jahren darauf hingewiesen, daß sich die ariden und humiden Zeiten des Jahres hervorragend zur hygrischen Differenzierung des Agrarklimas der Tropen eignen (JÄTZOLD 1970). Während dort Intensität, Verteilung

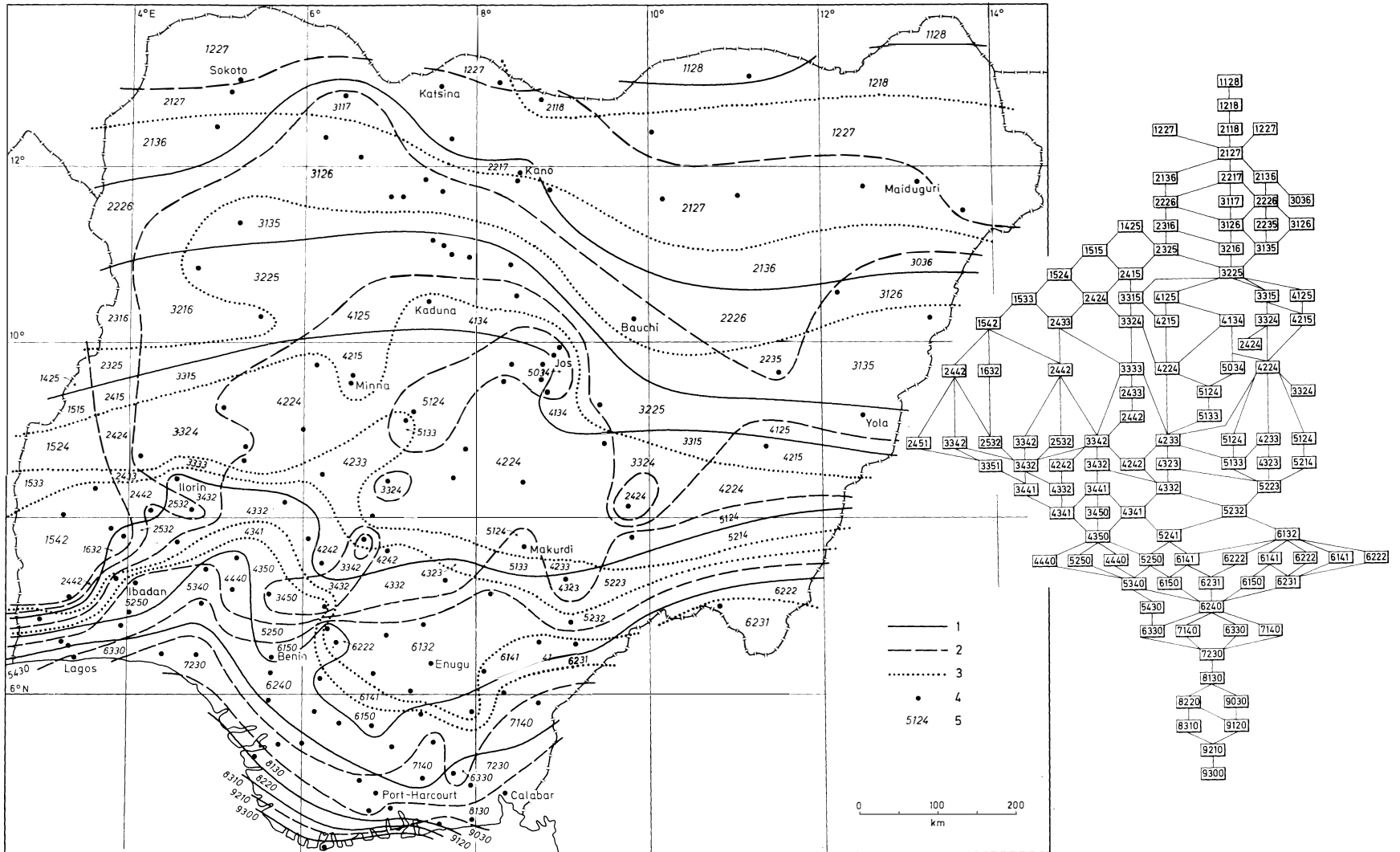


Abb. 1: Feuchtezonen in Nigeria mit Ablaufschema

1 Isohyromenen; 2 Grenzen zwischen Gebieten mit vollhumiden Monaten; 3 Grenzen zwischen Gebieten mit vollariden Monaten; 4 Station; 5 Feuchtekenzziffer

Humidity zones in Nigeria with run-off scheme

1 Isohyromenes; 2 Boundaries between areas with completely humid months; 3 Boundaries between areas with completely arid months; 4 Station; 5 Humidity reference number

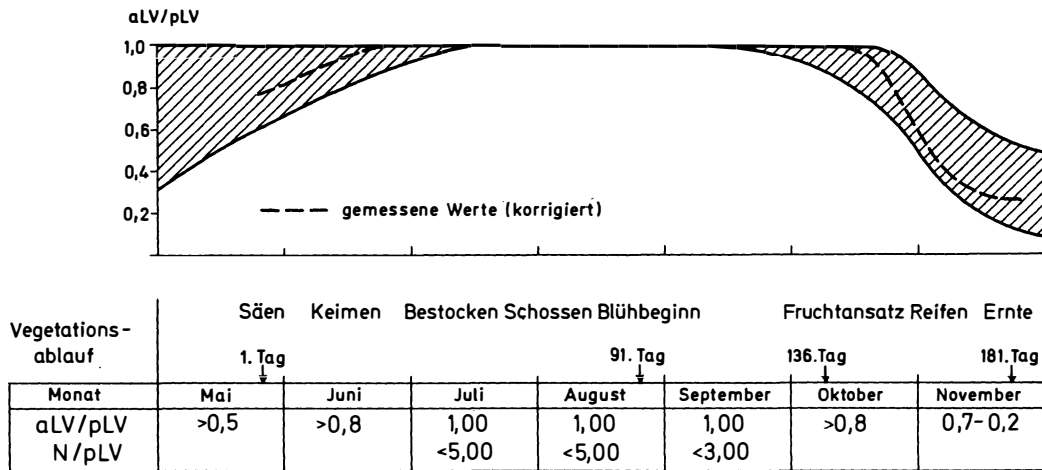


Abb. 2: Entwicklung und Transpirationsraten von Sorghum in Westafrika
Development and transpiration rates of sorghum in West Africa

Tabelle 2: Stationen und deren aLV/pLV-Werte in den Anbauzonen der Sorghumpflanze in Nord-Nigeria
Stations and their aLV/pLV values in the areas of sorghum cultivation in Northern Nigeria

Station	Feuchteknennziffer	aLV/pLV- bzw. N/pLV-Werte in den Monaten							optimal
		V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
		0.50	0.80	1.00-5.00	1.00-5.00	1.00-3.00	0.80	0.20-0.70	
Katsina	2127	0.38	0.69	2.10	3.81	1.41	0.77	0.39	
Yabo	2136	0.50	0.76	2.45	3.93	1.93	0.84	0.44	
Kano Aero	2217	0.50	1.05	2.52	4.23	1.53	0.78	0.41	Randgebiet
Moriki	3117	0.43	1.01	2.94	4.13	2.28	0.86	0.46	
Kano Agric.	2226	0.51	1.06	2.51	4.22	1.52	0.80	0.41	
Fashari	3126	0.82	1.59	2.94	4.51	2.73	0.88	0.49	
Tula	2235	0.79	1.22	1.79	2.27	2.72	0.98	0.65	
Mubi	3135	0.72	1.27	2.25	3.81	2.94	0.98	0.62	Hauptgebiet
Kontagora	3216	0.42	1.67	2.76	3.70	3.33	1.00	0.70	
Yola	3225	1.02	1.69	2.04	2.35	2.48	0.96	0.58	
Kudaru	4125	1.44	2.19	3.35	4.63	3.10	0.94	0.58	
Minna	4215	1.46	2.23	3.20	4.31	3.91	1.53	0.77	
Kaduna	4134	1.62	2.14	3.12	4.68	3.42	0.99	0.71	Randgebiet
Jos	5034	2.28	3.01	5.61	5.17	3.13	0.94	0.64	
Bida	4224	1.50	2.31	2.68	3.01	3.29	1.04	0.77	
Vom	5124	2.30	2.62	4.60	5.41	3.14	0.95	0.68	

und Jahresbilanz von Niederschlag und potentieller Verdunstung herangezogen werden, soll hier versucht werden, mit Hilfe der monatlichen Quotienten aus aktueller und potentieller Landschaftsverdunstung die möglichen Verbreitungsgebiete von tropischen Kulturpflanzen abzugrenzen.

Nach Aussage fast aller sich mit der Verdunstung beschäftigenden Agrarklimatologen macht bei einer dicht mit Pflanzen bestandenen Oberfläche der Transpirationsanteil der Landschaftsverdunstung über 95%

aus, der der Evaporation unter 5% liegt. Hieraus ergibt sich, daß die aktuelle Landschaftsverdunstung einer Vegetationsfläche wertmäßig fast identisch ist mit der aktuellen Transpiration.

Aus dieser Tatsache leitet sich nun die Überlegung ab, die von einigen Kulturpflanzen bekannten Transpirationsraten mit den bei dem oben geschilderten Verfahren gewonnenen Quotienten aLV/pLV zu vergleichen. Dabei wird unter einer „Transpirationsrate“ der Quotient aus dem tatsächlichen Wasserverlust des

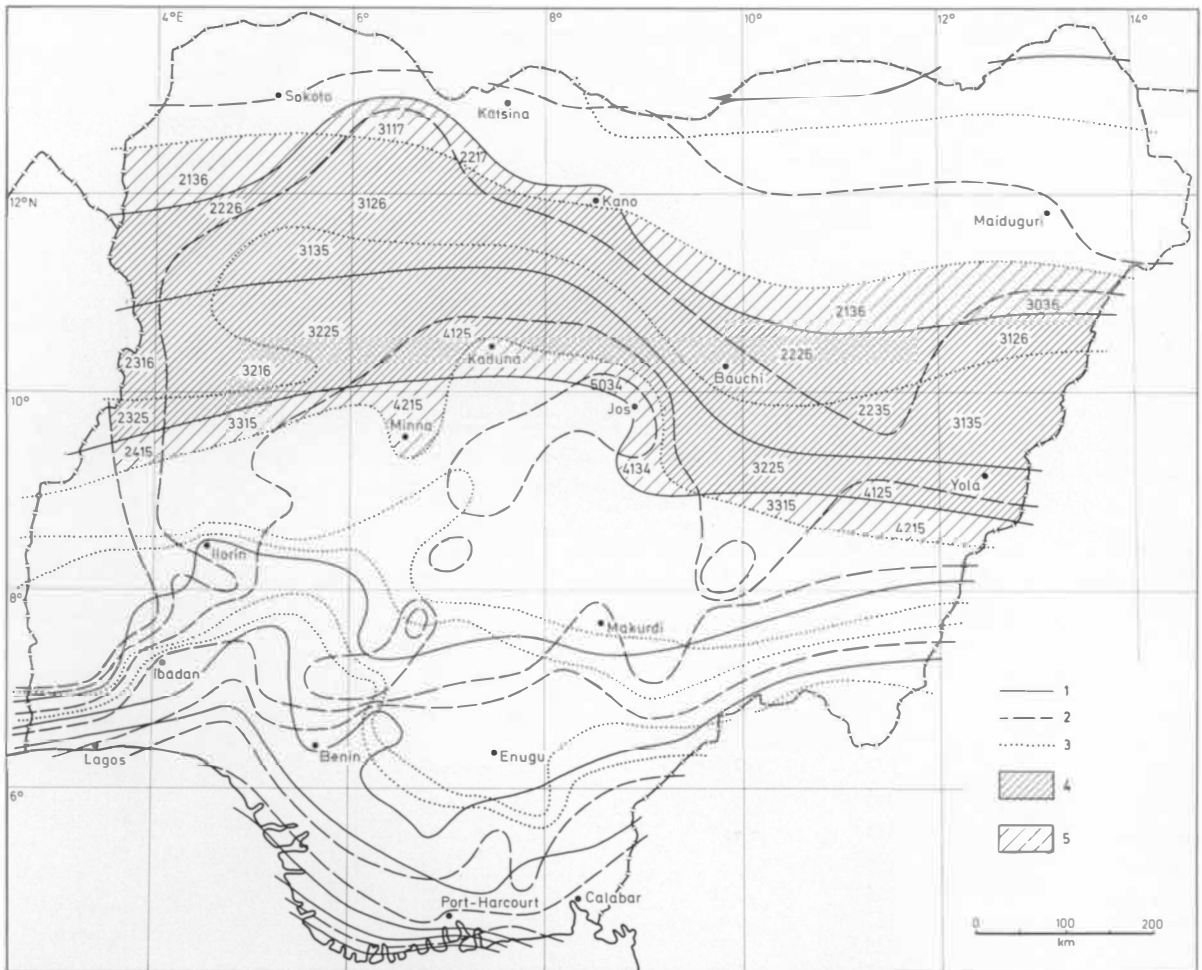


Abb. 3: Potentielle Anbauggebiete von Sorghum in Nigeria

1 Isohygromenen; 2 Grenzen zwischen Gebieten mit vollhumiden Monaten; 3 Grenzen zwischen Gebieten mit vollariden Monaten; 4 Optimales Anbauggebiet; 5 Randanbauggebiet

Potential cultivation areas of sorghum in Nigeria

1 Isohygromenes; 2 Boundaries between areas within completely humid months; 3 Boundaries between areas with completely arid months; 4 Optimal area of cultivation; 5 Marginal area of cultivation

Pflanzenbestandes durch Verdunstung und der Verdunstung einer freien Wasseroberfläche verstanden, also – in der englischen Terminologie – E_t/E_0 . Der erste Wert wird experimentell aus Messungen mit wägbaren Lysimetern gewonnen, wobei die Pflanzen soviel Wasser erhalten, daß sie einen optimalen Ertrag bringen; der zweite Wert entspricht der potentiellen Evaporation nach PENMAN (siehe hierzu KOWAL/ANDREWS 1973 und KASSAM/KOWAL/HARKNESS 1975). Entsprechend dieser Definition müssen allein die E_0 -Werte den pLV-Werten angepaßt werden, um beide Quotienten gleichsetzen zu können. Mir erschien für diesen Fall eine Reduktion des E_0 -Betrages um 0,7 als angemessen, da dies der Faktor ist, den PENMAN selber zur Bestimmung seines ET-Wertes benutzt, zum anderen aber dieser Faktor auch in etwa der Erhöhung des Albedo-

Wertes von 0,05 (Wasser) auf 0,25 (grüne bzw. braune Landoberfläche) entspricht. Es sei hier auf die Ableitung der PENMAN-Formel verwiesen (PENMAN 1963).

Der Versuch einer solchen Parallelisierung wurde für zwei Kulturpflanzen unternommen, die in Westafrika einen breiten Raum einnehmen und die beide an ein extrem wechselfeuchtes tropisches Klima gebunden sind: die erste ist das Sorghum (*Sorghum bicolor*), dessen Vegetationsentwicklung über 181 Tage in Abb. 2 dargestellt ist. Mit der gestrichelten Linie sind dekadenweise die aus den gemessenen Transpirationsraten gewonnenen aLV/pLV-Quotienten angegeben. Dabei ist zu erkennen, daß vor dem Säen der Niederschlag schon eingesetzt haben sollte, nach dem Keimen bereits Wasserüberschuß vorherrschen kann und der Reifevorgang wieder in trockenem Wetter stattfinden sollte. Unter

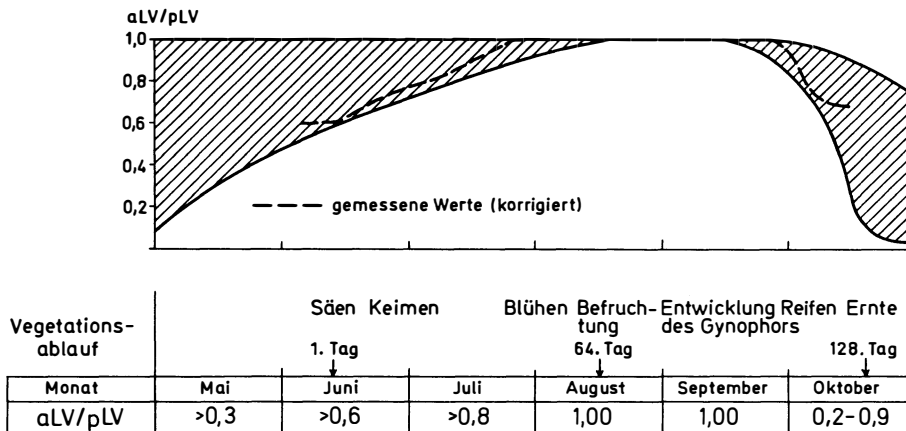


Abb. 4: Entwicklung und Transpirationsraten der Erdnußpflanze in Nigeria
Development and transpiration rates of the groundnut plant in Nigeria

Tabelle 3: Stationen und deren aLV/pLV-Werte in den Anbauzonen der Erdnußpflanze in Nord-Nigeria
Stations and their aLV/pLV values in the areas of groundnut cultivation in Northern Nigeria

Station	Feuchteknenn- ziffer	aLV/pLV- bzw. N/pLV-Werte in den Monaten						optimal
		V 0.30	VI 0.60	VII 0.80	VIII 1.00	IX 1.00	X 0.2-0.9	
Yusufari	1128	0.04	0.32	1.08	3.25	0.85	0.59	
Daura	1227	0.19	0.54	1.92	3.58	1.00	0.75	Randgebiet
Baure	2118	0.19	0.37	2.30	3.62	1.17	0.76	
Katsina	2127	0.38	0.69	2.10	3.81	1.41	0.77	
Yabo	2136	0.50	0.76	2.45	3.93	1.93	0.84	
Kano Aero	2217	0.50	1.05	2.52	4.23	1.53	0.78	Hauptgebiet
Kano Agric.	2226	0.51	1.06	2.51	4.22	1.52	0.80	
Moriki	3117	0.43	1.01	2.94	4.13	2.28	0.86	
Fashari	3126	0.82	1.59	2.94	4.51	2.73	0.88	
Tula	2235	0.79	1.22	1.79	2.27	2.72	0.98	
Mubi	3135	0.72	1.27	2.25	3.81	2.94	0.98	
Kontagora	3216	0.42	1.67	2.76	3.70	3.33	1.00	Randgebiet
Yola	3225	1.02	1.69	2.04	2.35	2.48	0.96	
Kudaru	4125	1.44	2.19	3.35	4.63	3.10	0.94	
Kaduna	4134	1.62	2.14	3.12	4.68	3.42	0.99	
Minna	4215	1.46	2.23	3.20	4.31	3.91	1.53	
Bida	4224	1.50	2.31	2.68	3.01	3.29	1.04	
Jos	5034	2.28	3.01	5.61	5.17	3.13	0.94	

Einbeziehung einer gewissen Schwankungsbreite ergeben sich daraus auf Monatsbasis die folgenden Quotienten-Werte:

Mai	0,5
Juni	0,8
Juli	1,0
August	1,0
September	1,0
Oktober	0,8
November	0,2-0,7

Eine Nebenbedingung ergibt sich in der Festsetzung eines Maximalwertes für die Monate Juli und August – der 5fache pLV-Betrag sollte vom Niederschlag nicht überschritten werden – und September – der 3fache Wert sollte nicht überschritten werden.

Überträgt man diese Werte auf einzelne Stationen (Tab. 2), so erhält man folgendes Ergebnis:

Eine größere Anzahl von Stationen paßt genau in die gesetzten Grenzen hinein, wobei geringfügige Abweichungen nach unten (0,42: Kontagora) oder noch oben (3,10: Kudaru) noch geduldet werden sollen. An

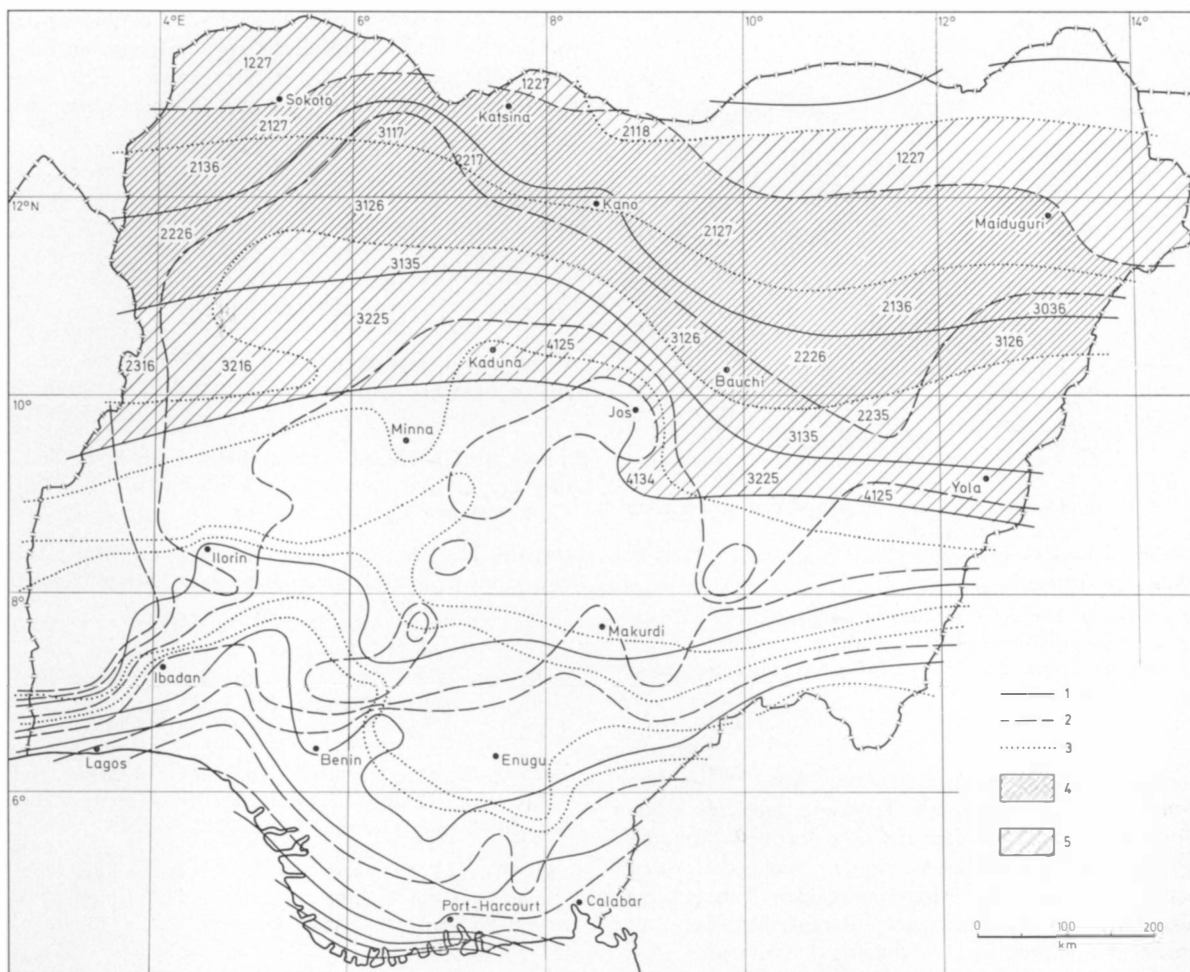


Abb. 5: Potentielle Anbauggebiete der Erdnußpflanze in Nigeria

1 Isohygromenen; 2 Grenzen zwischen Gebieten mit vollhumiden Monaten; 3 Grenzen zwischen Gebieten mit vollariden Monaten; 4 Optimales Anbauggebiet; 5 Randanbauggebiet

Potential cultivation areas of groundnut plants in Nigeria

1 Isohygromenes; 2 Boundaries between areas with completely humid months; 3 Boundaries between areas with completely arid months; 4 Optimal area of cultivation; 5 Marginal area of cultivation

dieses „Hauptgebiet“ schließen sich zwei „Randgebiete“ an, in denen in einzelnen Monaten entweder zuwenig oder zuviel Feuchtigkeit vorhanden ist. Geht man noch eine Zone weiter, so treten erhebliche Wassermangel- bzw. Wasserüberschusszeiten auf, so daß diese Bereiche allenfalls als „bedingt tauglich“ einzustufen sind.

Interessant ist nun, daß diese Stationen stellvertretend für ihre entsprechenden Feuchtezonen stehen, deren Kennziffern in der Tabelle 2 vermerkt sind. Danach lassen sich diese Überlegungen direkt auf die Karte übertragen (Abb. 3):

Die optimale Anbauzone des Sorgums wird im Norden begrenzt durch 4 humide Monate bei gleichzeitig 6 vollariden Monaten; dies ist gleichsam die „optimale Trockengrenze“ dieser Pflanze. Die entsprechende „Feuchtgrenze“ nach Süden liegt bei 5 humiden und

5 vollariden Monaten. Die Randgebiete dagegen werden eingefaßt von 3 humiden mit 6 vollariden Monaten im Norden und durch 5 humide bei gleichzeitig 4 vollariden Monaten im Süden. Erst wenn diese Marken überschritten werden, wird der Anbau dieser Sorgumart kritisch, d. h. der Ertrag wird zu gering.

Daß dieses Ergebnis nicht einen Einzelfall darstellt, beweist die Anwendung der vorgestellten Methode auf ein zweites Beispiel: Auch für die Erdnußpflanze (*Arachis hypogaea*) läßt sich ein entsprechender Entwicklungsablauf, diesmal von 128 Tagen, mit den zugehörigen umgerechneten Transpirationsdaten vom Beginn der Regenzeit bis zu ihrem Ende (Mai bis Oktober) darstellen (Abb. 4). Auch hier ergibt sich bei der Auflistung der Stationen wiederum eine optimale Hauptzone und zwei Randzonen (Tab. 3).

Auch hier läßt sich das Ergebnis problemlos auf die

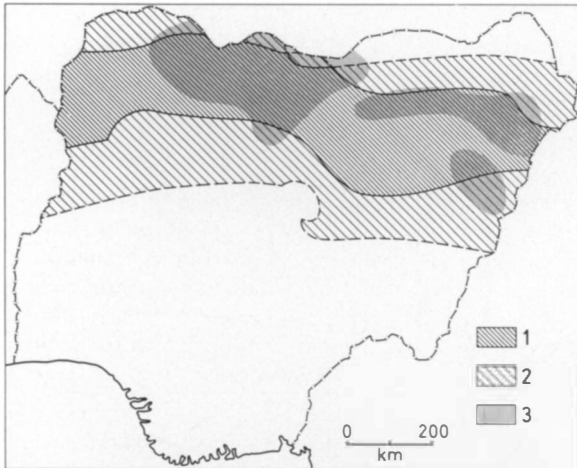


Abb. 6: Vergleich zwischen den realen und den potentiellen Anbaugebieten der Erdnußpflanze

1 Optimales Anbauggebiet; 2 Randanbauggebiet; 3 Tatsächliches Anbauggebiet

Comparison between real and potential areas of cultivation of the groundnut plant

1 Optimal cultivation area; 2 Marginal cultivation area; 3 Actual cultivation area

Karte der Feuchtezonen übertragen (Abb. 5) mit dem Ergebnis, daß die optimale Trockengrenze bei 3 humiden mit 2 vollhumiden und 7 vollariden Monaten und die Feuchtgrenze bei 4 humiden und 6 vollariden Monaten liegen. Die Abgrenzung der Randgebiete nach Norden (zum trockeneren Bereich hin) befindet sich bei 3 humiden mit gleichzeitig 8 vollariden Monaten, nach Süden (zur feuchteren Seite hin) bei 5 humiden mit 4 vollhumiden und 4 vollariden Monaten.

Bei der Erdnußpflanze ist es nun möglich, einen Vergleich der hier ausgewiesenen Zonen mit dem tatsächlichen Anbaugbiet anzustellen (Abb. 6). Dabei ergibt sich, daß die Hauptanbaugebiete um Kano und Maiduguri zwar in der optimalen Zone liegen, sie aber nur Teile dieser Zone ausmachen, so daß vom Standpunkt des Wasserdargebots das Erdnußgebiet noch um große Flächen erweitert werden könnte. Daß dies noch nicht geschehen ist, liegt an anderen Gründen; es sei in diesem Zusammenhang nur an die schlechte Verkehrserschließung weiter Gebiete und die damit fehlenden Transportmöglichkeiten erinnert.

Andererseits beginnt im Bereich südlich von Maiduguri das augenblickliche Anbaugbiet sehr weit in die südliche – feuchte – Randzone einzudringen, so daß hier wohl in einzelnen Jahren keine ausreichenden Wuchsbedingungen mehr erwartet werden können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der hier vorgestellte Weg über die Ausweisung einer großen Anzahl von klar definierten und eindeutig voneinander abzugrenzenden Feuchtezonen und über die Über-

tragung von Transpirationsdaten auf die Quotienten aus aktueller und potentieller Landschaftsverdunstung eine Möglichkeit darstellt, in Bezug auf den Wasserbedarf optimale Anbaugebiete für Kulturpflanzen der Tropen auszuweisen.

Literatur

- EIMERN, J. van: Zum Begriff und zur Messung der potentiellen Evapotranspiration. In: *Met. Rdsch.* 17, 1964, S. 33–42
- JÄTZOLD, R.: Ein Beitrag zur Klassifikation des Agrarklimas der Tropen (mit Beispielen aus Ostafrika). In: *Tüb. Geogr. Studien* 34, 1970, S. 57–69
- KASSAM, A. H., J. M. KOWAL und C. HARKNESS: Water Use and Growth of Groundnut at Samaru, North Nigeria. In: *Trop. Agric.* 52, 1975, S. 105–112
- KOWAL, J. M. und D. J. ANDREWS: Pattern of Water Availability and Water Requirement for Grain Sorghum Production at Samaru, Nigeria. In: *Trop. Agric.* 50, 1973, S. 89–100
- LAUER, W.: Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln. In: *Bonner Geogr. Abh.* 9, 1952, S. 15–98
- LAUER, W. und P. FRANKENBERG: Untersuchungen zur Ökologiklimatologie des östlichen Mexiko – Erläuterungen zu einer Klimakarte 1:500 000. In: *Coll. Geogr.* 13, Bonn, 1978, S. 1–134
- PAPADAKIS, J.: Potential Evapotranspiration, Buenos Aires 1965
- : *Climates of the World and their Agricultural Potentialities*, Buenos Aires 1966
- PENCK, A.: Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeographischer Grundlage. In: *Sitz.-Ber. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. Berlin, Phys.-Math. Kl.* 12, 1910, S. 236–246
- PENMAN, H. L.: *Vegetation and Hydrology = Techn. Comm.* 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden 1963
- PFAU, R.: Ein Beitrag zur Frage des Wassergehalts und der Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlich genutzter Böden im Raume der EWG. In: *Met. Rdsch.* 19, 1966, S. 33–46
- SCHMIEDECKEN, W.: Die Bestimmung der Humidität und ihrer Abstufungen mit Hilfe von Wasserhaushaltsberechnungen – ein Modell. In: *Coll. Geogr.* 13, Bonn, 1978, S. 135–159
- THORNTON, C. W. und J. R. MATHER: Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance = *Publ. in Clim.* 10,3, 1957