

- MECKELEIN, W., 1959: Forschungen in der zentralen Sahara. Westermann, Braunschweig, S. 1–181.
- MENSCHING, H., 1957: Geomorphologie der Hohen Rhön und ihres südlichen Vorlandes. Würzburger Geogr. Arb. H. 4/5, S. 46–88.
- , 1958: Entstehung und Erhaltung von Flächen im semiariden Klima, am Beispiel Nordwest-Afrikas. Tagungsber. u. wiss. Abhandl. Dt. Geogr.-Tag, Bd. 31, S. 173–184.
- , 1964: Die regionale und klimatisch-morphologische Differenzierung von Bergfußflächen auf der Iberischen Halbinsel (Ebrobecken – Nordmeseta – Küstensaum Iberiens). Würzburger Geogr. Arb., H. 12, S. 141–158.
- , 1968: Bergfußflächen und das System der Flächenbildung in den ariden Subtropen und Tropen. Geol. Rundsch., Bd. 58, S. 62–82.
- MORTENSEN, H., 1933: Die „Salzsprenge“ und ihre Bedeutung für die regionalklimatische Gliederung der Wüsten. *Pet. Geogr. Mitt.* 79, S. 130–135.
- NAGEL, G., 1967: Freundl. mündl. Mitteilung auf der 3. Stauerland-Expedition.
- PÉCI, M., 1964: Ten years of physcogeographic research in Hungary. *Studies in Geography, Geogr. res. inst., Hungarian Academy of Science*, No. 1, S. 1–132.
- , 1968: Denudational levels of the Hungarian Middle Mountains with special regard to pediment formation. *Hungarian Acad. of Sc., Inst. of Geography. Symposium Budapest*, 16.–20. 4. 1968, S. 24–36.
- RATHJENS, C., 1968 a: Ein Rundgespräch über Flächenbildung in Saarbrücken. *Ztschr. f. Geomorph., N. F.* Bd. 12, H. 4, S. 470–489.
- , 1968 b: Schichtflächen und Schnittflächen im Trockenklima. *Regio Brasiliensis*, IX/1, S. 162–169.
- RAYNAL, R., 1961: Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya (Maroc oriental) S. 1–608.
- ROGNON, P., 1967: Le massif de l'Atakor et ses bordures (Sahara central). *Etude géomorphologique. Centre de recherches sur les zones arides, Série: Géologie No. 9*, Paris, S. 1–559.
- ROHDENBURG, H., 1968: Zur Deutung der quartären Talentiefung in Mitteleuropa. *Die Erde* 99. Jg., H. 4, S. 297–304.
- SEUFFERT, O., 1968: Klimatische und nichtklimatische Faktoren der Fußflächenentwicklung im Bereich der Gebirgsvorländer und Grabenregionen Sardinien. *Geol. Rundsch.* Bd. 58, 1, S. 98–110.
- , 1969: Die Entwicklung der Grabenregion Sardinien. (Ein Beitrag zur Frage der Entstehung von Fußflächen und Fußflächensystemen). *Würzburger Geogr. Arb.*, H. 24.
- SPÄTH, H., 1969: Die Großformen im Glocknergebiet. *Wiss. Alpenvereinshefte*, H. 21, S. 117–141.
- STÄBLEIN, G., 1968: Die Reliefgenerationen der Vorderpfalz. *Würzburger Geogr. Arb.* H. 23, S. 1–191.
- TRICART, I., und CAILLEUX, A., 1964: *Le Modelé des Régions Sèches*. 2 Bde., Paris.
- WEISE, O., 1967: Reliefgenerationen am Ostrand des Schwarzwaldes. *Würzburger Geogr. Arb.* H. 21, S. 1 bis 146.
- , 1969: Freundl. briefl. Mitteil. aus Iran, Jan./Febr. 1969.
- WICHE, K., 1963: Fußflächen und ihre Deutung. *Mitt. Geogr. Ges. Wien*, Bd. 105, S. 519–532.
- WIEGAND, G., 1969: Morphologische Beobachtung in W- und Zentral-Anatolien. *Würzburger Geogr. Kolloquium*, 6. 2. 1969.
- WILHELMY, H., 1958: Klimamorphologie der Massengesteine. Westermann, Braunschweig, S. 1–238.
- WIRTHMANN, A., 1964: Die Landformen der Edge-Insel in SO-Spitzbergen. *Ergebnisse der Stauerland-Expedition 1959/60*, Heft 2, S. 1–53.
- , 1968: Über Talbildung und Hangentwicklung auf Hawaii. *Würzburger Geogr. Arb.*, H. 22/V, S. 1–22.

DIE RÄUMLICHE UND ZEITLICHE VERTEILUNG DER SCHWÜLE UND IHRE GRAPHISCHE DARSTELLUNG (MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG AFRIKAS)

Mit 1 Abbildung, 4 Tabellen und 13 Diagrammen (Beilage V)

CARL TROLL

Summary: The spatial and temporal distribution of sultriness and its graphical representation (with special reference to Africa)

The introduction to this paper reports previous attempts at a biometeorological definition of the term 'sultriness' (LEISTNER, KING, HERRMANN, DAMMANN) and the quantitative determination of the so-called 'sultriness limit' (LANCASTER-CASTENS, RUGE, SCHARLAU) and sultriness values. In the last 30 years regional climate-geographical investigations using the Lancaster-Castens Curve have been carried out primarily in African countries with their longer sultry spells (MARNER, SEMMELHACK, SCHARLAU, SCHULZE) and only a first crude attempt by Scharlau gives a worldwide presentation. Investigations in Central Europe (ZIMMERMANN, HERRMANN, LEHMANN, DAMMANN) attempt primarily to determine the frequency of sultriness and their relationship to particular weather situations.

A characteristic feature of tropical climates also in high altitudes is a small annual but stronger diurnal variation in temperature, but previous analyses and graphical presentations of sultriness in the tropics have only been made on the basis of mean monthly values, neglecting the night hours. In view of this, the author presents diagrams for four stations in equatorial Africa (Tiko, Dar-es-Salaam, Tabora, Tandala) which enable seasonal and diurnal changes in the values for sultriness and comfort to be read off. This follows previous work (since 1943) for air temperature in thermo-isopleth diagrams. The new diagrams are called Kaumato-isopleths. Whereas in the permanent rain-forest climate of Tiko, sultriness values show a dominantly diurnal differentiation, Dar-es-Salaam, Tabora and Tandala show, as a result of rainy and dry seasons, a dominant seasonal variation. Tiko and Dar-es-Salaam are permanently sultry, Tabora changes between months which are always sultry,

months which are completely free from sultry conditions and months with a diurnal change between sultriness and comfort. Tandala, at a height of 2040 metres, is always free from sultriness.

1. Begriff und Bestimmung der Schwülegrenze und der Schwülewerte

Die Empfindung von Schwüle durch den normalen menschlichen Körper und die Dauer dieses Zustandes im zeitlichen Ablauf eines Klimas ist ein wichtiges Element in der Bioklimatologie (K. BÜTNER 1938, H. BERG 1947), der Human- oder Anthropoklimatologie (K. SCHARLAU 1950) oder im weiteren Sinn der Anthroökologie (K. H. PAFFEN 1959). Der Wärmeerzeugung im menschlichen Körper steht eine Entwärmung gegenüber, die durch Abstrahlung, Verdunstung, Wärmeleitung und Konvektion geschieht und die für die Konstanterhaltung der Körpertemperatur und normalerweise für das Empfinden der Behaglichkeit sorgt. Unter dem Komplex von Faktoren, welche das Eintreten des Schwüleempfindens beherrschen, sind Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung und Wind die wichtigsten (H. E. LANDSBERG 1960). Der erste Versuch, die Schwülegrenze experimentell zahlenmäßig zu bestimmen, wurde schon vor 70 Jahren von A. V. LANCASTER (1898) unternommen. Obwohl seine Schwülegrenzwerte nur die Faktoren Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit berücksichtigen, haben sie sich für räumliche Vergleiche, besonders in den warmen Ländern, gut bewährt. Von Seiten der Wärme- und Kältetechnik (bes. der American Society of Heating and Ventilation Engineers) wurde der Begriff der „effective temperature“ entwickelt (HOUGHTON a. YAGLOU, 1924, YAGLOU a. MILLER 1925, A. MISENARD 1936/1949, E. BREZINA u. W. SCHMIDT 1937). Auch sie ist zunächst nur auf die Schattentemperatur und die Luftfeuchtigkeit gegründet, doch wurden entsprechende Kurven auch für verschiedene Luftbewegungen entwickelt (s. H. BERG 1947). In einem Diagramm („Comfort Chart“) hat man dargestellt, in welchen Grenzen der Temperatur und Feuchte US-Amerikaner in Büroräumen Behaglichkeit empfinden, und dafür verschiedene Werte für Winter und Sommer gefunden. Anders liegen diese Grenzen z. B. für die Bewohner von Java, dort aber ohne jahreszeitliche Unterschiede (vgl. J. F. GRIFFITHS 1966). Auch die Begriffe „discomfort index“ und „temperature-humidity index“ werden gebraucht. E. C. THOM (1955) hat Karten des mittleren Monatswertes dieses Index für die USA hergestellt. In neuerer Zeit haben W. LEISTNER (1951) und E. KING (1955) von hygienischer Seite versucht, die meteorologischen Elemente für das Zustandekommen der Schwüleempfindung genauer zu erfassen. W. LEISTNER benutzt für seine „Physioklimagramme“ – anknüpfend an ältere Arbeiten von M. ROBITZSCH – die Äquivalenttemperatur der Hautoberfläche,

E. KING gründet seine Formeln für die Bestimmung der Schwüle auf Äquivalenttemperatur, Abkühlungsgröße und Gegenstrahlung.

Die Abkühlungsgröße, d. h. der Wärmeverlust eines auf Bluttemperatur (36,5° C) gehaltenen Körpers durch die Verdunstung unter dem Einfluß der umgebenden Klimaelemente (Temperatur, rel. Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Strahlung) ist ein Gegenstück zur Schwüle. Man bestimmt die Abkühlungsgröße entweder durch Messung der Abkühlungsgeschwindigkeit mit dem Hill'schen Katathermometer oder durch die Wärmemenge, die nötig ist, um den Probekörper auf konstanter Temperatur zu halten, mit Hilfe des Dorno'schen Frigorimeters bzw. des Frigorigraphen von LOSSNITZER. Eine besondere Bedeutung kommt den neueren Arbeiten von W. DAMMANN zu (1962 u. 1964), die sich auf die besonderen Verhältnisse der mitteleuropäischen Witterungsklimatologie beziehen. Er ging aus von einer Analyse fünfjähriger Beobachtungen (1957–61) der Strahlungs- und Wärmebedingungen im Sommer bei hohen, mittleren und niederen Dampfdruckwerten und untersuchte den Zusammenhang zwischen der Taupunkttemperatur und den verschiedenen Elementen des Strahlungshaushalts, weiter die Beziehungen zwischen Taupunkttemperatur, Lufttemperatur, rel. Feuchtigkeit, Abkühlungsgröße, Äquivalenttemperatur und Windgeschwindigkeit, den Einfluß der thermischen Konvektion, die im Tagesgang den Dampfdruck beeinflusst, schließlich den gesamten Typus der Zirkulation, der Wetterlage und der Luftmassenverteilung. Er zielt dabei auf die genaue zahlenmäßige Erfassung der Schwülegrenze und stellt eine ganze Liste von meteorologischen Erscheinungen zusammen, die in Mitteleuropa für Schwülesituationen bezeichnend sind. Sie betreffen den Zirkulationstyp, die Stabilität der Luftmassen, die Globalstrahlung, die atmosphärische Gegenstrahlung, die Windgeschwindigkeit und die relative Luftfeuchtigkeit (vgl. J. BLÜTHGEN 1966, S. 121–123).

Für die klimageographische Fragestellung besonders in den wärmeren Ländern mit ihrem regelmäßigeren Ablauf des atmosphärischen Jahreszeitengeschehens und langdauernden Schwülezeiten handelt es sich weniger darum, den Begriff der Schwüle physiologisch genau unter Berücksichtigung aller einschlägigen Klimaelemente zu erfassen, sondern darum, die räumliche und zeitliche Verteilung der Schwüle und der Schwülewerte in den verschiedenen Klimaten und den entsprechenden Höhenstufen festzustellen. In dieser Richtung hat als erster der Meteorologe G. CASTENS (1925 und TH. BERKÉ und G. CASTENS 1929) während eines zwölfjährigen Aufenthalts in Ostafrika einschließlich des Feldzuges mit Lettow-Vorbeck Erfahrungen mit der klassischen Schwülegrenze von LANCASTER gesammelt und diese als brauchbarer befunden als Werte von E. DIRKSEN (1925), E. FLEISCHER (1927) und W. GREWE (1928). 1930 hat dann

der Hygieniker H. RUGE während einer von Mai bis November dauernden Tropenfahrt des Kreuzers „Karlsruhe“ im Indischen und Atlantischen Ozean an 500 Besatzungsmitgliedern in verschiedenen Teilen des Schiffes 7700 Messungen durchgeführt und die Brauchbarkeit der von ihm so benannten „Lancaster-Carstens-Kurve“ erneut bestätigt (H. RUGE 1932). Die Kurve kann in umgekehrter Betrachtung natürlich auch als Grenze der Behaglichkeit aufgefaßt werden. RUGE zeigte auch die engen Beziehungen auf, die zwischen dem Verlauf dieser Kurve und der Kurve des Dampfdruckes von 14,08 mm Hg besteht. Bei 100 % Luftfeuchtigkeit tritt nach CASTENS das Schwüleempfinden bei 16,5° C ein, wobei der genannte Dampfdruck von 14,08 mm Hg herrscht. Dieser Dampfdruck darf auch bei höheren Temperaturen nicht überschritten werden, wenn das Gefühl der Schwüle nicht eintreten soll. Die Kurve der Schwülegrenze nach LANCASTER-CASTENS und die Dampfdruckkurve von 14,08 mm Hg weichen in ihrem ganzen Verlauf nur unmerklich voneinander ab. Die auf die Dampfdruckkurve bezogene Grenze der Schwüle hat SCHARLAU (1941) als die „verbesserte Lancaster-Castens-Kurve“ bezeichnet und weiterverwandt (vgl. diese Zeitschrift, Bd. 4, 1950, S. 191).

H. RUGE (1932) führte auch den Begriff der Schwüleinheit ein, definiert als das halbe Produkt aus der Überschreitung der Schwüle-Behaglichkeits-Grenze von $\frac{1}{10}^{\circ}$ C und 1 % rel. Feuchtigkeit. K. SCHARLAU, der während des Zweiten Weltkrieges auf Fahrten in Rußland Beobachtungen über Schwüle auf dieser Grundlage anstellte (1942 a), fand dann, daß es zur Bestimmung eines Schwülewertes bzw. Behaglichkeitswertes genügt, die Differenz der herrschenden Temperatur zu der Temperatur der Schwülegrenze bei der entsprechenden Luftfeuchtigkeit festzuhalten. Diese Temperaturdifferenz nannte er „thermischen Schwülewert“ (1943 a u. b). Für seine Bestimmung benutzte er ein Koordinatennetz mit der Temperatur in ° C als Abszisse und den Dampfdruckwerten in mm Hg als Ordinate, in das die Kurven der Prozentwerte der rel. Feuchte eingetragen sind (vgl. diese Zeitschrift, Bd. 4, 1950, S. 192). SCHARLAU konstruierte auch ein sog. Schwülethermometer mit doppelter Skala, um diese Werte unmittelbar abzulesen, ebenso einen Schwüleschreiber (1943 b). Im Jahre 1959, also noch vor Erscheinen der Arbeiten DAMMANNs, hat H. HERRMANN zusammenfassend über die bis dahin unternommenen Versuche berichtet, die Schwülegrenze und die Schwülewerte zu bestimmen.

2. Regionale Untersuchungen und kartographische Darstellungen der Schwüleverteilung

a) Afrika und Naher Osten

Von geographischer Seite haben sich mit der Schwüleklimatologie in früheren Jahren J. MARNER

(1940), W. SEMMELHACK (1942) und besonders K. SCHARLAU (1941–1952), in neuerer Zeit W. DAMMANN (1962–1964) beschäftigt. Der Ausgangspunkt war dabei das große Interesse, das in den 30er Jahren in der internationalen Geographie für die Fragen der Siedlungsmöglichkeiten für die weiße Rasse in den Tropen bestand (R. C. DE WARD, O. GRENFELL PRICE, K. SAPPER u. a.). Es kam auf dem Internationalen Geographenkongreß in Amsterdam 1938 darin zum Ausdruck, daß in der Sektion „Géographie Coloniale“ das genannte Thema allein mit 42 Referaten von Teilnehmern aus 10 Nationen behandelt wurde (*Comptes Rendus* 1938). In Deutschland lag die Beschäftigung mit dem tropischen Afrika nahe, da in Hamburg aus der Kolonialzeit vor dem Ersten Weltkrieg ein reiches klimatologisches Beobachtungsmaterial zur Verfügung stand. Zunächst bearbeitete J. MARNER (1940) auf Anregung von W. SEMMELHACK das ehemalige Deutsch-Ostafrika, kurz darauf W. SEMMELHACK selbst (1942) Kamerun. Die beiden Autoren entwarfen für zahlreiche Stationen sog. Klimagramme (nach einem Vorbild von H. RUGE), in denen die mittleren Temperatur- und Feuchtigkeitsgrade der 12 Monate in ihrer Lage zur Lancaster-Castens-Kurve graphisch dargestellt sind. Auf Klimakarten 1 : 5 Mill. wurden auf Grund dieser Monatswerte die Länder eingeteilt in Gebiete dauernder Schwüle, solche mit 7–11 Monaten Schwüle, solche mit 7–11 Monaten Schwülfreiheit und solche ständiger Schwülfreiheit. Daneben hat MARNER für drei Stationen auch Klimagramme für den mittleren täglichen Gang der Schwüle in zwei verschiedenen Monaten entworfen. In etwas anderer Weise stellte SEMMELHACK für vier Stationen in Kamerun tageszeitliche Veränderungen der Schwüle dar, und zwar in Klimagrammen getrennt für die drei Beobachtungstermine 7 Uhr, 14 Uhr und 21 Uhr, sowie für den Tagesgang der Schwüle an zwei beliebig ausgewählten Tagen der Trockenzeit und der Regenzeit.

K. SCHARLAU ging einen Schritt weiter zur kartographischen Darstellung der Schwüle nach thermischen Schwülewerten. Er wählte ein Subtropengebiet, und zwar die Küstenländer am südöstlichen Mittelmeer. Von seinem großen Material, das im Krieg in Berlin verlorenging, konnte er nur zwei Karten veröffentlichen, die das ägyptische Nilland, die Halbinsel Sinai und Palästina umfassen (SCHARLAU 1950). Auf der ersten stellte er für den heißesten Monat August die Verteilung der „Feucht-Wärme“ in Linien gleicher thermischer Schwülegrade („Isohygrothermen“) dar – vergleichbar einer Isothermenkarte –, auf der zweiten sind die Daten für den mittleren Beginn und das Ende der Schwüleperiode und damit für die Dauer der Schwülejahreszeiten in Isolinien wiedergegeben – vergleichbar unseren phänologischen Karten. Über die tageszeitliche Veränderung der Schwüle ist dabei allerdings nichts ausgesagt.

Für den großen von E. RODENWALDT organisierten und herausgegebenen Weltseuchenatlas hat daraufhin A. SCHULZE, aufbauend auf SCHARLAU, die Schwüleverhältnisse des ganzen afrikanischen Kontinents bearbeitet (1956 a). Er entwarf eine Isohygrothermenkarte Afrikas 1 : 20 Mill., allerdings nur für die Jahresmittel der Schwüle- bzw. Behaglichkeitswerte. Die monatlichen Veränderungen stellte er für 24 gut ausgewählte Stationen in Klimagrammen nach MARNER und SEMMELHACK dar. Zwei Nebenkärtchen zeigen für ganz Afrika die Zahl der Monate mit thermischen Schwülewerten und ebenso der Monate mit extremen Schwülewerten (über 6° Schwülewert). Aus dem Vergleich mit der Karte der Jahresmittelwerte ergibt sich eine Proportionalität zwischen dem Jahresmittel der Schwüle und ihrer Andauer, ebenso zwischen den im Jahresmittel extrem schwülen Gebieten und der Anzahl extrem schwüler Monate. Die Gebiete mit über sechsmonatiger Dauer extremer Schwülewerte liegen alle in küstennahen Gebieten, in Westafrika zwischen Bissago und der Kongomündung, in Ostafrika zwischen Massaua und der Sambesimündung. An anderer Stelle veröffentlichte A. SCHULZE (1956 b) noch ein Kärtchen über das jahreszeitliche Auftreten der schwülsten Monate in Afrika, dazu Diagramme für 10 Stationen über den mittleren Jahresgang der thermischen Schwüle.

b) Mitteleuropa

Schon vor der Untersuchung H. HERRMANS hat ein Schüler von K. SCHARLAU, HERBERT LEHMANN (1956), die Verteilung der Schwüle in Deutschland in Beziehung zu bestimmten Wetterlagen und dem Wettergeschehen untersucht. Es ergab sich statistisch, daß 74 % aller Schwülewetterlagen durch die Heranführung von Luftmassen mit hoher Temperatur und hohem Feuchtigkeitsgehalt aus subtropischen Breiten (SW, S, SE) entstehen. Sie können in allen tieferen Lagen Mitteleuropas zur ausgeprägten Schwüle führen. Nur 10,5 % entfallen auf schwächere feuchtwarme Luftkörper, die sich im Sommer über der Ostsee gebildet haben. Diese können sich nur bis in das norddeutsche Flachland verlagern. Der Rest von 14 % sind sog. „eigenständige Schwülewetterlagen“, die sich zwar auch aus herangeführten Luftmassen herleiten, aber derart, daß ein alternder Luftkörper durch Druckverlagerungen verstärkt oder vom Untergrund her stark modifiziert wird. Zyklonale Wetterlagen wirken allgemein „schwülevtreibend“¹⁾.

An dieser Stelle muß auch auf W. DAMMANS „Physiologische Klimakarte der Bundesrepublik“ Deutschland hingewiesen werden (1962 u. 1964), die zwar keine Zahlenwerte für Schwüledauer, Schwülehäufigkeit oder Schwülewerte bringt, wohl aber eine

Art anthropoklimatischer Sommerkarte darstellt, die die Klimagebiete des Bundesgebietes in Beziehung zur Schwüleempfindung des Menschen vorzüglich charakterisiert.

Für die gemäßigten Klimate Mitteleuropas, in denen Schwülewerte nur in kürzeren Perioden unregelmäßig auftreten, wurden u. a. Bearbeitungen für Basel (M. BIDER u. J. C. THAMS 1950) und Potsdam (G. ZIMMERMANN 1952 b) durchgeführt, wobei es sowohl um die Bestimmung der Zahl der Schwületage und die Länge der Schwüleperioden als auch den tageszeitlichen Gang der Schwülehäufigkeit ging. Die mittlere Zeit der Schwületage für Potsdam ergab 24,2, für Basel 24,9. ZIMMERMANN (1952 a) entwarf außerdem für Süddeutschland auf Grund von Werten von 55 Stationen eine Karte der mittleren Zahl der Schwületage, und zwar unter Eliminierung des Höheneinflusses. Für Nordwestdeutschland hat H. HERRMANN (1959) auf der Grundlage der Werte von 77 Stationen für die Jahre 1950–1954 nach den Schwüledefinitionen verschiedener Autoren Summen von Schwülehäufigkeiten bestimmt und danach in getrennten Karten die Schwüleverteilung nach E. KING, W. LEISTNER u. K. SCHARLAU dargestellt. Der Verfasser gibt aus guten Gründen der Karte nach KING den Vorzug, da sie unter Berücksichtigung aller am Zustandekommen von Schwüle beteiligten Faktoren entstanden ist.

c) Vorläufige Weltkarte

Im Rahmen von Vorarbeiten für einen anthropoklimatischen Atlas der Erde ließ H. SCHARLAU (1952) umfangreiche Schwüleberechnungen für über 1000 Stationen der Erde durchführen (Monatsmittel nach den täglichen Terminbeobachtungen) und veröffentlichte eine vorläufige Weltkarte „die Schwülezonen der Erde“. Er unterscheidet darauf allerdings nur drei Zonen:

1. Die Zone der permanenten Schwüle, d. h. Gebiete, die nach ihren Monatsmitteln ganzjährig (volle 365 Tage) schwül sind.

2. Die Zone der periodischen Schwüle, d. h. Gebiete, in denen die Schwüle dauernd auf Grund langjähriger Beobachtungsreihen weniger als ein Jahr beträgt. Die beiden Zonen bilden den „Schwülegürtel der Erde“. Darin kommen monatliche Schwülexima von über 10 Schwülewerten in allen Tropenkontinenten vor, in Guayana (Brit.), in Somalia (Mogadisch), Ceylon (Jaffna), Burma (Rangun) und Vietnam (Hué). Den Schwülepol der Erde dürften die Küsten im Südteil des Roten Meeres und am Golf von Aden darstellen.

3. Die Zone der episodischen Schwüle, die von SCHARLAU gegen die Zone der Schwülfreiheit nicht abgegrenzt werden konnte. Als episodisch gelten Schwüleperioden, die wegen ihrer zeitlichen Streuung nicht in den langjährigen Monatsmitteln zum Ausdruck kommen. Dazu gehören die verschiedensten

¹⁾ Leider sind die zu der Arbeit gehörenden Karten nicht veröffentlicht und nur im Geographischen Institut der Universität Marburg als Manuskriptkarten hinterlegt.

Klimate, etwa Wüstenklimate niederer Breiten mit extremer Trockenheit als auch Klimate in relativ hohen Breiten, in denen sommerlich hohe Erwärmung zeitweise mit hoher Luftfeuchtigkeit gekoppelt sein kann. Die Karte wurde auch an anderen Stellen veröffentlicht (J. GROBER u. a. 1960, J. BLÜTHGEN 1966).

3. Der jahreszeitliche und tageszeitliche Gang von Temperatur und thermischer Schwüle im äquatorialen Afrika, dargestellt in Thermoisoplethen- und Kaumatoisoplethen-Diagrammen

Bei einem ersten Versuch einer Gliederung der „Hygrothermklimate“ der Erde unterschied SCHARLAU (1950) rein theoretisch drei Gruppen:

1. Die $H_k T_k$ -Klimate (konstant feuchtwarme Dauerbelastungsklimate); 2. $H_p T_p$ -Klimate (periodische Schwüleklimate); 3. $H_z T_z$ -Klimate (zeitweilig schwüle Klimate) und teilte jeden dieser Typen wieder in zwei Untertypen je nach dem Vorhandensein oder Fehlen schwülfreier Nächte. Tatsächlich ist es ein großer Mangel der bisherigen Untersuchungen auf Grund von Jahres- oder Monatsmittelwerten, vor allem wenn den Berechnungen nur Terminbeobachtungen zugrunde gelegt sind, daß die tageszeitliche Unterbrechung der Schwülezustände keine Berücksichtigung findet, was auch von SCHARLAU (1952) ausdrücklich hervorgehoben wird. J. BLÜTHGEN (1966) hebt hervor, daß es für die Arbeitsleistung im tropischen Klima entscheidend ist, ob nachts die Schwülegrenze unterschritten wird oder nicht. Gerade für die Tropenklimate spielt der tageszeitliche Gang der Temperatur eine entscheidende Rolle. Ein gewisser Ausgleich entsteht allerdings dadurch, daß die Tagesschwankungen der Luftfeuchtigkeit mit ihrem nächtlichen Minimum und ihrem nachmittäglichen Maximum für die Schwüle in umgekehrter Richtung wirken. Nachdem sich die gleichzeitige Darstellung des jahres- und tageszeitlichen Ganges der Lufttemperatur durch die Thermoisoplethendiagramme in früheren Arbeiten als so einprägsam für die Charakterisierung der thermischen Klimate der Erde erwiesen hatte (TROLL 1943, 1955, 1964), erschien es naheliegend, auch eine entsprechende Darstellung für den jahres- und tageszeitlichen Gang der thermischen Schwülewerte zu versuchen. Für solche Diagramme schlage ich die Bezeichnung „Kaumatoisoplethen“ (vom griechischen τὸ καυμῶ = die Schwüle) vor (vgl. Beilage V).

Die Schwierigkeit besteht darin, nicht nur für die Temperatur, sondern auch für die Luftfeuchtigkeit mittlere Werte für alle 24 Stunden aller 12 Monate zu erhalten. Dafür standen dem Verfasser 1943 nur 4 Stationen aus dem äquatorialen Afrika zur Verfügung, nämlich Tiko (Kamerun) in 15 m Meereshöhe im Bereich des tropischen Regenwaldes, Daressalam (Tanganyika) in 14 m Höhe im tropischen

Savannenklimate, Tabora (Tanganyika) in 1214 m Höhe im Bereich der Höhensavannen (Trockenwälder) und Tandala (Tanganyika) in 2040 m im Höhen Grasland. Die Stundenwerte der drei letztgenannten Stationen konnte ich den Veröffentlichungen der Deutschen Seewarte entnehmen (D.Ü.M.B. 1901 bis 1914), für Tiko verdanke ich die Werte der freundlichen Vermittlung von Dr. W. SEMMELHACK †. Die vier Diagramme, die bereits 1943 entworfen wurden, sind im Vergleich zu den Thermoisoplethendiagrammen auf Beilage V wiedergegeben, dazu auch die Diagramme des jahreszeitlichen Niederschlagsanges und für Daressalam das Isoplethendiagramm der Sonnenscheindauer. Es hätte sich kaum gelohnt auch für die Werte der Luftfeuchtigkeit Isoplethendiagramme zu entwerfen. Diese Werte zeigen die Tab. 1–4.

a) T i k o

Die Temperaturverhältnisse von Tiko stellen den äquatorialen Tieflandstypus mit ganz geringer Jahreschwankung dar. Entsprechend der nordäquatorialen Lage ist der tiefste Sonnenstand im Dezember. Ihm folgen bis Februar die niederschlagsärmsten Monate des Jahres (NE-Passat), während von Mai bis Oktober der Guineamonsun am Fuß des Kamerunberges gewaltige Steigungsniederschläge erzeugt. Während die Temperaturen der Nacht und der Morgenstunden im Jahresgang als isotherm bezeichnet werden können, schwanken die Mittagstemperaturen infolge des Gegensatzes der starken Bewölkung während des Guineamonsuns und der Niederschlagsarmut im Dezember und Januar immerhin um $4,5^\circ\text{C}$.

Die mittleren Stundenwerte der relativen Feuchte schwanken in Tiko im August um 15,1 %, im Januar dagegen um 31,7 %. Demgegenüber sind die Jahreschwankungen der Stundenwerte wesentlich geringer (5,2 % um 1 Uhr, 14,9 % um 12 Uhr). Bei den hohen Wärme- und Feuchtigkeitsgraden ist das Klima dauernd schwül. Im zeitlichen Ablauf der Schwülewerte herrscht, durch den tageszeitlichen Gang von Temperatur und Feuchte bedingt auch ein ausgesprochen tageszeitlicher Gang. Die höchsten Schwülewerte werden in den Abendstunden 19 Uhr und 20 Uhr erreicht (6,8–8,4), die niedrigsten herrschen zur Zeit des Sonnenaufgangs (4,7–5,7).

b) D a r e s s a l a m

Auch Daressalam hat ausgesprochen äquatoriale Temperaturverhältnisse: $2,2^\circ\text{C}$ Jahresschwankung. Aber die jahreszeitliche und tageszeitliche Verteilung ist von anderen Wind-, Niederschlags- und Bewölkungsverhältnissen beherrscht. Im Nordsommer Juni bis September herrscht der SE-Passat, dem die relative Trockenzeit entspricht. Die südsommerliche Regenzeit von November bis Mai zeigt noch die äquatoriale Gabelung in zwei Maxima, die zeitlich den Zenitständen der Sonne folgen, während die Abschwächung der Niederschläge dazwischen im Februar

Tab. 1 : Relative Feuchtigkeit in Tiko (Kamerun) in Stundenwerten im Mittel von September 1937 bis Juni 1939

| Monate: | I (Jan.) | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|--------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tages- stunden [h] | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 94,5 | 93,8 | 95,1 | 94,4 | 92,6 | 94,5 | 97,7 | 97,8 | 94,0 | 95,4 | 94,4 | 94,5 |
| 2 | 94,6 | 93,9 | 95,2 | 94,4 | 92,6 | 94,6 | 97,8 | 97,8 | 93,9 | 95,3 | 94,4 | 94,5 |
| 3 | 94,4 | 94,0 | 95,1 | 94,4 | 92,6 | 94,7 | 97,8 | 97,8 | 93,9 | 95,2 | 94,5 | 94,5 |
| 4 | 94,5 | 94,0 | 95,2 | 94,1 | 92,6 | 94,6 | 97,9 | 97,8 | 93,9 | 95,2 | 94,4 | 94,5 |
| 5 | 94,5 | 94,0 | 95,4 | 93,9 | 92,6 | 94,6 | 97,8 | 97,7 | 93,7 | 95,3 | 94,3 | 94,5 |
| 6 | 94,5 | 93,9 | 95,4 | 94,3 | 92,4 | 94,5 | 97,7 | 97,8 | 93,6 | 95,0 | 94,3 | 94,4 |
| 7 | 94,5 | 93,9 | 95,1 | 94,1 | 92,2 | 94,4 | 97,7 | 97,7 | 93,5 | 94,5 | 94,1 | 94,2 |
| 8 | 94,2 | 93,3 | 93,9 | 92,1 | 90,6 | 93,0 | 96,8 | 96,2 | 91,6 | 91,8 | 92,3 | 92,1 |
| 9 | 91,0 | 88,9 | 88,5 | 86,8 | 85,6 | 88,8 | 95,8 | 92,3 | 87,6 | 87,0 | 87,0 | 86,3 |
| 10 | 82,1 | 80,5 | 81,0 | 80,0 | 80,3 | 83,1 | 89,7 | 88,2 | 84,3 | 82,5 | 81,0 | 79,7 |
| 11 | 74,5 | 73,6 | 74,7 | 75,1 | 74,2 | 79,0 | 87,5 | 84,7 | 81,4 | 78,4 | 76,3 | 73,6 |
| 12 | 69,5 | 70,0 | 69,6 | 71,2 | 70,4 | 78,2 | 84,0 | 84,4 | 80,4 | 76,8 | 73,8 | 70,4 |
| 13 | 65,2 | 68,2 | 67,7 | 69,6 | 69,6 | 78,9 | 81,9 | 82,7 | 80,0 | 75,5 | 73,2 | 70,2 |
| 14 | 62,9 | 66,9 | 67,9 | 70,8 | 68,8 | 78,1 | 80,5 | 82,8 | 80,2 | 76,0 | 73,0 | 70,4 |
| 15 | 64,4 | 67,9 | 68,1 | 70,7 | 69,3 | 78,1 | 82,1 | 82,6 | 80,9 | 77,0 | 73,8 | 70,2 |
| 16 | 67,6 | 69,8 | 70,4 | 72,4 | 70,7 | 79,2 | 85,0 | 86,3 | 81,1 | 79,8 | 75,8 | 74,1 |
| 17 | 72,0 | 74,2 | 73,9 | 75,3 | 75,2 | 82,3 | 88,1 | 88,1 | 84,8 | 83,7 | 80,7 | 79,2 |
| 18 | 77,4 | 79,7 | 79,7 | 82,0 | 80,1 | 86,4 | 91,0 | 92,2 | 88,9 | 88,9 | 86,1 | 85,3 |
| 19 | 84,3 | 85,4 | 86,6 | 88,4 | 85,8 | 91,0 | 94,0 | 95,2 | 92,2 | 92,7 | 91,4 | 90,5 |
| 20 | 89,3 | 88,9 | 90,8 | 90,8 | 89,3 | 93,0 | 95,5 | 96,3 | 93,2 | 94,0 | 93,0 | 92,4 |
| 21 | 92,0 | 91,2 | 92,9 | 92,9 | 90,9 | 93,8 | 96,8 | 96,9 | 93,4 | 94,8 | 94,0 | 93,5 |
| 22 | 93,3 | 92,1 | 94,2 | 93,6 | 91,7 | 94,3 | 97,3 | 97,4 | 93,7 | 94,9 | 94,3 | 94,0 |
| 23 | 93,9 | 93,1 | 94,6 | 93,8 | 92,4 | 94,5 | 97,5 | 97,7 | 93,9 | 95,2 | 94,5 | 94,3 |
| 24 | 94,3 | 93,4 | 95,1 | 94,2 | 92,5 | 94,5 | 97,9 | 97,9 | 93,9 | 95,3 | 94,5 | 94,5 |

Tab. 2 : Relative Feuchtigkeit in Daressalam (Tanganyika) in Stundenwerten im Mittel von 1901 bis 1912 (1910 nur Oktober bis Dezember)

| Monate: | I (Jan.) | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|--------------------------|-------------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|
| Tages- stunden [h] | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 84 | 84 | 88 | 93 | 92 | 91 | 92 | 91 | 90 | 89 | 88 | 86 |
| 2 | 84 | 84 | 89 | 93 | 92 | 91 | 92 | 92 | 91 | 89 | 88 | 86 |
| 3 | 84 | 85 | 89 | 93 | 93 | 92 | 93 | 92 | 91 | 90 | 89 | 87 |
| 4 | 84 | 86 | 90 | 94 | 93 | 92 | 93 | 93 | 91 | 90 | 89 | 87 |
| 5 | 85 | 86 | 90 | 94 | 93 | 92 | 93 | 93 | 92 | 91 | 89 | 88 |
| 6 | 85 | 86 | 90 | 94 | 93 | 93 | 94 | 93 | 92 | 91 | 90 | 88 |
| 7 | 85 | 86 | 90 | 94 | 93 | 92 | 93 | 93 | 92 | 90 | 88 | 87 |
| 8 | 83 | 84 | 88 | 92 | 91 | 90 | 91 | 91 | 87 | 85 | 84 | 85 |
| 9 | 80 | 81 | 83 | 89 | 88 | 85 | 86 | 84 | 80 | 78 | 79 | 82 |
| 10 | 77 | 77 | 79 | 84 | 82 | 77 | 78 | 76 | 75 | 73 | 76 | 79 |
| 11 | 75 | 75 | 76 | 81 | 77 | 69 | 71 | 72 | 72 | 71 | 74 | 77 |
| 12 | 73 | 73 | 74 | 80 | 74 | 65 | 65 | 68 | 71 | 71 | 73 | 76 |
| 13 | 73 | 72 | 73 | 79 | 73 | 62 | 64 | 67 | 70 | 71 | 73 | 75 |
| 14 | 73 | 72 | 74 | 78 | 71 | 61 | 62 | 66 | 69 | 71 | 73 | 75 |
| 15 | 74 | 73 | 75 | 79 | 71 | 61 | 63 | 66 | 69 | 72 | 75 | 76 |
| 16 | 76 | 75 | 76 | 80 | 73 | 63 | 64 | 67 | 70 | 73 | 77 | 78 |
| 17 | 78 | 77 | 78 | 82 | 76 | 66 | 67 | 70 | 72 | 74 | 79 | 80 |
| 18 | 80 | 79 | 81 | 85 | 81 | 73 | 74 | 74 | 74 | 77 | 80 | 82 |
| 19 | 81 | 81 | 83 | 88 | 85 | 80 | 80 | 79 | 79 | 79 | 82 | 83 |
| 20 | 81 | 81 | 84 | 89 | 87 | 84 | 84 | 83 | 83 | 82 | 84 | 83 |
| 21 | 82 | 81 | 85 | 91 | 89 | 86 | 87 | 85 | 85 | 84 | 84 | 84 |
| 22 | 83 | 82 | 86 | 92 | 91 | 88 | 89 | 88 | 87 | 86 | 85 | 85 |
| 23 | 83 | 83 | 87 | 92 | 91 | 90 | 90 | 89 | 88 | 87 | 86 | 85 |
| 24 | 83 | 83 | 88 | 92 | 92 | 90 | 91 | 90 | 89 | 88 | 87 | 86 |

Tab. 3 : Relative Feuchtigkeit in Tabora (Tanganyika) in Stundenwerten im Mittel vom 23./24. Januar bis 31. Dezember 1911

| Monate: | I (Jan. z. T.) | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|--------------------------|----------------------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|
| Tages- stunden [h] | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 85 | 92 | 92 | 85 | 69 | 54 | 49 | 48 | 49 | 52 | 75 | 85 |
| 2 | 88 | 94 | 93 | 86 | 71 | 56 | 52 | 51 | 52 | 55 | 77 | 86 |
| 3 | 89 | 94 | 94 | 88 | 74 | 59 | 54 | 55 | 56 | 59 | 79 | 87 |
| 4 | 89 | 94 | 95 | 88 | 75 | 62 | 58 | 59 | 59 | 61 | 80 | 88 |
| 5 | 89 | 95 | 95 | 90 | 77 | 64 | 62 | 62 | 61 | 64 | 81 | 89 |
| 6 | 88 | 95 | 96 | 90 | 79 | 68 | 65 | 65 | 64 | 66 | 83 | 90 |
| 7 | 85 | 94 | 94 | 87 | 77 | 69 | 66 | 66 | 64 | 68 | 83 | 85 |
| 8 | 82 | 86 | 88 | 80 | 70 | 64 | 62 | 61 | 60 | 64 | 80 | 77 |
| 9 | 74 | 73 | 77 | 70 | 62 | 56 | 55 | 55 | 56 | 60 | 76 | 70 |
| 10 | 72 | 67 | 70 | 64 | 57 | 50 | 50 | 50 | 51 | 55 | 71 | 66 |
| 11 | 68 | 62 | 65 | 58 | 51 | 45 | 45 | 45 | 47 | 50 | 67 | 61 |
| 12 | 63 | 59 | 62 | 55 | 47 | 42 | 41 | 41 | 44 | 47 | 64 | 58 |
| 13 | 56 | 59 | 60 | 53 | 43 | 38 | 37 | 38 | 41 | 44 | 61 | 57 |
| 14 | 56 | 56 | 58 | 54 | 42 | 35 | 34 | 34 | 37 | 41 | 60 | 56 |
| 15 | 54 | 55 | 58 | 55 | 42 | 33 | 31 | 33 | 36 | 39 | 57 | 55 |
| 16 | 52 | 58 | 60 | 55 | 43 | 32 | 30 | 32 | 35 | 38 | 56 | 56 |
| 17 | 52 | 63 | 64 | 57 | 43 | 32 | 30 | 32 | 35 | 38 | 57 | 59 |
| 18 | 59 | 69 | 71 | 64 | 50 | 36 | 33 | 33 | 36 | 38 | 60 | 65 |
| 19 | 64 | 78 | 77 | 72 | 56 | 41 | 37 | 36 | 37 | 39 | 64 | 71 |
| 20 | 73 | 80 | 80 | 76 | 58 | 44 | 38 | 37 | 39 | 41 | 66 | 74 |
| 21 | 86 | 83 | 84 | 78 | 61 | 46 | 41 | 39 | 40 | 42 | 69 | 75 |
| 22 | 84 | 85 | 86 | 81 | 63 | 48 | 42 | 41 | 41 | 44 | 71 | 79 |
| 23 | 84 | 89 | 89 | 82 | 64 | 51 | 44 | 44 | 44 | 46 | 72 | 81 |
| 24 | 87 | 92 | 90 | 84 | 66 | 52 | 46 | 46 | 45 | 48 | 74 | 83 |

Tab. 4 : Relative Feuchtigkeit in Tandala (Tanganyika) in Stundenwerten im Mittel von Mai 1911 bis Dezember 1912

| Monate: | I (Jan.) | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|--------------------------|-------------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|
| Tages- stunden [h] | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 92 | 92 | 95 | 94 | 92 | 90 | 89 | 87 | 83 | 78 | 80 | 85 |
| 2 | 93 | 93 | 96 | 95 | 93 | 91 | 90 | 87 | 84 | 80 | 81 | 86 |
| 3 | 93 | 94 | 96 | 95 | 92 | 92 | 90 | 87 | 84 | 81 | 83 | 87 |
| 4 | 94 | 94 | 96 | 95 | 93 | 92 | 90 | 87 | 85 | 82 | 84 | 87 |
| 5 | 94 | 95 | 96 | 95 | 93 | 90 | 90 | 87 | 86 | 83 | 83 | 88 |
| 6 | 95 | 95 | 94 | 94 | 93 | 90 | 90 | 88 | 85 | 83 | 84 | 88 |
| 7 | 92 | 93 | 93 | 93 | 90 | 90 | 88 | 85 | 80 | 78 | 82 | 87 |
| 8 | 82 | 86 | 83 | 86 | 80 | 81 | 78 | 76 | 67 | 66 | 75 | 76 |
| 9 | 72 | 80 | 79 | 78 | 70 | 70 | 68 | 64 | 54 | 56 | 66 | 67 |
| 10 | 67 | 77 | 76 | 74 | 65 | 63 | 61 | 58 | 47 | 48 | 60 | 61 |
| 11 | 66 | 74 | 77 | 73 | 60 | 57 | 56 | 54 | 42 | 43 | 55 | 60 |
| 12 | 68 | 76 | 80 | 72 | 60 | 55 | 56 | 54 | 41 | 41 | 52 | 60 |
| 13 | 72 | 78 | 82 | 75 | 65 | 58 | 57 | 57 | 44 | 43 | 56 | 65 |
| 14 | 75 | 79 | 85 | 81 | 70 | 66 | 63 | 61 | 48 | 47 | 60 | 70 |
| 15 | 75 | 82 | 88 | 83 | 71 | 66 | 64 | 63 | 50 | 50 | 62 | 73 |
| 16 | 79 | 83 | 89 | 86 | 74 | 70 | 70 | 67 | 53 | 53 | 66 | 75 |
| 17 | 81 | 85 | 92 | 88 | 80 | 77 | 76 | 72 | 58 | 56 | 69 | 77 |
| 18 | 86 | 89 | 93 | 91 | 85 | 84 | 84 | 80 | 65 | 61 | 72 | 80 |
| 19 | 87 | 90 | 94 | 92 | 88 | 89 | 87 | 83 | 71 | 66 | 74 | 82 |
| 20 | 89 | 91 | 95 | 93 | 90 | 90 | 87 | 86 | 74 | 70 | 76 | 84 |
| 21 | 90 | 91 | 95 | 95 | 90 | 91 | 88 | 86 | 76 | 73 | 78 | 85 |
| 22 | 90 | 91 | 95 | 94 | 91 | 91 | 89 | 86 | 78 | 74 | 78 | 85 |
| 23 | 90 | 92 | 95 | 95 | 93 | 91 | 89 | 86 | 79 | 76 | 79 | 86 |
| 24 | 92 | 92 | 96 | 94 | 93 | 91 | 89 | 87 | 81 | 77 | 80 | 85 |

dem Einfluß des trockenen asiatischen NE-Monsuns zuzuschreiben ist (W. PAAP 1934). Die Mittags- und Nachttemperaturen zeigen einen sehr ähnlichen einfachen Jahresgang. In der Zeit des Tiefstandes der Sonne (Trockenzeit) bleiben die Mittagstemperaturen um 27–28° C. Sie steigen zur Zeit der beiden Sonnenhochstände auf fast 31° C. Der Schlüssel für den Jahresgang der Temperaturen liegt in den Bewölkungsverhältnissen. Der Anstieg der Mittagstemperaturen von Juli bis Dezember entspricht einem Anstieg der mittleren Sonnenscheindauer von 55 auf 90 %, die folgende Abnahme der Mittagstemperaturen bis Juli einer entsprechenden Abnahme der mittäglichen Sonnenscheindauer (Beilage V). Die viel stärkere nächtliche Abkühlung (auf 19,7°) im August gegenüber auf nur 26,2° im Januar (Jahresschwankung 6,5° C) ist eine Wirkung der stärkeren Ausstrahlung in der Trockenzeit.

Die mittleren Stundenwerte der relativen Feuchtigkeit schwanken in Daressalam im wärmsten Monat Januar um 12 %, im kühlfsten Monat Juli um 32 %, wobei die höchsten Werte in den Morgenstunden, die niedrigsten in den Mittagsstunden eintreten. Demgegenüber sind die Jahresschwankungen der Stundenwerte wesentlich geringer, um 9 % für die Nachtstunden, 15 % für die Mittagsstunde. Auch Daressalam ist als Tieflandstation permanent schwül. Aber im starken Gegensatz zu Tiko überwiegt der jahreszeitliche Gang der Schwüle den tageszeitlichen sehr deutlich. Der Gegensatz von Regenzeit und Trockenzeit macht sich, was die Schwüle betrifft, weniger durch die Unterschiede der Luftfeuchtigkeit als durch die der Temperaturen geltend. Im Tagesgang gleichen sich die Schwülewerte durch den entgegengesetzten Gang von Temperatur und Feuchtigkeit weitgehend aus. Die nächtliche Abkühlung bringt daher nur eine sehr geringe Verminderung der Schwüle mit sich, in den Monaten der Regenzeit (Dezember bis April) nur um 1,0–1,6 Schwülewerte, in den Trockenmonaten Juni bis November etwas mehr (1,7–2,1 Schwülewerte). Dagegen bedingt der Wechsel der Regen- und Trockenzeit einen mehrfach stärkeren Schwüleunterschied. In den Trockenmonaten des SE-Passats Juni bis September bleibt der Schwülewert ständig unter 4, im Minimum auf 1,9 (Juli vor Sonnenaufgang), in den Monaten der Regenzeit von Dezember bis April fast immer, auch am frühen Morgen, über 6. Sein Maximum erreicht er in den Nachmittagsstunden des März 7,7.

c) T a b o r a

Tabora, in ähnlicher Breite wie Daressalam, aber auf dem Zentralplateau von Unjamwesi in 1214 m Meereshöhe gelegen, hat einen noch ausgeprägteren Gegensatz von Regen- und Trockenzeit als Daressalam. Die Trockenzeit dauert von Mai bis Oktober, die Regenzeit von Oktober bis April hat zwei Niederschlagsmaxima im November und März mit einer

Abschwächung dazwischen im Januar–Februar (W. LAUER 1951). Der Temperaturgang folgt sehr stark dem sog. Indischen Typus, in dem es am Ende der winterlichen Trockenzeit mit dem Anstieg der Sonne zum Zenitstand (Oktober) zu einer maximalen Erwärmung bei Tag und Nacht kommt, worauf das Einsetzen der Niederschläge eine Herabdrückung der Mittagstemperaturen zur Folge hat. Wie bei vielen Tropenstationen, etwa im Sudan oder im Indischen Subkontinent, kommt es in Tabora mit dem Ende der Regenzeit im Mai zu einem nochmaligen Anstieg der Mittagstemperatur. Man kann sogar in der Zeit der Abschwächung des Regens im Januar auch einen geringen Rückgang der Mittagstemperaturen konstatieren. Tabora ist mit einer Jahresamplitude von 2,9° C noch ausgesprochen äquatorial, aber wegen seiner Lage auf dem Hochplateau sind die Tagesschwankungen der Temperatur höher als in Daressalam, in der Regenzeit 8–10°, in der Trockenzeit 11–14°.

Die Tagesschwankungen der relativen Feuchtigkeit sind hoch, sowohl in der Regenzeit als auch in der Trockenzeit, da in der Regenzeit sehr hohe Werte der Feuchte in den Nachtstunden, in der Trockenzeit sehr niedrige Werte in den Nachmittagsstunden (bis 30 %) erreicht werden. Die mittlere Tagesschwankung der Feuchtigkeit beträgt 38 % im regenreichsten Monat März, 34 % im Trockenmonat August. Ähnlich hoch sind infolge der ausgeprägten Trockenzeit auch die Jahresschwankungen der Stundenwerte der rel. Feuchte: 23 % für die Mittagsstunden, 53 % für Mitternacht.

Die Schwüle- und Behaglichkeitswerte sind in Tabora jahres- und tageszeitlich sehr interessant verteilt. Sechs Monate des Jahres, April bis September, auch noch fast ganz die Oktobertage, somit die ganze Trockenzeit sind schwülefrei. Permanent schwül sind nur die Monate Februar und (mit Ausnahme der Mittagsstunde) der März, also die Zeit, in der die Sonne im Zenit steht und die größere Regenzeit einsetzt. Die übrigen Monate November bis Januar sind teils schwül (vorwiegend die Mittags- und Abendstunden), teils behaglich (vorwiegend die Stunden der Nacht und des frühen Morgens). Im ganzen sind von den 288 mittleren Stundenwerten des Jahres in Tabora 91 schwül, 197 behaglich (vgl. Abb. 1). Wie bei Daressalam ist die Jahresschwankung der Schwületemperatur größer als die Tagesschwankung. Der Tagesgang der Schwülewerte beträgt im niederschlagsreichsten Monat März nur 1,5, im regenlosen Monat August 4,7, im heißesten Monat Oktober 5,9; demgegenüber die Jahresschwankung für die verschiedenen Tagesstunden 10–13 Werte. In den trockenen Monaten Juni, Juli und August bleibt die Feuchtwärme von Tabora ständig mit wenigstens 5 Werten auf der Behaglichkeitsseite. Die im Mittel schwülste Stunde des Jahres ist die Mittagsstunde des Januar, die am weitesten in den Behaglichkeits-

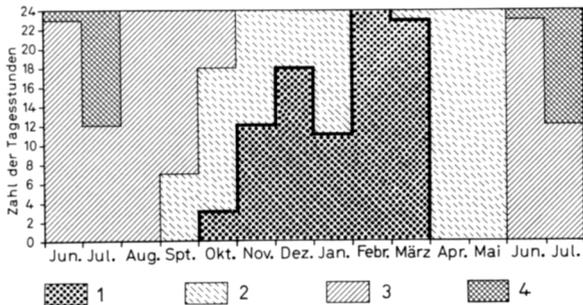


Abb. 1: Stundendauer von Schwüle und Behaglichkeit in den einzelnen Monaten des Jahres in Tabora (Tang.)
 1 Schwüle (0–3·7 Werte); 2 behaglich (0–4·9 Werte)
 3 behaglich (5–9·9 Werte); 4 behaglich (über 10 Werte)

bereich fallenden Stunden sind die frühen Abendstunden des Juli, mit 11–12 Werten diesseits der Schwülegrenze.

d) T a n d a l a

Für die Höhenregion ständiger Schwülfreiheit („Tierra fria“) standen die vollständigen Stundenwerte von Temperatur und Feuchte für Tandala zur Verfügung, einer ehemaligen Station der Berliner Mission in 2040 m im Livingstone-Gebirge hoch über dem Njassasee. Regen- und Trockenzeiten verteilen sich ähnlich wie in Tabora, aber die Niederschlagsmenge ist wegen der Meereshöhe wesentlich größer. Der Temperaturgang entspricht in reiner Form dem Indischen Typ mit steilem Anstieg der Tagestemperaturen am Ende der Trockenzeit (Oktober) und langsamem Absinken während der Regenzeit bis zum winterlichen Tiefstand der Sonne im Juni-Juli. Auch die morgendlichen Minimumtemperaturen folgen diesem Gang. Die Jahresschwankung der Temperatur ist, dem etwas größeren Äquatorabstand entsprechend, etwas größer als in Tabora, die Tagesschwankung wegen der topographischen Lage der Höhenstation etwas geringer. Da in Tandala keine Stunde des Jahres im Mittel die Schwülegrenze überschreitet, erübrigt sich eine genaue zahlenmäßige Analyse der Werte für die Feuchtwärme. Die Werte der Luftfeuchtigkeit sind entsprechend der Lage im Wolkengürtel der Tropen wesentlich höher als in Tabora, die Spannweite der „Behaglichkeitswerte“ beträgt nur 9,6 (1,7 am frühen Nachmittag des Hauptregenmonats März, 11,3 am Vormittag des trockenen Monats Juli).

Es wäre sehr zu wünschen, ähnliche Schwüledia-gramme für verschiedene Klimagebiete der Tropen und Subtropen zu erhalten. Erforderlich sind dazu aber mindestens einjährige, möglichst aber mehrjährige Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit aller 24 Stunden aller Monate des Jahres, die gewöhnlich nicht errechnet und in den Klimaübersichten daher nicht mitgeteilt werden. Im Zeitalter der mechanischen Datenverarbeitung dürfte ihre Feststellung aber keine übergroße Schwierigkeit bedeuten.

Literatur

- BERG, H., 1947: Einführung in die Bioklimatologie. Bonn 131 S.
- BERKÉ, TH. u. CASTENS, G., 1929: Zur Kenntnis der Temperatur und Feuchtigkeit der Schiffsluft. Ann. d. Hydrogr. u. Mar. Met., Bd. 57, S. 169 ff.
- BIDER, M. u. THAMS, J. C., 1950: Die Schwüle meteorologisch betrachtet. Verh. Schweiz. Naturf. Ges., Davos, Bd. 130.
- BLÜTHGEN, J., 1966: Allgemeine Klimageographie. 2. Aufl. Berlin, S. 119–125.
- BREZINA, E. u. SCHMIDT, W., 1937: Das künstliche Klima in der Umgebung des Menschen, Stuttgart.
- BÜTTNER, K., 1938: Physikalische Bioklimatologie. Probleme der kosmischen Physik, Bd. 18, Leipzig, 155 S.
- BUEFTNER, K. J. K., 1951: Physical Aspects of human Bioclimatology. In: Compendium of Meteorology, ed. B. TH. F. MALONE, Boston, S. 1112–1125.
- , 1962: Biometeorology, Pergamon.
- CASTENS, G., 1925: Über Tropenklimateologie, Tropenhygiene und den Lettow-Vorbeck-Feldzug. Ann. d. Hydrogr. u. Marit. Meteorol. Hamburg, Bd. 53, S. 177–187.
- Comptes Rendus du Congrès Int. de Géographie, Amsterdam, 1938, t. II, Trav. d. 1. Sect. III c: Géographie Coloniale, S. 1–364.
- DAMMANN, W., 1962: Die Schwüle als Klimafaktor. Jahrb. Techn. Hochsch. Hannover über 1960/62, S. 214 bis 222.
- , 1964: Die Schwüle als Klimafaktor. Ber. z. Dt. Landesdesk., Bd. 32, S. 100–114 (gleiche Arbeit wie 1962).
- , 1963: Die Schwüle als Klimafaktor im Heidelberger Raum. In: Heidelberg und die Rhein-Neckar-Lande, hrsg. v. G. PFEIFER, H. GRAUL u. H. OVERBECK. Heidelberg–München, S. 177–192.
- Deutsche überseeische meteorologische Beobachtungen, gesammelt u. herausgegeben v. d. Deutschen Seewarte, H. 10 (1901) bis H. 22 (1914), Hamburg.
- DIRKSEN, E., 1925: Beiträge zur Kenntnis der Schiffs-luft. Veröff. a. d. Gebiete des Marinesanitätswesens, H. 16.
- FLEISCHER, L., 1927: Studien zur Erkältungsfrage. Ztsch. f. Hygiene u. Infekt. Krankheiten, Bd. 107, H. 2.
- GREVE, W., 1928: Der Taupunkt. Meteorologische Monographie. Festschr. z. 50jährigen Bestehen des Real-gymnasiums etc. zu Wesermünde-Geestemünde.
- GRIFFITHS, J., 1966: Applied Climatology, London–New York–Toronto–Melbourne, 118 S.
- GROBER, J., HORN, H. und OBERDOERSTER, F., 1960: Gesundheitstaschenbuch für die warmen Länder, Berlin, VEB-Verl. Volk u. Gesundheit, 330 S.
- HERRMANN, H., 1959: Die Schwüle, eine vergleichende Untersuchung. Diss. Univ. Köln, Math.-Naturw. Fak., 76 S.
- HOUGHTON, F. C. a. YAGLOGLU (Yaglou), C. P., 1924: Cooling Effect on Human Beings produced by various Air Velocities. Transact. Am. Soc. Heat. Ventil. Engin., vol. 30, S. 193–212.
- KING, E., 1955: Ein empirisches Schwülemaß. Medizin.-Meteorolog. Hefte, Nr. 10.
- LANCASTER, A. V., 1898: De la manière d'utiliser les observations hygrométriques. V. Congr. Int. d'Hydrologie et Climatol., Liège.

- LANDSBERG, H. S., 1960: Bioclimatic Work in the Weather Bureau. Bull. Am. Meteorol. Soc., vol. 41, No. 4, S. 184–187.
- LAUER, W., 1951: Hygrische Klimate und Vegetationszonen der Tropen, mit bes. Berücksichtigung Ostafrikas. Erdkunde 5, 1951, S. 284–293.
- LEHMANN, H., 1956: Schwüleverteilung und Schwülewetterlagen in Deutschland. Sitz Ber. Ges. f. Beförd. d. gesamten Naturw. zu Marburg, 79. Bd., H. 1, 30 S.
- LEISTNER, W., 1951: Die hygienische und klimatische Bedeutung des Dampfdruckes in Innenräumen und die Behaglichkeits- und Schwülegrenze. Mediz.-Meteorol. Hefte, Nr. 6.
- , 1964: Die praktische Bedeutung eines geeigneten Schwülemaßes. Arch. f. Physikalische Therapie, 16. Jg., H. 3, Leipzig, S. 67 ff.
- MARNER, J., 1940: Die klimatischen Bedingungen für die Siedlung von Nordeuropäern in den Tropen, dargestellt am Beispiel von Deutsch-Ostafrika. Aus d. Arch. d. Dt. Seewarte u. d. Marineobservat., 60. Bd., Nr. 1, Hamburg, 70 S., 6 Kart.- u. Diagrammtafeln.
- MISSENARD, A., 1949: Klima und Lebensrythmus. Meisenheim, 208 S. (Neuausgabe von: Der Mensch und seine klimatische Umwelt. Stuttgart u. Berlin 1936).
- PAAP, W., 1934: Die Niederschlagsverhältnisse des Schutzgebietes Deutsch-Ostafrika. Aus d. Arch. d. Dt. Seewarte, Bd. 53, H. 3, Hamburg, 20 S., 16 Kartentaf.
- PAFFEN, K. H., 1959: Stellung und Bedeutung der physischen Anthropogeographie. Erdkunde, Bd. 13, S. 354 bis 372.
- RUGE, H., 1932: Das Verhalten der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit auf einem modernen Kreuzer in den Tropen. Ein Beitrag zur Frage der praktischen Brauchbarkeit von Schwülekurven. Veröff. a. d. Geb. d. Marine-Sanitätswesens, H. 22, Berlin, 101 S., 11 Taf.
- SCHARLAU, K., 1941: Schwüle und Behaglichkeit als Klimagrößen. Zt. f. Hygiene u. Infekt. Krankh., Bd. 123, S. 511–530.
- , 1942 (a): Bioklimatische Beobachtungen aus den Südrussischen Steppen. Arch. f. Hygiene, Bd. 128, S. 260 bis 280.
- , 1942 (b): Zur objektiven Beurteilung der Schwüle. Wärme- und Kältetechnik, Jg. 1942, S. 97–102.
- , 1943 (a): Schwülegrenze und raumklimatische Behaglichkeitsanforderungen. Ebenda. Jg. 1943, S. 43–44.
- , 1943 (b): Die Schwüle als meßbare Größe. Bioklimat. Beibl., Braunschweig, S. 19–23.
- , 1950: Zur Einführung eines Schwülemaßstabes und Abgrenzung von Schwülezonen durch Isohygromenen. Erdkunde, Bd. 4, S. 188–201.
- , 1952: Die Schwülezonen der Erde. Ber. d. Dt. Wetterd. in d. US-Zone, Nr. 42 (KNOCH-Heft). Bad Kissingen, S. 246–249, 1 Karte.
- SCHULZE, A., 1956 (a): Jahresmittel der thermischen Schwüle und Behaglichkeitswerte in °C – Mean Annual of Thermic Sultriness Values in °C. Afrika-Karte 1 : 20 Mill. In: Weltseuchen-Atlas – World Atlas of Epidemic Diseases, hrsg. von E. Rodenwaldt und H. J. Jusatz, Teil II, Hamburg, Nr. 77/C 11/VI.
- , 1956 (b): Der Jahresgang der Schwüle in Afrika. Geogr. Taschenbuch, hrsg. v. E. Meynen, Hg. 1956/57. Wiesbaden, S. 270–273.
- SEMMEHACK, W., 1942: Physiologische Klimakarte von Kamerun und den Nachbargebieten. Mitt. d. Gruppe Dt. Kolonialwirtsch. Unternehm., Bd. 5, Berlin, S. 1–60, 4 Taf.
- THOM, E. C., 1955: Measuring the Need for Air Conditioning. Air Cond., Heating, Ventilation, vol. 53, Aug. 1956.
- TROLL, C., 1943: Thermische Klimatypen der Erde. Pe-term. Georg. Mitt., S. 81–89, Taf. 13–14.
- , 1955: Der jahreszeitliche Ablauf des Naturgeschehens in den verschiedenen Klimagürteln der Erde. Stud. Gener., Jg. 8, S. 264–274.
- , 1964: Karte der Jahreszeitenklimate der Erde. Erdkunde, Bd. 18, S. 5–28.
- TROMP, S. W., 1962: Medical Biometeorology (Weather, Climate and the living Organism), Amsterdam.
- YAGLOU, C. P. a. MILLER, W. C., 1925: Effective Temperature with Cooling. Transact. Americ. Soc. Heat. Ventil. Engineers, vol. 31, S. 89–99.
- ZIMMERMANN, G., 1952 (a): Die Komponenten der Schwülehäufigkeit in Süddeutschland. Ber. d. Dt. Wetterd. i. d. US-Zone, Nr. 38 (Weickmann-Heft), Bad Kissingen, S. 278–281.
- , 1952 (b): Andauer und Tagesgang der Schwüle nach stündlichen Auswertungen in Potsdam. Ebenda, Nr. 42 (Knoch-Heft), S. 23–27.

GLAZIALMORPHOLOGISCHE PROBLEME IN DEN HOCHGEBIRGEN VORDERASIENS ¹⁾

Mit 6 Abbildungen und 8 Bildern

WENDELIN KLAER

Summary: Glacial morphological problems in the high mountains of the Middle East

On the basis of various observations in the mountains of subtropical latitudes in the Near East, the importance of climatic-genetic factors for the morphology of high

mountain ranges is discussed. It can be shown that, in summer-drought subtropical latitudes, 'radiation' is the climatic element which has the most influence on the morphological development of the highest mountain ranges. Radiation alone overwhelmingly and dominantly influences the total geomorphic process in 'nival' and 'subnival' mountain zones in a way undemonstrable in any other climatic zone. High radiation intensity forces 'nival' processes to operate at a height of more than 1500 m over the climatic snowline on south-facing slopes

¹⁾ Erweiterte Fassung eines Vortrages auf der Tagung der Deutschen Quartärvereinigung am 6. 8. 1968 in Biberach unter dem Titel: „Grundzüge der Quartärmorphologie von Hochgebirgen subtropischer Breiten“.

JAHRESZEITLICHE UND TAGESZEITLICHE VERTEILUNG VON TEMPERATUR UND SCHWÜLE BZW. BEHAGLICHKEIT BEI VIER AFRIKANISCHEN TROPENSTATIONEN

TIKO
4° 4' N 9° 22' Ö H: 15m

DARESSALAM
6° 49' S 39° 19' Ö H: 14m

TABORA
5° 3' S 32° 53' Ö H: 1214m

TANDALA
9° 23' S 34° 14' Ö H: 2040m

