

28. Schott, G., Geographie des Indischen und Stillen Ozeans, Hamburg 1935.
29. Wüst, G., Oberflächensalzgehalt, Verdunstung und Niederschlag auf dem Weltmeere nebst Bemerkungen zum Wasserhaushalt der Erde, Festschr. Norbert Krebs, Stuttgart 1936.
30. Wüst, G., Niederschlags- und Verdunstungsmessungen auf der Ostsee, 8. Hauptbericht, VI. Baltische Hydrologische Konferenz, 1938.
31. Hjort, M., The depth of the oceans, London 1912.
32. Marineobservatorium, Gezeiten, Gezeitenströme und Strömungen in der Straße von Gibraltar, Dienstschrift, Berlin etwa 1943.
33. Merz, A. / Möller, L., Hydrographische Untersuchungen in Bosporus und Dardanellen, Veröff. d. Inst. f. Meereskde., NF, Reihe A, Heft 18, Berlin 1928.
34. Merz, A., Die Strömungen des Bosporus, Bibliothek geogr. Handbücher, NF, Festband A. Penck, Stuttgart 1918.
35. Wüst, G., Salzgehalt und Wasserbewegung im Suezkanal, Die Naturwiss., Berlin 1934.
36. Oberkdo. der Kriegsmarine, Seehandbuch des Roten Meeres und Golf von Aden.
37. Schmidt, W., Strahlung und Verdunstung an freien Wasserflächen, ein Beitrag zum Wärmehaushalt und zum Wasserhaushalt der Erde, Ann. d. Hydr. Berlin 1915.
38. Wüst, G., Die Verdunstung auf dem Meere, Veröff. d. Inst. f. Meereskde. NF, Reihe A, Heft 6, Berlin 1920.
39. Wüst, G., Verdunstung und Niederschlag auf der Erde, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. No. 1—2, Berlin 1922.

PS. Während der Drucklegung der vorstehenden Spalten werden wir auf eine Ankündigung des von Horst Kracker gedrehten Atlantropa-Films in der „Film- und Mode-Revue“, Jg. 4, Nr. 21, Oktober 1950, aufmerksam gemacht, in der folgende Sätze über das Atlantropaprojekt H. Sörgels zu lesen sind: „Seit dieser Zeit“ (ge-

meint: 27 Jahre) „haben unzählige Wissenschaftler aus aller Welt sein Projekt geprüft und für durchführbar gefunden. Heute, im Zeitalter der drohenden Übervölkerung Europas, der Flüchtlingswanderungen und kritischen Welternährungslage, steht das gewaltige Projekt Herman Sörgels wieder mehr denn je im Vordergrund der Weltbetrachtung . . . Dieser Film der Geofilmproduktion München-Rosenheim-Kufstein ist in fünf verschiedenen Fassungen (deutsch, englisch, französisch, italienisch und spanisch) gedreht und wird nächstens in alle Welt hinausgehen . . . Kracker wählte die Orgel als musikalische Untermalung, weil er der Meinung war, daß sie dem immerhin noch etwas utopischen Projekt Atlantropa die entsprechende Stimmung und auch die nötige Wucht geben wird. Die Filmstelle der Marshall-Hilfe innerhalb der UNESCO in Paris interessiert sich lebhaft für den Film und wünscht ihn für die ganze Welt zu kaufen . . .“

Daß die allereinfachsten geographischen Grundvoraussetzungen des Atlantropaplanes von seinem Schöpfer und dessen Mitarbeitern trotz 27jähriger „Nachprüfungen“ nicht untersucht sind, wurde oben dargetan und erhellt aus weiteren, hier nicht mitgeteilten Unterlagen. Liegt bei dieser Sachlage nicht eine bedenkliche Vermengung von Utopie und Wissenschaft, eine Irreführung der Öffentlichkeit und eine Täuschung weiter in Not geratener, zwischen Furcht und Zukunftshoffnung lebender Menschen vor? Die Frage sei wenigstens an einen kleinen Kreis verantwortlicher Menschen gerichtet. Der Herausgeber.

ZUR EINFÜHRUNG EINES SCHWÜLEMASSE-STABES UND ABGRENZUNG VON SCHWÜLEZONEN DURCH ISOHYGROTHERMEN

K. Scharlau

Mit 7 Abbildungen

Feuchtwarme Umgebungsluft ruft bekanntlich das Gefühl der Schwüle, der „Treibhausatmosphäre“, hervor, d. h. jenen Zustand, der sich allgemein in einer Minderung des Wohlbefindens und in einer Herabsetzung der Leistungsintensität des Menschen äußert. Wie jede Äußerung menschlichen Empfindens, ist auch das Schwülegefühl subjektiv verschieden und individuellen Schwankungen unterworfen. Eine Reihe experimenteller klimaphysiologischer Untersuchungen hat jedoch ergeben, daß es durchaus möglich ist, das Auftreten und Zustandekommen des Schwülegefühls auf Grund erfahrungsgemäßer Normen einer objektiven wissenschaftlichen Betrachtung zu unterziehen, ohne daß es dabei allerdings zunächst mög-

lich gewesen wäre, die Intensität der Schwüle exakt durch Maß und Zahl auszudrücken. In diese Richtung zielende Bemühungen sind aber, falls sie zu allgemein brauchbaren Ergebnissen führen, zweifellos für die verschiedensten Fachgebiete in Wissenschaft und Technik von nicht unerheblicher Bedeutung. Handelt es sich dabei für den Techniker und Hygieniker vornehmlich um die Gewinnung eines zahlenmäßigen Ausdrucks zur Beurteilung der Beschaffenheit des künstlichen Klimas in Wohnungen und Arbeitsstätten, so sucht der Physiologe sowohl die Einflüsse des Raumklimas als auch die Einwirkungen bestimmter Wetterlagen auf den gesunden und kranken Menschen zu erfassen. Hier berührt sich sein Forschungsgebiet

eng mit dem des Klimatologen und Geographen. Steht in der Technik die Aufstellung eines arbeitsklimatisch bedingten Leistungsmaßstabes im Vordergrund und sucht die Medizin in erster Linie die von den klimatischen Umweltbedingungen ausgelösten Reaktionen des menschlichen Organismus zu erfassen, so fragt der Geograph im Sinne seiner spezifischen Betrachtungsweise nach den Räumen, wo sich solche klimatischen Verhältnisse von Natur aus finden und wie sie zu umgrenzen sind. Allen diesen verschiedenen Fragestellungen gemeinsam ist jedoch die Auffindung eines objektiven Größenmaßstabes für die bioklimatische, d. h. richtiger anthropoklimatische Beurteilung des Schwülegefühls. Denn diesbezügliche Versuche — wenn auch nicht abgeschlossen und nur zur Klärung der Problemlage dienend — haben ergeben, daß die hygrothermischen Umweltbedingungen zwar für die gesamte Lebewelt von grundlegender Bedeutung sind, daß sie aber keineswegs einen einheitlichen „bio“-klimatischen Faktor darstellen. Ihre jeweilige Wirkungsweise ist vielmehr, wie es von Uexküll im Sinne seiner biologischen Umweltlehre ausgedrückt haben würde, „kontrapunktlich“ zu jeder einzelnen biologischen Spezies „komponiert“, d. h. aber, daß die Beurteilung der hygrothermischen Verhaltensweisen für die verschiedenen Lebewesen von Fall zu Fall einen anderen Maßstab erfordert. Ja, selbst für den Menschen gibt es nicht einmal einen allgemein zutreffenden Schwülemaßstab, wie dies in entsprechender Weise auch Sapper¹⁾ in bezug auf die verschiedene Akklimatisationsfähigkeit von Nord- und Südeuropäern gezeigt hat. Die folgenden Ausführungen gelten daher — was von vornherein grundsätzlich betont werden muß — nur für Menschen unserer Breiten.

1. Die physiologische Wirkung feuchtwarmer Umgebungsluft²⁾

Die physiologische Wirkung der Luftfeuchte ist, wie dies in erster Linie die diesbezüglichen Versuche von Rubner bewiesen haben, je nach den Temperaturgraden der Luft eine völlig verschiedene und unter extremen Verhältnissen sogar eine absolut entgegengesetzte. Bei niedrigen Temperaturen wird feuchte Luft kühler empfunden als gleichtemperierte Luft von geringerem Feuchtegehalt, während mit zunehmenden Lufttemperaturen

— etwa von 12 bis 14 C° aufwärts — feuchte Luft entsprechend höhere Wärmeempfindungen hervorruft, die sich dann in steigendem Maße als unangenehm und drückend sowie jede Energie lähmend bemerkbar machen, eben in jenem Zustand, den man als Schwüle bezeichnet. Vom physiologischen Standpunkt aus liegt die Ursache für das Zustandekommen des Schwülegefühls in einer Herabsetzung der notwendigen Entwärmung des menschlichen Körpers, also in einer Störung der chemischen und physikalischen Wärmeregulation, durch die sich der menschliche Organismus den Veränderungen in seiner klimatischen Umwelt anzupassen vermag. Während die Reaktion auf niedrige Lufttemperaturen neben einer Erhöhung der Wärmeproduktion durch chemische und physikalische Prozesse, vor allem durch eine Wärmeersparnis gekennzeichnet ist, reagiert der menschliche Organismus auf steigende Wärmegrade in seiner Umgebungsluft mit fast ausschließlicher Betätigung der physikalischen Wärmeregulation und möglichst weitgehender Wärmeabgabe. Die notwendige Wärmeabgabe wird in unterschiedlichem Ausmaß durch Leitung, Strahlung und Verdunstung gewährleistet. Im Bereich mittlerer Temperaturen sind Leitung und Strahlung hierfür die wichtigsten Faktoren, während mit zunehmenden Lufttemperaturen der Hauptanteil des erforderlichen Wärmeentzugs immer mehr und schließlich allein von der Verdunstung geleistet wird. Normalerweise verliert der unbedeckte Mensch in unserem gemäßigten Klima 80 % seiner überschüssigen Wärme durch den sog. „trockenen“ Wärmeverlust, und nur die restlichen 20 % werden durch den sog. „nassen“ Wärmeverlust abgeführt. Sobald die Außentemperatur die mittlere Körperwärme von rd. 37 C° erreicht bzw. überstiegen hat, kann aber durch Leitung und Strahlung überhaupt keine Wärmeabfuhr mehr erfolgen, da nunmehr dem menschlichen Körper durch Strahlung aus seiner Umgebung zusätzlich Wärme zugeführt wird. Somit ist nach Überschreiten der oberen Temperaturgrenze von 37 C° einmal die mögliche Wärmeabgabe des menschlichen Körpers auf ein Mindestmaß reduziert und weiterhin die Verdunstung zum ausschlaggebenden Regulator der physiologischen Anpassungsmöglichkeit geworden.

Dabei handelt es sich aber nicht um die Verdunstung schlechthin, sondern genauer gesagt um die unterschiedliche Verdunstungshöhe. Obwohl die Wassermenge, die dem menschlichen Körper zur Wärmeregulation auszuschcheiden überhaupt möglich ist, unmittelbar von dem jeweiligen Feuchtegehalt seiner Umgebungsluft abhängt, läßt sie sich jedoch in physiologischer Hinsicht nicht als einfache proportionale Funktion des gerade

¹⁾ K. Sapper, Über die Grenzen der Akklimatisationsfähigkeit des Menschen. Geogr. Zs. 1932, S. 385 ff. — Ders. Akklimatisation und Rasse. Zs. f. Rassenkunde, Bd. 3, 1936, S. 225 ff. — Ders. Über die Möglichkeit der Besiedlung der Tropen durch die weiße Rasse. Comptes rendus du Congrès intern. de Géographie, Amsterdam, 1938.

²⁾ Aus dem umfangreichen medizin. Schrifttum über diese Fragen vgl. z. B. F. Linke, Hdb. d. norm. u. patholog. Physiologie, Bd. 17, 1926.

herrschenden Sättigungsdefizits, wodurch der physikalischen Standpunkt aus größtmäßig die Aufnahmefähigkeit der Luft für zusätzliche Wasserdampfmengen ausgedrückt wird, auffassen. Denn wäre dies tatsächlich der Fall, so müßte der menschliche Körper, wie man es in einem treffenden Vergleich gesagt hat, „wie ein im warmen Luftstrom hängendes feuchtes Tuch“ trocknen, während er aber im Gegenteil vielmehr darauf bedacht ist, seinen Wasserbestand, von dem ja seine ganze Existenz abhängt, nicht erst bis zur Schädigungsgrenze absinken zu lassen. Die Wasserausscheidung des menschlichen Körpers dient seiner Wärmeregulation und ist mit dieser funktionell gekoppelt, wobei in klimaphysiologischer Hinsicht die wichtige Tatsache resultiert, daß der menschliche Organismus in feuchter Luft weniger Wärme abgeben kann als in trockener und daß daher seine regulatorische Wärmesteuerung durch hohe Außentemperaturen in Verbindung mit großer Luftfeuchte auf ein Mindestmaß beschränkt wird.

Hohe Feuchtwärme ist daher für den Menschen eine schwere Belastung. Die Folgen sind Wärmestauung und Minderung des allgemeinen Wohlbefindens; bei intensiver Einwirkung tritt schließlich Hitzschlag ein. Das Einsetzen des Schwülegefühls bildet dabei gleichsam das Warnsignal für das Auftreten von Störungen in der regulatorischen Anpassungsfähigkeit des menschlichen Organismus an die hygrothermischen Zustandsänderungen in seiner klimatischen Umwelt.

Rein theoretisch könnte man zwar folgern, daß die relative Luftfeuchte bzw. das Sättigungsdefizit ein brauchbarer Ausdruck und Maßstab für derartige physiologisch bedeutsame Auswirkungen sein könnten. In dieser allgemeinen Fassung ist dieser Gedanke doch nicht verwertbar. *Conrad*³⁾ hat daher vom klimaphysiologischen Standpunkt aus die Zusammenhänge zwischen der sog. „physiologischen Sättigungsfehle“, d. h. der Differenz zwischen der unter Zugrundelegung der mittleren Bluttemperatur von 37 C° auf dem Wege durch die Lunge als Höchstbetrag ausscheidbaren Wassermenge (47,1 mm Hg) und den in der Außenluft jeweils vorhandenen Wasserdampfmengen, und dem Auftreten des Schwülegefühls zur Diskussion gestellt. Dabei hat sich nun gezeigt, daß bei steigenden Lufttemperaturen und gleichbleibender relativer Feuchte die Wasserabgabe durch die Lunge immer mehr abnimmt, daß also diese Art der Wärmeabgabe für den menschlichen Organismus bei höheren Temperaturen nicht die entscheidende Rolle spielt. Der wichtigste Faktor ist in dieser Hinsicht vielmehr die Wasserverdunstung

³⁾ V. Conrad, Die klimatologischen Elemente und ihre Abhängigkeit von terrestrischen Einflüssen. In *Köppen-Geiger*, Hdb. d. Klimatologie, I, B, Berlin 1936, S. 347.

durch das Hautorgan und die damit im Zusammenhang stehende Tätigkeit der Schweißdrüsen. Aber auch hierfür lassen sich keine befriedigenden ursächlichen Beziehungen zur relativen Feuchte herstellen, wenigstens nicht dergestalt, daß die Luftfeuchte bei entsprechend variierenden Temperaturen einen irgendwie festgelegten Wert von RF% nicht überschreiten dürfe. Das einzige, was man in dieser Hinsicht lediglich feststellen kann, ist, wenn die Lufttemperatur den Wert der durchschnittlichen Blutwärme von 37 C° erreicht hat und dabei die Luftfeuchte gleichzeitig 100% beträgt, daß dann dem menschlichen Organismus keinerlei Wärmeabgabe mehr möglich ist. Derart extreme Verhältnisse sind jedoch für die hier interessierenden Fragen ohne jeden Belang.

Der maßgebliche physikalische Faktor muß daher ein anderer sein. Die Verdunstungshöhe, deren Herabsetzung hinsichtlich der klimatischen Anpassungsfähigkeit des menschlichen Organismus sowohl das Ausmaß seiner geminderten Wärmeabfuhr als auch das hierdurch ausgelöste Schwülegefühl verursacht, ist eine Funktion des Dampfdrucks, so daß man in physiologischer Hinsicht erwarten darf, daß nun dieser klimatische Faktor, und zwar als absolute Größe und nicht als relative Vergleichszahl zwischen praktisch vorhandenem und theoretisch möglichem Dampfdruck, die wirksame Größe sein wird.

2. Schwülegrenze

Die Richtigkeit dieser zunächst rein deduktiv abgeleiteten ursächlichen Zusammenhänge zwischen dem Auftreten des Schwülegefühls und der Höhe des Dampfdrucks als maßgeblichem Faktor der Verdunstung haben auf folgende Weise ihre volle Bestätigung erfahren⁴⁾.

Es ist seit langem bekannt, daß das Einsetzen des Schwülegefühls in erster Linie, und soweit für unsere Fragestellung bedeutsam, auf das gleichzeitige Zusammenwirken von ganz bestimmten Temperatur- und Feuchtegraden zurückzuführen ist, und man hat sich verschiedentlich bemüht, zusammenfassende Ausdrücke für diese anthropoklimatisch bedeutsame Kopplung jener beiden Klimatelemente zu finden sowie ihre für das Auftreten des Schwülegefühls charakteristischen Höchstwerte in Gestalt von Grenzlinien darzustellen, die den menschlichen Behaglichkeits- und

⁴⁾ Vgl. folgende Arbeiten des Verfassers: Schwüle und Behaglichkeit als Klimagrößen. Zs. f. Hygiene usw., Bd. 123, 1941, S. 511 ff. — Zur objektiven Beurteilung der Schwüle. Wärme- u. Kältetechnik, 1942, S. 97 ff. — Schwülegrenze und raumklimatische Behaglichkeitsanforderungen. Wärme- u. Kältetechnik, 1943, S. 43 f. — Die Schwüle als meßbare Größe. Bioklimat. Beibl., 1943, S. 19 ff.

Schwülebereich voneinander trennen⁵⁾. Unter Verwertung der von Lancaster⁶⁾ experimentell gewonnenen Grenzwerte und auf Grund ausgedehnter eigener, während eines mehr als zwölfjährigen Tropenaufenthaltes gesammelter Erfahrungen hat Castens⁷⁾ eine Schwülegrenze entworfen, deren Brauchbarkeit dann Ruge⁸⁾ auf einer Afrika-Südamerikareise des Kreuzers „Karlsruhe“ an über fünfhundert gesunden jungen Männern erprobt hat. Ihre Brauchbarkeit für klimatographische Zwecke hat sich durch die Arbeiten von Marner⁹⁾ und Semmelhack¹⁰⁾ herausgestellt, zu denen ich noch meine eigenen Ergebnisse¹¹⁾ hinzufügen darf. Die sog. „Lancaster-Castens-Kurve“ darf daher wohl mit Recht den Anspruch erheben, auf Grund ihrer vielfachen und verschiedenartigen Erprobung und Bewährung als die z. Z. am besten begründete Schwülegrenze bezeichnet zu werden. Dabei darf natürlich nicht außer acht gelassen werden, daß diese Schwülegrenze nur unter der Voraussetzung „normaler“ klimatischer Reaktionen als eine mathematische Linie aufgefaßt werden kann, die sich in Wirklichkeit entsprechend den individuellen menschlichen Verschiedenheiten in eine mehr oder minder breite „Grenzzone“ ausdehnen wird, wodurch dann zwischen dem Behaglichkeits- und Schwülebereich ein Übergang vermittelt wird¹²⁾.

Betrachtet man nun diesen Kurvenzug in seiner üblichen Darstellung im Koordinatennetz von Temperatur und relativer Feuchte, so muß dabei doch der Gedanke auftauchen, ob dieser ausgeglichene Kurvenverlauf nicht auf einer rechnerisch

erfaßbaren physikalischen Gesetzmäßigkeit beruht, mit deren Feststellung dann die erforderliche Grundlage für die exakte Erfassung und Berechnung der Schwüle gewonnen wäre. Mit diesem Problem hat sich schon Ruge¹³⁾ befaßt. Er ging

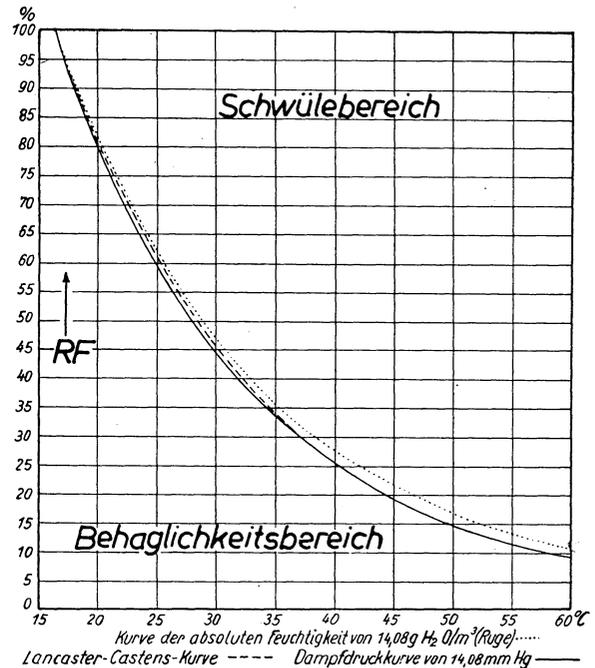


Abb. 1: Verlauf der Schwülegrenze von Lancaster-Castens und Ruge sowie der Dampfdruckkurve von 14,08 mm Hg.

zur rechnerischen Festlegung der Lancaster-Castens-Kurve von ihrem Endpunkt aus, der durch 16,5 C° und 100 % RF festgelegt ist, was einem Wasserdampfgehalt der Luft von 14,08 g H₂O m³ entspricht, und setzte voraus, daß in der menschlichen Umgebungsluft diese Wassermenge auch bei steigenden Temperaturen konstant bleiben müsse, damit die Wasserabgabe und folglich die Entwärmung des menschlichen Körpers sich störungsfrei vollziehen könne, ohne das Gefühl der Schwüle hervorzurufen. Das Ergebnis war eine außerordentlich befriedigende Übereinstimmung zwischen der experimentell aufgestellten Lancaster-Castens-Schwülegrenze und der von Ruge berechneten Kurve der absoluten Feuchte von 14,08 g H₂O m³. Was nun die Berechnung der Schwüle betrifft, so benutzte Ruge¹⁴⁾ hierfür den Inhalt der rechtwinkligen Dreiecke, die man erhält, wenn man einen im Schwülebereich gelegenen Punkt mit dieser Kurve durch Parallelen zur Abszisse und Ordinate, wodurch größtenteils die Überschreitung der Grenzwerte von Temperatur

⁵⁾ Vgl. die Zusammenstellung verschiedener Schwülegrenzen bei K. Büttner, Physikalische Bioklimatologie, Lpz. 1938, S. 124.

⁶⁾ A. Lancaster, De la manière d'utiliser les observations hygrométriques. V. Congr. intern. d'Hydrologie, Climatologie. Liège 1898. Vgl. J. Hann, Hdb. d. Klimatologie, Bd. I, 1911, S. 48.

⁷⁾ G. Castens, Über Tropenklimateologie, Tropenhygiene und den Lettow-Feldzug. Ann. Hydrographie usw., 1925, S. 177 ff.

⁸⁾ H. Ruge, Das Verhalten der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit auf einem modernen Kreuzer in den Tropen. Ein Beitrag zur praktischen Brauchbarkeit von Schwülekurven. Veröff. a. d. Geb. d. Marine-Sanitätswesens. H. 22, 1932.

⁹⁾ J. Marner, Die klimatischen Bedingungen für die Siedlung von Nordeuropäern in den Tropen. Dargestellt am Beispiel von Deutsch-Ostafrika. Archiv d. Dtsch. Seewarte. Bd. 60, 1. 1940.

¹⁰⁾ W. Semmelhack, Physiologische Klimakarte von Kamerun und den Nachbargebieten. Sonderdr. aus: Mitt. d. Gruppe dtsh. kolonialwirtschaftl. Untersuchungen. Bd. 5, Bln. 1942.

¹¹⁾ Bioklimatische Beobachtungen aus den südrussischen Steppen. Arch. f. Hygiene. Bd. 128, 1942, S. 260 ff. — Neue bioklimatische Apparate und Erfahrungen mit ihnen in Südrußland. Sitzungsber. d. 2. Arbeitstagung Ost d. Berat. Ärzte, 1943.

¹²⁾ Diesen Charakter der Schwülegrenze betont auch J. Marner, Deutsch-Ostafrika, 1940, S. 13.

¹³⁾ H. Ruge, 1932, S. 10 ff.

¹⁴⁾ H. Ruge, 1932, S. 47 f.

und relativer Feuchte angegeben ist¹⁵⁾, verbindet. Die „Schwüleeinheiten“ von Ruge werden also durch das halbe Produkt des horizontalen und des vertikalen Abstandes eines Schwülepunktes gebildet, wobei zur rechnerischen Vereinfachung die Schwülegrenze selbst als Gerade angesprochen wird. Hinsichtlich der praktischen Verwertung erklärt Semmelhack¹⁶⁾, daß die Schwüleeinheiten nach Ruge zu große Werte ergeben und daß selbst noch „ $1/10$ Ruge“ reichlich groß erscheine und daß vor allem durch diese zahlenmäßige Ausdrucksform nicht die charakteristischen Empfindungen, die sich bei der Überschreitung der Schwülegrenze einstellen, wiedergegeben werden. Diese berechtigten Einwände machen es wohl auch verständlich, daß die Schwüleberechnungen von Ruge nicht weiter aufgegriffen worden sind.

Bei dieser Problemlage setzten dann meine eigenen Arbeiten ein. Während Ruge auf Grund seiner eben mitgeteilten rechnerischen Festlegung der Schwülegrenze zu dem Ergebnis gekommen war, daß aus der weitgehenden Übereinstimmung seiner Kurve von 14,08 g H₂O m³ mit der Schwülegrenze von Lancaster-Castens zu folgern sei, daß in physikalischer Hinsicht die absolute Feuchte der entscheidende Faktor sowohl für das Zustandekommen als dann auch für die Beurteilung des Schwülegefühls sei, legte ich meinen analogen Berechnungen einen konstanten Dampfdruck von 14,08 mm Hg zugrunde, dabei von der Überlegung ausgehend, daß die Schwüle, wie bereits gesagt, die Folge einer eingeschränkten Verdunstung und daß für diese der Dampfdruck die maßgebliche physikalische Größe sei. Obwohl Dampfdruck und absolute Feuchte numerisch nur unerheblich voneinander abweichen, war letztlich die rechnerisch von mir festgelegte Schwülegrenze (vgl. Abb. 1) nahezu restlos mit der Lancaster-Castens-Kurve identisch. Diese Übereinstimmung kann wohl kaum auf einem Zufall beruhen, sondern muß vielmehr einem gesetzmäßigen physikalischen Zusammenhang entsprechen, wonach der Dampfdruck von 14,08 mm Hg bei der regulatorischen Wärmesteuerung des menschlichen Organismus eine physiologisch bedeutsame Konstante darstellt. Die geringfügigen und lediglich auf das mittlere Kurvenstück beschränkten Abweichungen sind wahrscheinlich auf die Schwankungsbreite der subjektiven Schwüleempfindungen der Versuchspersonen, bzw. auf abgerundete experimen-

telle Werte zurückzuführen, so daß die Dampfdruckkurve von 14,08 mm Hg als berichtigte Lancaster-Castens-Kurve bezeichnet werden kann.

3. Schwülemaßstab

Für die Ableitung eines allgemein brauchbaren Schwülemaßstabes ist eine von der bisher üblichen Art abweichende Darstellung der Schwülegrenze erforderlich. Als Abszisse des Koordinatensystems wird wie bislang die Temperaturskala beibehalten, während als Ordinate an Stelle der relativen Feuchte die Werte des Dampfdrucks benutzt werden. In diesem Koordinatensystem bildet dann die Schwülegrenze gemäß ihrer Ableitung als Funktion eines konstanten Dampfdrucks eine parallel zur Abszisse im Ordinatenabstand von 14,08 mm Hg verlaufende Gerade. Der Schwülebereich befindet sich dann oberhalb und der Behaglichkeitsbereich unterhalb dieser Linie. Trägt man in diese Zeichnung weiterhin die Kurvenschar für die Prozentwerte der relativen Feuchte ein, so entsprechen im einzelnen ihre Schnittpunkte mit der Schwülelinie, in Abszissenabständen gemessen, den ihnen jeweils zugeordneten Schwületemperaturen, den sog. „Grenztemperaturen“.

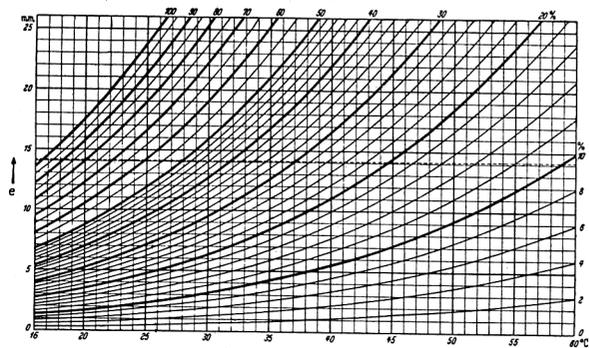


Abb. 2: Kurvenbild zur Bestimmung des Schwülewertes.

Folgende Tabelle enthält die Zusammenstellung der koordinierten Werte von relativer Feuchte und Temperatur an der Schwülegrenze.

Relative Feuchte und Grenztemperaturen an der Schwülegrenze			
RF% tgC°	RF% tgC°	RF% tgC°	RF% tgC°
100 16,50	75 21,11	50 27,88	25 40,33
99 16,66	74 21,33	49 28,22	24 41,10
98 16,82	73 21,55	48 28,58	23 41,91
97 16,99	72 21,77	47 28,95	22 42,75
96 17,15	71 22,00	46 29,32	21 43,65
95 17,31	70 22,23	45 29,70	20 44,59
94 17,48	69 22,47	44 30,09	19 45,59
93 17,64	68 22,71	43 30,49	18 46,65
92 17,81	67 22,95	42 30,90	17 47,78
91 17,98	66 23,20	41 31,32	16 48,98

¹⁵⁾ Diese Differenz hat auch J. Marner, Deutsch-Ostafrika, 1940, S. 14, für einen speziellen Fall, vermutlich graphisch, berechnet, ohne jedoch weitere Auswertungen daran zu knüpfen.

¹⁶⁾ W. Semmelhack, Die Staubfälle im nordwest-afrikanischen Gebiet des Atlantischen Ozeans. Ann. Hydrographie usw., 1934, S. 277, Ann. 3.

RF % tgC°	RF % tgC°	RF % tgC°	RF % tgC°
90 18,16	65 23,45	40 31,76	15 50,28
89 18,34	64 23,71	39 32,21	14 51,69
88 18,52	63 23,97	38 32,67	13 53,22
87 18,70	62 24,24	37 33,15	12 54,88
86 18,89	61 24,51	36 33,64	11 56,71
85 19,08	60 24,79	35 34,14	10 58,73
84 19,27	59 25,07	34 34,66	9 61,00
83 19,46	58 25,36	33 35,20	8 63,59
82 19,66	57 25,65	32 35,76	7 66,57
81 19,86	56 25,95	31 36,34	6 70,10
80 20,06	55 26,25	30 36,94	5 74,38
79 20,26	54 26,56	29 37,57	
78 20,47	53 26,88	28 38,22	
77 20,68	52 27,21	27 38,89	
76 20,89	51 27,54	26 39,59	

Die Tabelle gibt für jeden Prozentwert der relativen Feuchte die ihr funktionsmäßig entsprechende Grenztemperatur (t_g) an, d. h. jene Temperatur, die bei den ihr zugeordneten Werten von RF% nicht überschritten werden darf, wenn der hygrothermische Zustand des Behaglichkeitsbereiches gewahrt bleiben soll. Übersteigt jedoch die Lufttemperatur (t) den einem bestimmten Feuchtwert zugehörigen Wert der Grenztemperatur, so ist die Temperaturdifferenz (t_d) der in C° gemessene Schwülewert. In derartigen Fällen ergibt also die Temperaturdifferenz ($t_d = t_g - t$) negative Werte, da $t > t_g$ ist. Positive Werte, die dadurch zustande kommen, daß $t < t_g$ ist, sind dagegen der zahlenmäßige Ausdruck eines Behaglichkeitsempfindens.

Ebenso wie die Temperaturdifferenz kann natürlich nun auch die Feuchtedifferenz als Schwülewert benutzt werden. In der folgenden Tabelle sind deshalb die den einzelnen Temperaturgraden an der Schwülegrenze entsprechenden Grenzwerte von RF% angegeben, die dabei nicht auf ganze Zahlen abgerundet worden sind, obwohl für die Praxis die Angabe der Dezimalstellen keine große Bedeutung hat.

Tabelle zur Bestimmung der Feuchtedifferenz

t° C	RF%	t° C	RF%	t° C	RF%
16,5	100,00	31	41,77	46	18,61
17,0	96,90	32	39,47	47	17,68
18	90,96	33	37,31	48	18,81
19	85,44	34	35,28	49	15,99
20	80,27	35	33,37	50	15,22
21	75,46	36	31,58	51	14,49
22	71,00	37	29,91	52	13,79
23	66,82	38	28,32	53	13,13
24	62,91	39	26,84	54	12,52
25	59,26	40	25,44	55	11,92
26	55,83	41	24,13	56	11,37
27	52,64	42	22,89	57	10,85
28	49,65	43	21,72	58	10,35
29	46,86	44	20,62	59	9,87
30	44,23	45	19,58	60	9,42

Rechnerisch wird die Feuchtedifferenz (e_d) analog der Berechnung von t_d durch Subtraktion des beobachteten, bzw. aus den Werten von RF% umgerechneten Dampfdrucks (e) von seinem Schwüle-

grenzwert (e_d) nach der Formel $e_d = e_g - e$ ermittelt, wobei e_g die Konstante von 14,08 mm Hg ist. Schwülewerte liegen dann vor, wenn $e > e_g$ ist. Beide Werte, Temperatur- und Feuchtedifferenz, lassen sich nun auch mit hinreichender Genauigkeit mittels des „Kurvenbildes zur Bestimmung des Schwülewertes“, das hinsichtlich seiner Konstruktion schon beschrieben wurde, graphisch bestimmen (Abb. 2). Man stellt zunächst im Koordinatennetz des Kurvenbildes, und zwar als Schnittpunkt von Temperatur und relativer Feuchte, beispielsweise von 30 C° und 60% RF, die Lage eines bekannten hygrothermischen Wertepaares fest. Den gesuchten Schwülewert erhält man, indem man durch den Schnittpunkt der RF%-Kurve mit der Schwülegrenze die zur Berechnung erforderliche Grenztemperatur ermittelt; in dem gewählten Beispiel ungefähr 24,8 C°, wonach sich nach der angegebenen Formel ein Schwülewert von - 5,2 C° ergibt. Um die entsprechende Feuchtedifferenz auf die gleiche Weise zu bestimmen, entnimmt man dem Kurvenbild für den genannten Schnittpunkt den Dampfdruckwert von $e = 19,2$ mm Hg, was einer Schwüle von $e = - 5,12$ entspricht.

Wie in diesem willkürlich gewählten Beispiel, so ergibt sich nun durch eine Auswertung des umfangreichen Beobachtungsmaterials tropischer Stationen ganz allgemein, daß sich die jeweils entsprechenden Temperatur- und Feuchtigkeitsdifferenzen ihrer Größe nach immer nur ganz unerheblich voneinander unterscheiden, eine an sich nicht weiter überraschende Tatsache, wenn man das Kurvenbild näher betrachtet und dabei feststellt, daß durch die für die Berechnung von t_d und e_d benutzten Koordinatenabschnitte mit den zugehörigen Teilstücken der verschiedenen RF%-Kurven stets annähernd gleichschenklige recht-eckige Dreiecke gebildet werden. Bezüglich der Bildung des Schwülemaßstabes ist diese Feststellung jedoch außerordentlich wichtig, besagt sie doch, daß es für praktische klimatologische Zwecke völlig ausreichend ist, zur größenmäßigen Kennzeichnung der Schwüleverhältnisse eines feucht-warmen Luftkörpers entweder nur die Temperatur- bzw. lediglich die Feuchtedifferenz zu verwenden. Ich habe vorgeschlagen, hierfür die Temperaturdifferenz zu wählen, und zwar in erster Linie aus physioklimatischen Gründen. Der „thermische Schwülewert“, wie ich ihn nennen möchte, entspricht am besten den erfahrungsgemäßen Schwüleempfindungen, da die Wärme das am unmittelbarsten wahrgenommene Klimaelement darstellt, während der Mensch im Gegensatz hierzu für den jeweils herrschenden Grad der Luftfeuchte kein auch nur annähernd ausgeprägtes Empfinden besitzt; außerdem sind ja auch Störungen im Wärmeregulationsvermögen des menschlichen Organismus die Ursache für das Aufkommen des Schwülegefühls. Aber auch ein rein praktischer Gesichtspunkt ist von nicht unerheblicher Bedeutung. Für Lufttemperatur und re-

lative Feuchte liegen die diesbezüglichen Beobachtungswerte für weite Gebiete der Erde vor und gestatten so eine unmittelbare Berechnung der Temperaturdifferenzen, während die zur Ermittlung der Feuchtedifferenzen benötigten Dampfdruckwerte in der weitaus überwiegenen Mehrzahl der Fälle erst durch Umrechnung aus den RF%-Werten gewonnen werden müßten.

Zur Beurteilung der Schwüle wird nun weiterhin oftmals mit Recht gefordert, daß hierbei die Windverhältnisse nicht vernachlässigt werden dürfen. Die physiologische Wirkung des Windes beruht, neben einer zweifellos auch vorhandenen physischen Beeinflussung, im wesentlichen auf seiner ventilierenden Wirkung im Hinblick auf die Förderung der Hautverdunstung des Menschen. Durch natürliche und künstliche Luftströmungen wird die durch eine hohe Feuchte ausgezeichnete Luft in der unmittelbaren Umgebung des menschlichen Körpers — verstärkt oder gemindert durch die Art der Bekleidung — durch prozentual weniger gesättigte bzw. kühlere Luft ersetzt, d. h. durch solche, die durch Erwärmung in der Nähe des menschlichen Körpers zu weiterer Feuchteaufnahme befähigt wird, wodurch im Endeffekt die Verdunstung erleichtert und die klimatische Behaglichkeit erhöht wird. Allerdings nimmt diese Fähigkeit des Windes mit steigender Temperatur ab, so daß ein Wind von 35 C° kaum noch eine und ein solcher von 37 C° und darüber überhaupt keine Minderung des Schwülegefühls mehr hervorruft, da dann dem menschlichen Körper aus seiner Umgebung noch zusätzlich Wärme zugeführt wird. Schwülemindernd können sich daher bei Außentemperaturen über 37 C° nur solche Luftbewegungen auswirken, deren Feuchtigkeitsgehalt nicht den Dampfdruck von 14,08 mm Hg, bzw. deren Prozentbeträge der relativen Feuchte nicht die in der Tabelle aufgeführten Grenzwerte der Schwülegrenze übersteigen. Die ventilatorische Wirkung des Windes auf das menschliche Befinden ist zwar in physiologischer Hinsicht äußerst wichtig, sie entzieht sich jedoch zunächst noch und wahrscheinlich auch noch auf lange Zeit wegen des Fehlens der notwendigen Beobachtungsangaben einer umfassenden und räumlich vergleichenden klimatologischen Nutzanwendung.

Die meist mit diesem Mangel der erforderlichen Angaben entschulditable Nichtberücksichtigung der schwülemindernden Wirkung des Windes fällt jedoch gar nicht so erheblich ins Gewicht, da sie in Wirklichkeit ja, was man nämlich meist übersieht, in den jeweiligen Werten der Luftfeuchte, und zwar als ein latent wirksamer Reduktionsfaktor enthalten ist. In ruhender Luft ist der Feuchtegehalt am gleichmäßigsten verteilt und zeigt im allgemeinen seinen höchsten Wert in Bodennähe,

während die bodenferneren Luftschichten im Vergleich hiermit relativ trocken erscheinen, was sich durch eine entsprechende Anordnung von Meßgeräten leicht nachweisen läßt¹⁷⁾. Setzt nun bei gleichbleibenden Feuchteverhältnissen eine Luftbewegung ein, so ist die Folge eine Durchmischung der verschiedenen feuchten Luftschichten. Die durch die Bodenverdunstung relativ feuchten unteren Luftschichten werden mit höheren und weniger feuchten Luftschichten durchmischt, teilweise sogar durch diese ersetzt, im Endergebnis jedenfalls feuchteärmer — d. h. aber, es kommt auf diese Weise zu einer völligen Veränderung der hygrothermischen Verhältnisse, ein Vorgang, der unmittelbar am Meßgerät im Sinken des Feuchtegehaltes der Luft registriert und der gleichzeitig vom Menschen als schwülemindernd empfunden wird.

4. Klimatologische Anwendung

Auf dem entwickelten Prinzip zur Bestimmung des Schwülewertes beruhen die Konstruktion eines speziellen „Schwülethermometers“ und eines „Schwüleschreibers“¹⁸⁾, die beide von der Firma R. Fuess in Berlin-Steglitz gefertigt wurden, sowie der Entwurf des „Hygrothermischen Kurvenbildes“ (Abb. 3). Dieses ermöglicht einmal nach Ablesung des Quecksilberstandes am trockenen

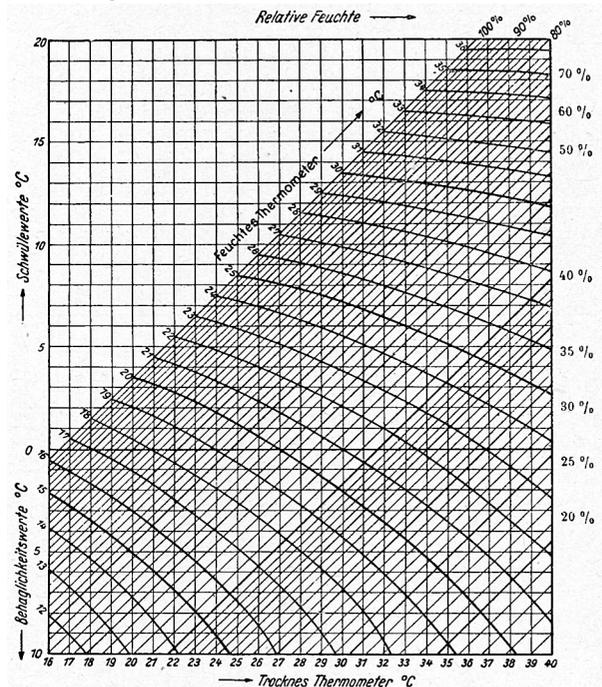


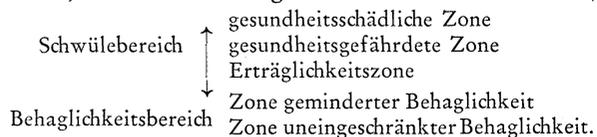
Abb. 3: Hygrothermisches Kurvenbild.

¹⁷⁾ Vgl. R. Geiger, Das Klima der bodennahen Luftschicht. Die Wissenschaft, Bd. 78, 2. Aufl., Braunschweig 1942, S. 88 ff.

¹⁸⁾ Vgl. Bioklimat. Beibl., 1943, S. 21, Abb. 3; S. 22, Abb. 5.

und feuchten Thermometer die Bestimmung der vorhandenen relativen Feuchte auf graphischem Wege, wodurch also die zeitraubende und bei Feldarbeiten umständliche Benutzung der Aspirationspsychrometer-Tafeln hinfällig wird, und es ermöglicht sodann die ebenso einfache Feststellung des Schwüle- bzw. Behaglichkeitswertes.

Eine andere Anwendungsmöglichkeit des Schwülemaßstabes ergibt sich für klimatographische Zwecke, indem man jetzt in der Lage ist, genau so wie man die räumliche Verteilung der Wärme und Wärmezeiten über die Erde durch Isothermen darstellt, nun auch die Feuchtwärmegebiete näher umgrenzen zu können, und zwar durch die Verwendung von Verbindungslinien gleicher Werte der Temperaturdifferenz. Ich möchte hierfür den Namen „Isohygrothermen“ vorschlagen, wobei es sich in einem engeren Sinne um Linien gleicher Schwüle handelt, worauf diese Bezeichnung jedoch nicht beschränkt bleiben darf, da Schwüle- und Behaglichkeitsbereich, wie schon gesagt, nicht scharf gegeneinander abgesetzt sind, vielmehr, wie man dies durch das folgende Schema veranschaulichen kann, ineinander übergehen:



Hinsichtlich dieses Überganges vom Behaglichkeits- in den Schwülebereich bzw. umgekehrt ist es in bezug auf die damit verbundenen Empfindungsänderungen wesentlich festzustellen, in welche Richtung sich die hygrothermischen Zustandsänderungen entwickelt haben. Bei zunehmender Behaglichkeit, d. h. bei steigenden Werten von t_a , können u. U. hygrothermische Summenmaße, die noch innerhalb des Schwülebereichs liegen, schon im Vergleich mit vorherigen höheren Schwülewerten als erträglich empfunden werden, während bei entgegengesetzter Entwicklungstendenz sich bereits vor dem numerischen Erreichen der Schwülegrenze oftmals klimatisches Unbehagen einzustellen pflegt. Diese auf Grund eigener Beobachtungen¹⁹⁾ gewonnene Erfahrung, die sich auch in der Literatur²⁰⁾ bestätigt findet, ist deshalb von allgemeinem anthropoklimatischen Wert, weil sie ebenfalls zu dem Schluß führt, daß die rechnerisch und kartographisch festzulegende Schwülegrenze stets nur als eine relativ wirksame „Grenze“ angesehen werden darf.

¹⁹⁾ Vgl. Arch. f. Hygiene, 1942, S. 267, 279 f.

²⁰⁾ C. Braak in Köppen-Geiger, Hdb. d. Klimat., IV, R., 1931, S. 29, 78 f. berichtet, daß das Klima von Buitenzorg im Vergleich zu Batavia als „erquickend“ empfunden wird, obwohl beide im tropischen Dauerschwülegebiet liegen; Buitenzorg ist aber im Mittel 1,6 C° weniger schwül und daher um diesen Betrag „relativ behaglicher“ als Batavia.

Mittels der Konstruktion von Isohygrothermen ist es nunmehr möglich, die in anthropoklimatischer Beziehung bedeutsamen Gebiete hoher Feuchtwärme exakt zu umgrenzen und hinsichtlich ihrer örtlich verschiedenen Schwüleintensität geographisch genauestens zu differenzieren. Damit ergibt sich gegenüber dem von Marner und Semmelhack²¹⁾ angewandten Verfahren, das lediglich die auf volle Monate berechnete Dauer der herrschenden Schwüle zur Darstellung bringt, ein sicherlich nicht unerheblicher Fortschritt in der geographischen Methodik.

Eine Reihe weiterer sich hieraus ergebender Fragestellungen seien an dieser Stelle nur kurz angedeutet, wie z. B. der Verlauf der Schwülegrenze über die Erde und ihre verschiedene Lage im Wechsel der Jahreszeiten, die räumliche Unterscheidung von dauernd und periodisch schwülen Gebieten im Gegensatz zu nur zeitweilig schwülen Räumen sowie überhaupt die Frage der klimatographischen Differenzierung des unterschiedlich ausgeprägten hygrothermischen Belastungsklimas, worauf in entsprechender Weise namentlich Troll²²⁾ hingewiesen hat. Vom physioklimatischen Standpunkt aus ist neben der Intensität und Dauer der Schwülebelastung vor allem das Vorhandensein oder Fehlen schwülfreier Nächte von größter Wichtigkeit. Je nach der Belastungsdauer und der Einschaltung schwülfreier Zeiträume, die für die physische und psychische Erholung und Widerstandskraft des menschlichen Organismus und damit für die Aufenthaltsmöglichkeiten und menschlichen Lebensbedingungen unter solchen klimatischen Verhältnissen überhaupt von ausschlaggebender Bedeutung sind, kann man die HT-Klimate, wie man die durch große hygrothermische Summenmaße gekennzeichneten klimatischen Zustände formelhaft kurz nennen kann, folgendermaßen einteilen:

- I. Gebiete hygrothermischer Dauerbelastung mit konstant hohen hygro- und thermometrischen Werten. Diese gliedern sich weiterhin in
 - a) $H_K T_K$ -Klimate = konstant feuchtwarme Dauerbelastungsklimate ohne schwülfreie Nächte,
 - b) $H_k T_k$ -Klimate = feuchtwarme Dauerbelastungsklimate mit schwülfreien Nächten.
- II. Gebiete eines periodischen hygrothermischen Belastungsklimas, die sich in entsprechender Weise untergliedern in

²¹⁾ Vgl. die Kartenbeilagen zu J. Marner, Deutsch-Ostafrika, 1940, und W. Semmelhack, Kamerun, 1942.

²²⁾ C. Troll, Europäische Tropensiedlung, ihre Aussichten und ihre Grenzen. Koloniale Rdsch., 1933, S. 34 ff.

- a) $H_p T_p$ -Klimate = periodische Schwüleklimate ohne schwülefrie Nächte,
 - b) $H_p T_p$ -Klimate = periodische Schwüleklimate mit schwülefrienen Nächten.
- III. Zeitweilig schwüle Gebiete mit analoger Gliederung
- b) $H_z T_z$ -Klimate = zeitweilig schwül ohne schwülefrie Nächte,
 - b) $H_z T_z$ -Klimate = zeitweilig schwül mit schwülefrienen Nächten.

maßen nur eine Sonderform des sommerlichen feuchtwarmen Klimas dar, unterscheidet sich jedoch insofern von diesem, als ihm die ausgeprochene Periodizität fehlt. Sein Auftreten ist weniger ein klimatisches Charakteristikum der betreffenden Gegend als vielmehr die Folge der hierfür typischen „Schwülewetterlagen“²³⁾. Wir können z.B. in Mitteleuropa in jedem Jahr mit einer Reihe schwüler Sommertage rechnen, die jedoch, was Zeitpunkt und Dauer anbelangt, keine klimacharakteristischen Werte aufweisen.

Als Beispiel für die kartographische Anwendungsmöglichkeit des thermischen Schwülemaß-

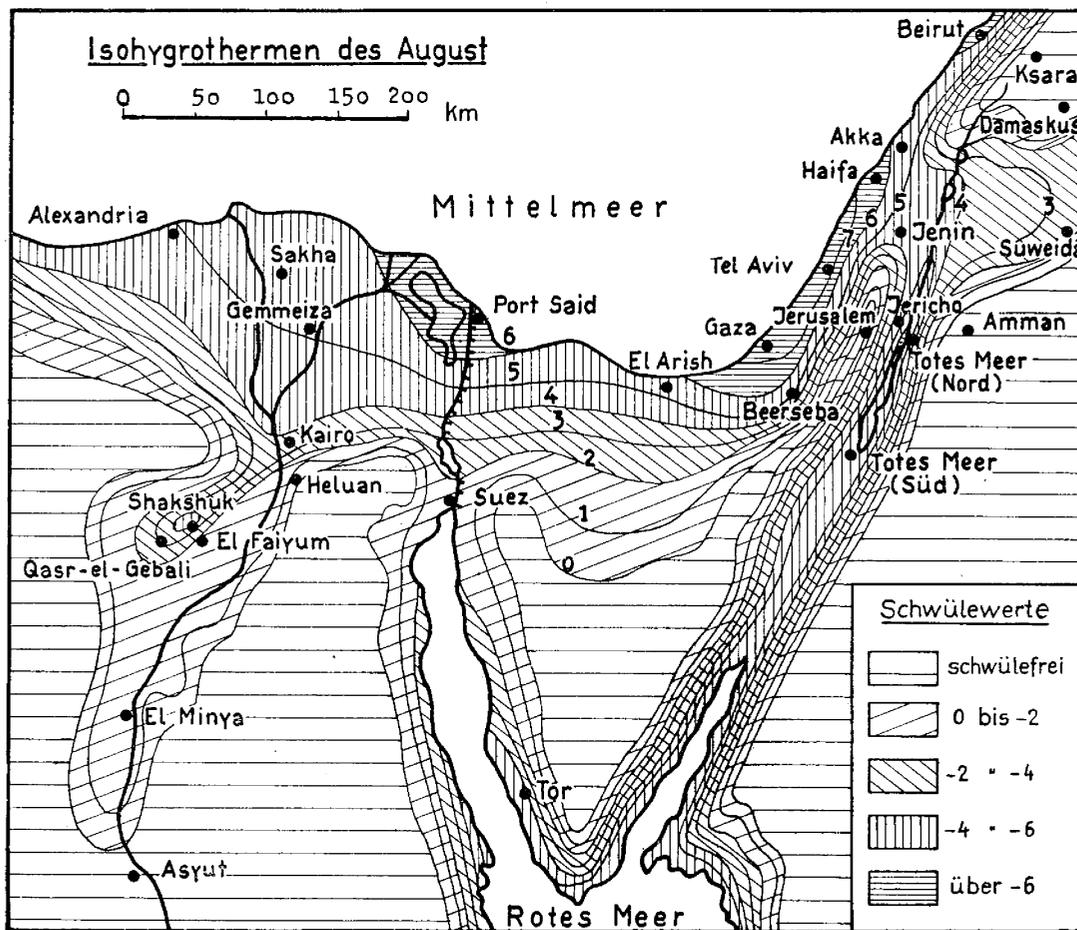


Abb. 4: Physiologische Klimaskizze des südöstlichen Mittelmeergebietes.

Zum Typus I rechnet das eigentliche Äquatorialklima (Amazonien, Kongobecken, Oberguineaküste). Den Typus II repräsentiert die äußere Tropenzone, in der eine mehrmonatige winterliche Trockenzeit das Treibhausklima der sommerlichen Regenzeit ablöst; er ist ebenfalls für weite Räume der Monsunklimate charakteristisch und findet sich schließlich in den Sommermonaten im Bereich aller warmen Küstenländer. Typus III stellt gewisser-

stades durch Zeichnung von Isohygrothermenkarten wurde ein Ausschnitt des südöstlichen Mittelmeergebietes gewählt, d. h. ein Gebiet, das im Sinne der obigen Einteilung der HT-Klimate zum Typus II zu rechnen ist. Zur Darstellung gekommen sind auf Abb. 4 durch die Verwendung von Isohygrothermen die Feuchtwärmeverhältnisse für

²³⁾ Vgl. Archiv. f. Hygiene, 1942, S. 260 ff.

den Monat August, der im Vergleich mit den übrigen Monaten durch die weitverbreiteteste und intensivste Schwüle gekennzeichnet ist. Abb. 5 zeigt durch die Einzeichnung von Isodaten den Beginn und das Ende sowie die Dauer der Schwüleperioden.

Da die Karten nur als methodische Beispiele dienen sollen, wird auf ihren klimatologischen Inhalt nicht näher eingegangen. Nicht unerwähnt bleiben soll aber die Tatsache, daß durch die Verwendung von Isohygrothermen die verschiedenartigsten Gebiete eines wechselnd hohen hygro-

5. Thermischer Schwülemaßstab und Äquivalenttemperatur

Eine Frage, die weiterhin aufgeworfen werden muß, ist die, ob für die Einführung des „thermischen Schwülewertes“ als neuen Klimafaktor überhaupt eine Notwendigkeit besteht, nachdem von geographischer Seite aus durch Meinardus²⁴⁾ im Anschluß an die Arbeiten von von Dalmady, Knoche, Linke und Robitzsch die Schwüle durch bestimmte Grenzwerte der Äquivalenttemperatur charakterisiert worden ist. Der Wert dieses durch

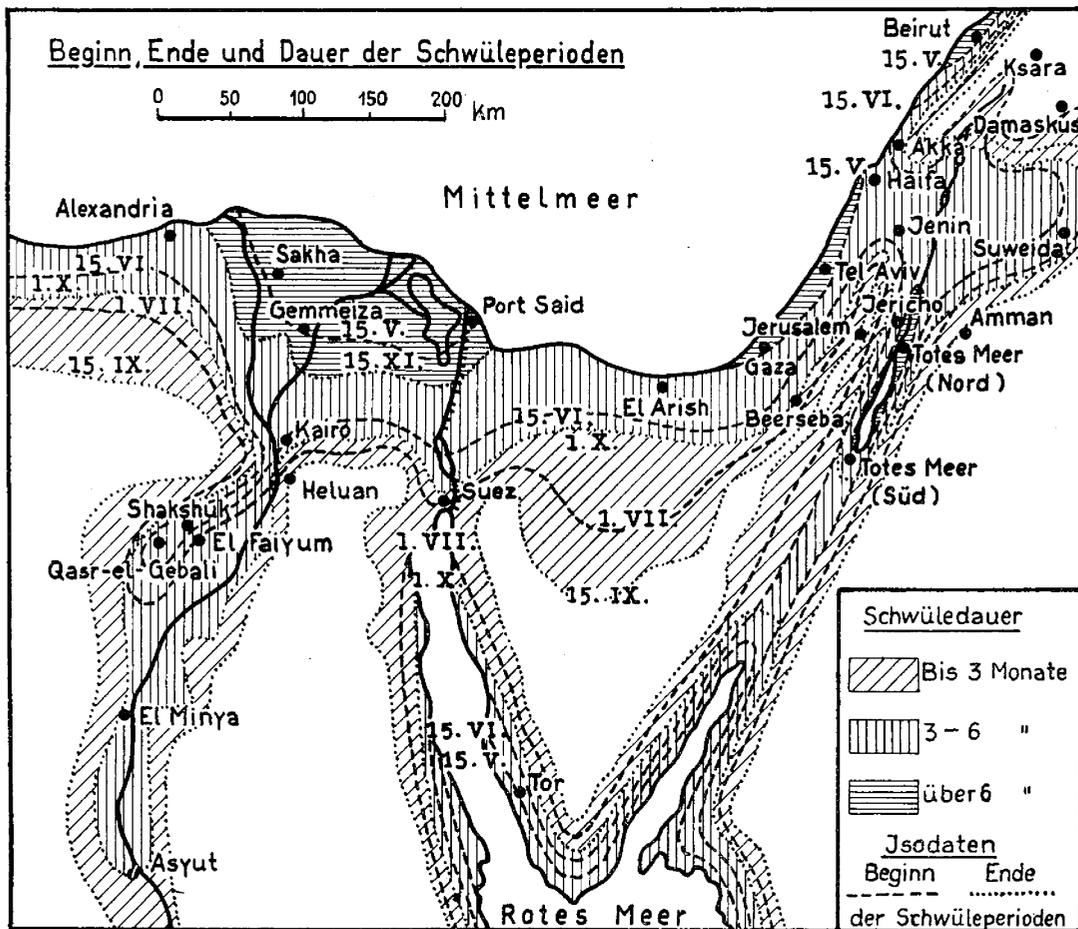


Abb. 5: Physiologische Klimaskizze des südöstlichen Mittelmeergebietes.

thermischen Belastungsklimas als eine einheitliche Klimazone zusammengefaßt worden sind, die im Sinne der vorherrschenden Klimaeinteilung von Köppen gänzlich verschiedenen Klimabereichen angehören. Welche Folgerungen sich hieraus in anthropoklimatischer Hinsicht ergeben, wird sich erst dann im einzelnen sagen lassen, wenn die kartographische Bearbeitung der Schwülezeiten weiter fortgeschritten sein wird.

von Bezold eingeführten klimatischen Elementes war lange Zeit²⁵⁾ — und ist es wohl auch heute immer noch — umstritten, zum mindesten hat es sich nicht einzubürgern vermocht. Der von

²⁴⁾ W. Meinardus, Die Äquivalenttemperatur und ihre jährliche Periode in graphischer Darstellung. Pet. Mitt. 1935, S. 323 ff. Vgl. zum folgenden auch die dort genannte Literatur.

²⁵⁾ Vgl. V. Conrad in Köppen-Geiger, Hdb. d. Klim. I, B., 1936, S. 348 ff., u. d. dort. Literatur.

Conrad²⁶⁾ angeführte Einwand, daß zwar jeder beobachteten Temperatur und Feuchte eine ganz bestimmte Äquivalenttemperatur entspricht, daß dieser Satz aber keinesfalls umkehrbar sei, da einer bestimmten Äquivalenttemperatur beliebig viele Kombinationen von Temperatur- und Feuchtwerten zugeordnet werden können, trifft nun auch für den thermischen Schwülewert zu. Dieses Argument ist jedoch nicht so schwerwiegend, da dieser Mangel jedem kombinierten Element anhaftet, beispielsweise auch der stets widerspruchslos anerkannten relativen Feuchte. Die Vieldeutigkeit an sich ist daher kein ausreichender Grund für eine Ablehnung der Äquivalenttemperatur. Nicht so leicht abzutun ist dagegen das von Hann²⁷⁾ nachgewiesene Versagen der Äquivalenttemperatur bezüglich einer Übereinstimmung ihrer Werte mit den menschlichen Gefühlsempfindungen. Diese bildet aber die unbedingt zu fordernde Voraussetzung für die anthropoklimatische Verwendbarkeit eines Klimaelementes. Um die damit auftauchende Frage einer diesbezüglichen Brauchbarkeit des thermischen Schwülemaßstabes zu prüfen, seien daher im folgenden zum Vergleich mit der Äquivalenttemperatur die von Hann zum Beweis gegen deren Anwendbarkeit gegebenen Beispiele angeführt und durch die entsprechenden Werte der Temperaturdifferenz ergänzt.

	Luft- temperatur C°	Luft- feuchte RF%	Äquivalent- temperatur C°	Temperatur- differenz C°
Wüste ²⁸⁾	37,9	22	58,4	+14,85
Batavia ²⁹⁾	26,3	85	47,4	- 5,22

Hann bemerkt hierzu, daß die obigen Äquivalenttemperaturen keineswegs den wirklichen Gefühlsempfindungen entsprechen, denn die trocken-heiße Wüstenluft zeigt gegenüber der feuchtschwülen Tropenluft den größeren Wert, so daß man eigentlich annehmen müßte, „daß die ‚sensible‘ Temperatur in der Oase Kufra viel höher, die Luft also schwüler war als in Batavia“. Die Temperaturdifferenz von Batavia zeigt dagegen den von Hann erwarteten Schwülewert; wegen des hohen „Behaglichkeitswertes“ von + 14,85 für die trocken-heiße Wüstenluft sei auf die folgenden Ausführungen verwiesen.

Hann gibt nach Knoche ein weiteres Beispiel an, das auf Beobachtungen bei dem Wechsel

von Land- und Seewind an der Senegambischen Küste beruht (8. Febr. 1899)³⁰⁾.

	Luft- temperatur C°	Luft- feuchte RF%	Äquivalent- temperatur C°	Temperatur- differenz C°
Landwind 14 ^h	33,4	6	37,8	+33,6
Seewind 17 ^h	19,6	88	49,0	- 1,08

Auch in diesem Fall erklärt Hann, daß sich die Äquivalenttemperatur entgegengesetzt zum Temperaturegefühl verhalte und daß es „kein Zweifel“ ist, daß der Seewind nach dem heißen Landwind als „erfrischend“ empfunden worden sei. Betrachtet man nun die diesbezüglichen Werte der Temperaturdifferenz, so stimmen sie in diesem Fall, d. h. was die Tendenz ihrer Größenänderung betrifft, durchaus mit den Äquivalenttemperaturen überein und müßten also im Sinne der obigen Beurteilung von Hann ebenfalls als unzutreffende Charakteristik der geschilderten hygrothermischen Gegensätze bezeichnet werden. Diese Unstimmigkeit wird aber, soweit diese die Temperaturdifferenz betrifft, durch folgende Überlegung beseitigt: Wie schon betont, ist für das jeweilige subjektive Wohlbefinden nicht allein der derzeitige klimatische Luftzustand verantwortlich zu machen, sondern gleichermaßen — und vielfach noch in erheblich entscheidenderer Weise — sind die im Vergleich mit den unmittelbar vorangegangenen Verhältnissen eingetretenen hygrothermischen Zustandsänderungen das entscheidende Moment. Daraus erklärt sich, daß trotz der rechnerisch festgestellten Überschreitung der Schwülegrenze der Seewind als „erfrischend kühl“ im Gegensatz zu dem bis dahin wehenden trocken-heißen Landwind vermerkt worden ist. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, daß in den Tropen bis zu einem gewissen Grade eine Gewöhnung an die hohen Feuchtttemperaturen erfolgt. So ergaben die anthropoklimatischen Untersuchungen von Stone³¹⁾ in Batavia eine Schwülegrenze, die in ganz charakteristischer Weise von der Lancaster-Castens-Kurve abweicht. Aus beider Vergleich³²⁾ ist zu folgern, daß in den betreffenden Gebieten durch eine solche klimatische Anpassung das Schwülegefühl ganz allgemein erst bei höheren Feuchtwärmewerten einzusetzen pflegt, wodurch einmal die teilweise recht beträchtliche Überschreitung der Lancaster-Castens-Kurve und zum anderen die sonst nicht recht erklärlichen abweichenden Gefühlsempfindungen verständlich werden.

²⁶⁾ Dass., S. 350.

²⁷⁾ J. Hann, Die äquivalente Temperatur als klimatischer Faktor. Met. Zs., 1907, S. 501 ff. Vgl. V. Conrad in Köppen-Geiger, Hdb. d. Klim. I, B., 1936, S. 350.

²⁸⁾ Kebabo, Oase Kufra, 24^{1/2}° NBr., 1. bis 14. Sept. 1879, Mittelwerte für 3 Uhr nachmittags. Werte nach G. Rohlf's, Kufra, Lpz. 1881, S. 362.

²⁹⁾ Monatsmittel für April.

³⁰⁾ Vgl. V. Conrad in Köppen-Geiger, Hdb. d. Klim. I, B., 1936, S. 350.

³¹⁾ R. G. Stone, Tropical Climatology and Physiology in relation to the acclimatization of white settlers. Amer. Geogr. Soc. Spec. Publ. Nr. 23, New York 1939.

³²⁾ Vgl. J. Marner, Deutsch-Ostafrika, 1940, S. 13, Fig. 4.

An dem soeben näher erläuterten Beispiel zeigt sich nun aber weiterhin mit aller Deutlichkeit die Grenze, die der Anwendung der Temperaturdifferenz für die Charakterisierung von Behaglichkeitszuständen gezogen ist, eine wichtige Feststellung, die keinesfalls übersehen werden darf und auf die daher näher eingegangen werden muß. Die auf den konstanten Dampfdruck von 14,08 mm Hg bezogene Temperaturdifferenz ist lediglich ein Maßstab für Schwüleempfindungen, also für die anthropoklimatische Beurteilung des Feuchtwärmebereichs. Sie wird verständlicherweise dann nicht mehr benutzt werden können, wenn einerseits die Temperatur unter $16,5\text{ C}^\circ$, den unteren Endpunkt der Schwülegrenze, sinkt oder aber wenn andererseits die Feuchte bei hohen Temperaturen abnorm geringe Werte aufweist. Die dann einsetzende physiologische Wirkung des Trockenklimas, wie sie für die Wüstenklimate kennzeichnend ist, ist zwar in allgemeiner Hinsicht bekannt³³⁾, ohne daß man jedoch heute schon in der Lage wäre, die zweifellos vorhandene Grenze des feuchtwarmen Behaglichkeitsbereiches gegen den trocken-heißen „Unbehaglichkeitsbereich“ irgendwie näher abzugrenzen. Bisher hat sich in dieser Hinsicht noch keine sichere untere Grenze für die Luftfeuchte ermitteln lassen. Es ist im Gegenteil vielmehr bekannt, daß die Heilkraft mancher Kurorte (Riviera ponente, Ägypten) auf der großen Lufttrockenheit beruht. Nach den Beobachtungen von Knoche³⁴⁾ in den Anden wird eine relative Luftfeuchte von 10 % als sehr unangenehm empfunden. Derartige Werte kommen in den tropischen Teilen der Anden und in Wüsten öfter vor³⁵⁾. Auf Grund eigener, hinsichtlich der Ableitung allgemeingültiger Schlüsse selbstverständlich völlig unzureichender Beobachtungen³⁶⁾, die jedoch, weil sie die zur Diskussion gestellte Fragestellung verfolgten, immerhin einen ersten Anhaltspunkt bilden können, macht sich bei relativ hoher Temperatur und geringer Feuchte, wie diese etwa durch eine Temperaturdifferenz von $t_d > = 10\text{ C}^\circ$ gekennzeichnet werden, das Gefühl von „sengend-heiß“ im Gegensatz zu „stechend-“ und „drückend-heiß“, wie es bei Schwüleempfindungen auftritt, bemerkbar. Daß mit diesem Wert von t_d tatsächlich ein bioklimatisch wichtiger Grenzwert, zum mindesten annäherungsweise, gegeben ist, zeigt die am 25. Juni 1942 mittags 12 Uhr in einer Niederung bei Kirowograd in der Ukraine aus den Beobachtungswerten

von $t = 25,6\text{ C}^\circ$ und $RF = 33\%$ berechnete Temperaturdifferenz von $t_d = +9,6\text{ C}^\circ$ die sich auf der windbewegten Hochfläche noch auf $+11,26\text{ C}^\circ$ steigerte, d. h. Werte erreichte, wie sie in zunehmendem Maße dann die trocken-heißen Steppenwinde Südrußlands (Mgla oder Suchowej) auszeichnen, die durch ihre austrocknende Wirkung oftmals die landwirtschaftlichen Kulturen stark gefährden und zum Verdorren bringen. Derartige Beziehungen lassen sich nun zur Äquivalenttemperatur nicht herstellen, wenigstens nicht durch die Wiedergabe eindeutig charakterisierter Zahlenwerte³⁷⁾, so daß sich in dieser Beziehung das Urteil von Hann³⁸⁾ wiederum bestätigt, wenn er meint, daß die Äquivalenttemperatur „in der Wärmeökonomie des Menschen und der Organismen überhaupt keine Rolle spielt“.

Bezüglich ihrer anthropoklimatischen Verwendbarkeit wird aber immer wieder auf die von Robitzsch³⁹⁾ aufgedeckten Zusammenhänge zwischen der Äquivalenttemperatur und der Temperatur des aspirierten feuchten Thermometers hingewiesen. Das aspirierte feuchte Thermometer, das vielfach zur anthropoklimatischen Beurteilung feuchtwarmer Klimaverhältnisse benutzt wird und dessen Werte die namentlich in den Ländern englischer Sprache verwendete und neben anderen Feuchteelementen dort vielfach publizierte „wet bulb temperature“ bilden, ist aber doch lediglich ein physikalisches Meßinstrument, das auf die jeweils vorhandene Sättigungsfeuchte der Luft reagiert. Hierauf beruht ja auch seine Verwendung zur Bestimmung der relativen Luftfeuchte. Was nun die anthropoklimatische Bedeutung seiner Meßwerte anbelangt, so muß man hierzu gegen ihre offenbare Überschätzung einwenden, daß der menschliche Körper nicht einfach wie ein totes Instrument mechanisch reagiert, sondern daß er seinen Wärme- und Wasserhaushalt organisch reguliert. Würde der menschliche Organismus nämlich entsprechend dem instrumentalen Verhalten des aspirierten feuchten Thermometers reagieren, so würde er, wie schon einmal gesagt, bei seinem hohen Prozentsatz an Flüssigkeit „wie ein nasses Handtuch“ in der Luft trocknen. Sein Regulationsvermögen

³⁷⁾ Die von Meinardus (1935, S. 328) mitgeteilten Werte von einer Wanderung durch die Arabische Wüste entsprechen zwar sämtlich einer Äquivalenttemperatur von 32 bis 37 C° , d. h. sie liegen nach Robitzsch (s. u.) an der „unteren Schwülegrenze“. Rechnet man die Beobachtungsdaten jedoch in Temperaturdifferenzen um, so liegen die sich ergebenden Werte von t_d zwischen $+14,72$ und $+40,38$ und charakterisieren dann eindeutig das trocken-heiße Wüstenklima.

³⁸⁾ J. Hann, Met. Zs., 1907, S. 504.

³⁹⁾ M. Robitzsch, Beitrag zur Behandlung klimatologischer Fragen auf physiologischer Grundlage. Ann. Hydrographie usw., 1931, S. 73 ff.

³³⁾ Vgl. A. Loewy, Das Wüstenklima. In Hdb. d. Balneologie, medicin. Klimat. u. Balneographie, Bd. III, Lpz. 1924, S. 254 ff.

³⁴⁾ W. Knoche, Der „Austrocknungswert“ als klimatischer Faktor. Archiv d. Dtsch. Seewarte, Bd. 48, 1. 1929, S. 5.

³⁵⁾ Vgl. W. Meinardus, 1935, S. 328.

³⁶⁾ Vgl. Archiv f. Hygiene, 1942, S. 266, 279.

befähigt ihn jedoch dagegen, sich den hygrothermischen Veränderungen in seiner klimatischen Umwelt mit dem Ziel seiner Erhaltung und Behauptung anzupassen. Die Feuchttemperaturen sind daher in anthropoklimatischer Hinsicht nur ebenso bedingt brauchbar wie die sich aus ihr ergebenden Werte der relativen Feuchte (vgl. Abb. 6).

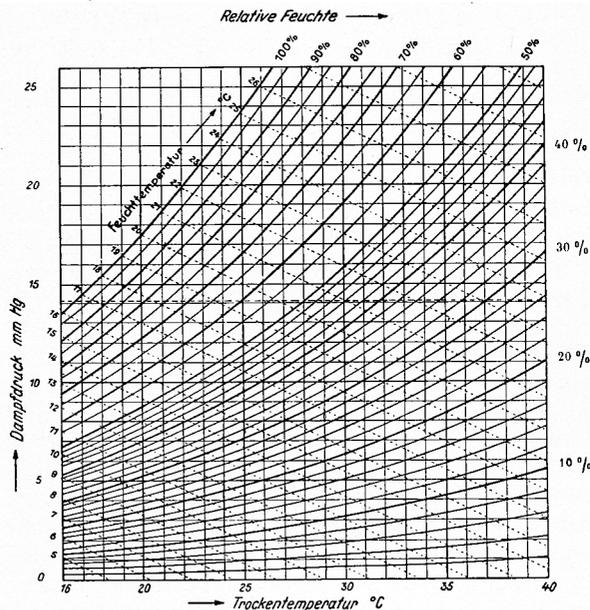


Abb. 6: Funktioneller Zusammenhang zwischen Schwülegrenze ($e = 14,08 \text{ mm Hg}$), Trocken-, Feuchttemperatur und relativer Feuchte.

Diese einschränkende Bewertung der Feuchttemperaturen ist aber noch in einer anderen Hinsicht bedeutungsvoll. Zeichnet man nämlich die Äquivalenttemperaturen und die Feuchttemperaturen in das Koordinatennetz von Dampfdruck und Temperatur ein, so zeigt sich, was den Verlauf der beiden Kurvenscharen betrifft (vgl. Abb. 6 u. 7), eine völlige Übereinstimmung, wie dies auch bereits von *Meinardus*⁴⁰⁾ betont wurde. Feuchttemperatur und Äquivalenttemperatur sind daher, abgesehen von ihrer verschiedenen theoretischen Ableitung und numerischen Verschiedenheit, ihrem Wesen nach eigentlich das gleiche Klimaelement⁴¹⁾, so daß nun das, was im Hinblick auf die anthropoklimatische Anwendbarkeit der Feuchttemperatur gesagt wurde, grundsätzlich auch für die Äquivalenttemperatur gilt.

Um die Beziehungen zwischen der Äquivalenttemperatur und dem thermischen Schwülewert zu veranschaulichen, seien die den Äquivalenttempe-

peraturen von $T_e = 56^\circ$, die *Linke*⁴²⁾ und von *Dalmady*⁴³⁾ als Grenzwert der Behaglichkeitszone bezeichnen, und die $T_e = 37^\circ$ und $T_e = 70^\circ$, mit denen *Robitzsch*⁴⁴⁾ den Schwülebereich eingrenzt, entsprechenden Linienzüge im Koordinatennetz von Dampfdruck und Temperatur eingetragen und mit der Schwülegrenze $e = 14,08 \text{ mm Hg}$ verglichen (Abb. 7). Das graphische Bild bestätigt dann eindeutig, was auch *Linke* selbst ausdrücklich betont und *Ruge*⁴⁶⁾ ebenfalls hervorhebt, daß die Äquivalenttemperaturen nur im Bereich mittlerer Temperatur- und Feuchtegrade mit den erfahrungsgemäßen Empfindungen einigermaßen befriedigend übereinstimmen, was in der graphischen Darstellung durch den Schnitt der T_e -Kurven mit der Dampfdrucklinie von $14,08 \text{ mm Hg}$ sinnfällig zum Ausdruck kommt.

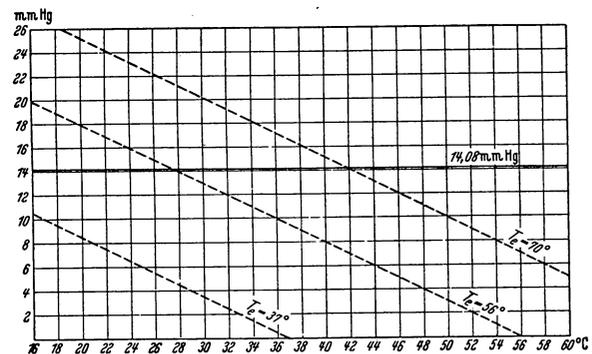


Abb. 7: Äquivalenttemperaturen und Schwülegrenze.

Die physikalische Erklärung für diesen divergierenden Kurvenverlauf, und damit dann auch für die nur bedingte anthropoklimatische Anwendungsmöglichkeit der Äquivalenttemperatur, ist darin zu sehen, daß den einzelnen Äquivalenttemperaturen, wie am besten ihre vereinfachte Formel $T_e = t + 2e$ erkennen läßt, bei beliebig gewählten Lufttemperaturen jeweils der doppelte Betrag verschiedener Dampfdruckwerte entspricht, während sich als physikalische Gesetzmäßigkeit der erfahrungserprobten *Lancaster-Castens*-Kurve ja gerade die Konstanz des Dampfdrucks herausgestellt hat. Sobald daher die diesbezüglichen Kombinationen der einzelnen Äquivalenttemperaturen durch Dampfdruckwerte entstehen, die sich nicht erheblich von dem Grenzwert $14,08 \text{ mm Hg}$ unterscheiden, werden die Äquivalenttemperaturen und die thermischen Schwülewerte verständlicherweise befriedigend übereinstimmende Resultate in bezug auf die anthropoklimatische Beurteilung hygrothermischer

⁴⁰⁾ W. Meinardus, 1935, S. 324.

⁴¹⁾ Vgl. M. Robitzsch, Abkühlungsgröße, Katathermometer und Äquivalenttemperatur. Gerlands Beitr. z. Geophysik, Bd. 25, 1930, S. 194 ff.

⁴²⁾ F. Linke, Die physikalischen Faktoren des Klimas. Hdb. d. norm. u. path. Physiologie, Bd. 17, 1926, S. 409.

⁴³⁾ Z. von Dalmady, Zs. f. Balneol., Bd. 5, S. 409.

⁴⁴⁾ M. Robitzsch in Gerlands Beitr., 1930, S. 206 f.

⁴⁵⁾ H. Ruge, 1932, S. 14.

Zustände liefern. Ergeben dagegen die den verschiedenen Äquivalenttemperaturen zugeordneten Dampfdruckwerte höhere Beträge, so nehmen im gleichen Umfang die Unstimmigkeiten zu.

Das klimatische Wohlbefinden oder Unbehagen des Menschen müßte gemäß der eben genannten Formel $T_e = t + 2e$ von dem Feuchtegehalt der Luft doppelt so stark beeinflusst werden wie von der Lufttemperatur, was in dem Maße sicher nicht der Fall ist. *Hann*⁴⁶⁾ lehnt die Äquivalenttemperatur als „Maß für die gefühlte Wärme“ und als „einheitlichen Ausdruck (Ersatz) für Lufttemperatur und Feuchtigkeit“ restlos ab und erklärt, daß die Äquivalenttemperatur „mit dem Gefühl der Schwüle gar nichts zu tun“ hat. Es ist nun im Hinblick auf dieses Urteil nicht uninteressant, festzustellen, daß *Knoche*⁴⁷⁾, gegen dessen Propagierung der Äquivalenttemperatur *Hann* ja seine Polemik gerichtet hat, späterhin sich zur Charakterisierung schwüler Luft nicht mehr auf die Äquivalenttemperatur, sondern auf die Beobachtungswerte von *Lancaster* stützt und damit also die Berechtigung der seinerzeitigen Kritik, die *Hann* gerade in diesem Punkt geübt hatte, anerkannt hat.

Daß die Äquivalenttemperatur jedoch, abgesehen von ihrem Versagen in Extremfällen, in allgemeiner klimatologischer Hinsicht wertvolle Dienste zu leisten vermag, hebt nicht nur *Hann*

⁴⁶⁾ *J. Hann*, Met. Zs., 1907, S. 502.

⁴⁷⁾ Archiv d. Dtsch. Seewarte, 48, 1. 1929, S. 32 f.

hervor, sondern haben vor allem die Ausführungen von *Meinardus* und seine Darstellung der Jahreskurven der Äquivalenttemperaturen von typischen Stationen verschiedener Klimate gezeigt. Aus dem Vergleich dieser graphischen Wiedergabe der Äquivalenttemperaturen durch *Meinardus* mit den auf Grund des thermischen Schwülemaßstabes entworfenen Klimagrammen hat sich nun eine — wenn auch auf Grund des gleichen Koordinatennetzes eigentlich im voraus zu erwartende, doch erst nachträglich erkannte — Übereinstimmung zwischen beiden graphischen Bildern ergeben. Benutzt man nämlich zur Konstruktion das Hilfsnetz des „Kurvenbildes zur Bestimmung des Schwülewertes“, so sind die sich ergebenden Schwüle-Klimagramme mit den Kurvenzügen der Äquivalenttemperaturen identisch. Trägt man andererseits in die Zeichnung von *Meinardus* die Dampfdrucklinie von 14,08 mm Hg und die Kurvenschar der Werte von RF% ein, so entsteht nunmehr auf diese Weise das völlig gleiche Bild, aus dem man dann ebenfalls die den einzelnen Beobachtungsdaten entsprechenden Schwüle- bzw. Behaglichkeitswerte graphisch bestimmen kann. Eine an sich nur geringfügige Veränderung in der Gestalt solcher Klimagramme ergibt sich, wenn man das Koordinatennetz des „Hygrothermischen Kurvenbildes“ benutzt, das jedoch den Vorteil bietet, daß dann die unmittelbare Ablesung der Temperaturdifferenzen, also der Schwüle- bzw. Behaglichkeitswerte, möglich ist.

BEWEGUNGSSTUDIEN AN GLETSCHERN DES JOSTEDALSBRE IN SÜDNORWEGEN

W. Pillewizer

Mit 3 Tafeln und 1 Abb. im Text

Im Sommer des Jahres 1937 wurden im Rahmen der von *W. Evers*, Hannover, ins Leben gerufenen „Deutsch-norwegischen Arbeitsgemeinschaft zur Erforschung und Kartierung des Jostedalsbre in Südnorwegen“¹⁾ an den Ausläufern dieses großen Firnplateaus gletscherkundliche Untersuchungen durchgeführt. Sie erstreckten sich auf die Vermessung mehrerer Gletscher und Gletschervorfelder und auf die Bestimmung der Geschwindigkeit verschiedener Gletscherzungen. Die terrestrisch-photogrammetrischen Messungen, über die hier berichtet wird²⁾, wurden vom Verfasser

gemeinsam mit *R. Finsterwalder* und *W. Evers* durchgeführt. Die Auswertung erfolgte durch den Verfasser im geodätischen Institut der Technischen Hochschule Hannover. Es war geplant, die Ergebnisse der gletscherkundlichen Untersuchungen erst nach Fertigstellung einer großstäblichen Karte des Jostedalsbre zu veröffentlichen, die im Jahre 1938 durch Norges Geografiske Opmaaling, Oslo, luftphotogrammetrisch aufgenommen worden war. Der Kriegsausbruch verhinderte jedoch die Fertigstellung dieser Karte, und es kann hier nur über jenen Teil der gletscherkundlichen Untersuchung berichtet werden, der zur Ausarbeitung und Deutung nicht der luftphotogrammetrischen Unterlagen bedurfte.

Der Jostedalsbre erstreckt sich als ein firnbedecktes Hochplateau von 1600 bis 1900 m Höhe

¹⁾ *W. Evers*, Reisen und Forschungen in Norwegen 1937. Deutsche Geogr. Blätter, Bd. 40, H. 4 Bremen 1938.

²⁾ Auf die von *W. Evers* durchgeführten Messungen mit der selbstregistrierenden Gletscheruhr wird nicht eingegangen.