

DIE BIOKLIMATISCHEN VERHÄLTNISSE IN CHILE AUF GRUND DER LUFTENTHALPIE

Ernst R. Hajek, Santiago de Chile

SUMMARY

Bioclimates of Chile were determined by using the air enthalpy (kcal/kg) as a significant human bioclimatological measure. Monthly data of temperature and vapor pressure were used for the estimates. Air enthalpy shows a significant latitudinal trend of 0.22 kcal/kg/degree lat. Classes 1 to 9, that is Icy to Uncomfortable heat are represented in this country. Differences exist between littoral and inland stations. Isoenthalps sensu Gregorczyk are presented in a latitudinal and temporal sequence for both littoral and inland localities. Air enthalpy is useful for classifying this country in the perspectives of medical, architectural, recreational or general planning features.

EINLEITUNG

Das Studium der chilenischen Klimate wurde bis jetzt unter bioklimatischem Aspekt hauptsächlich im Rahmen der regionalen Beschreibung, der Landwirtschaft, Böden und Vegetation durchgeführt (di Castri und Hajek 1976, Hajek und di Castri 1975, di Castri 1968, Huber 1975, u.a.). Humanbioklimatische Probleme wurden nur in einem sehr geringen Umfang und sehr punktuell bearbeitet. Dieses Land hat jedoch für den Bioklimatologen einen speziellen Reiz, da man praktisch alle klimatischen Tendenzen vorfinden kann, die gut für praktische Zwecke genutzt werden können.

Das Klima dieses Landes wird hauptsächlich durch das südpazifische Hoch, durch den kalten Humboldtstrom und durch die Andenkordillere beeinflusst. Die Unterschiede zwischen der Küste und dem Inland sind ausgeprägt vorhanden. Im Süden des Landes läßt sich auch noch ein Einfluß von östlichen kontinentalen Luftmassen feststellen, die sich hauptsächlich an der Ostsenke der Andenkordillere durch trockene Luft äußern.

Eine oft verwendete Kenngröße in der Bioklimatologie stellt die Luftenthalpie dar, die als Maß für den Gesamtwärmeinhalt der Luft anzusehen ist (Lesko und Gregorczyk 1969). Auf Grund dieser Größe hat Brazol (1951) eine Wärmeempfindungsskala erarbeitet und so eine anthropogene Klimaklassifikation mit den Kategorien "Überhitzungsklima", "Optimales Klima" und "Unterkühlungsklima" geschaffen. Damit hat er Argentinien bioklimatisch charakterisiert (Brazol 1954), wobei das klimatische Optimum durch einen Wert von 9.2 kcal/kg definiert ist. Gregorczyk (1968) hat über die Enthalpie eine Bioklimakennzeichnung der Erde vorgenommen und dabei die Enthalpiewerte im Januar und im Juli graphisch dargestellt.

Die vorliegende Arbeit ist als Näherungslösung des Problems zu verstehen, die Bioklimate von Chile unter einem anthropogenen Gesichtspunkt zu bearbeiten. Aus der Reihe der dafür geeigneten Kenngrößen wird hier ebenfalls die Luftenthalpie verwendet.

DATEN

Die verwendeten Daten stammen aus der Oficina Meteorológica de Chile und wurden von Hajek und di Castri (1975) in tabellarischer und graphischer Form dargestellt. Zur Berechnung der Luftenthalpie dienten die Lufttemperatur (in °C) und der Wasserdampfdruck (in mm) als Ausgangsgrößen. Insgesamt wurden 89 Stationen zwischen Arica (18°28' s. Br. und 70°22' w. L.) und Base Antartica "Gabriel González Videla" (64°49' s. Br. und 62°52' w. L.) bearbeitet.

Die Luftenthalpie i wurde nach Bradtke und Liese (1952) berechnet:

$$i = 0.24 \cdot t + \frac{0.622}{755 - e} \cdot (0.46 \cdot t + 595) \cdot e$$

wobei i die Luftenthalpie in kcal/kg, 0.24 die spezifische Wärme der trockenen Luft in kcal/kg, 755 der mittlere Luftdruck in mm Hg, 0.46 die spezifische Wärme des Wasserdampfes in kcal/kg/°C, 595 die Verdampfungswärme in kcal/kg bei 0 °C, t die Lufttemperatur in °C und e der Wasserdampfdruck in mm Hg sind.

Die Einteilung der Luftenthalpie erfolgte nach der Skala von Brazol (1951); sie wurde für die Zwecke dieser Arbeit gekürzt und ist in der Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1: Die Wärmeempfindungsskala nach Brazol (1951), gekürzt

Wärmeempfindungen	i	Anthropoklimatische Klassifikation
1 frostig	< 2.5	
2 kalt	2.5 - 3.5	Unterkühlungsklima (Kat. 1 - 4)
3 etwas kalt	3.5 - 6.0	
4 kühl	6.0 - 7.5	
5 angenehm kühl	7.5 - 8.5	Optimales Klima (Kat. 5 - 7)
6 Optimum	8.5 - 10	
7 angenehm warm	10 - 11	
8 sehr warm	11 - 12	Überhitzungsklima (Kat. 8 - 12)
9 heiß	12 - 19	
10 sehr heiß/schwül	19 - 26	
11 unangenehm heiß	26 - 31	
12 Hitzschlag	> 31	

Die monatliche Verteilung der Luftenthalpie wurde in einem Nord-Süd Gradienten und in einer zeitlichen Januar-Dezember Sequenz erarbeitet.

ERGEBNISSE

Die Luftenthalpie zeigt im allgemeinen, da sie ja von der Lufttemperatur und dem Wasserdampfdruck abhängt, auch einen gewissen Jahresablauf, der im nördlichen Teil des Landes Werte zwischen 12.7 kcal/kg im Sommer und 9.1 kcal/kg im Winter annimmt. Auf der antarktischen Station GGV ergeben sich im Sommer $i = 2.8$ kcal/kg und im Winter $i = -1.3$ kcal/kg. Analog zu Gregorczyk (1968) ist auch hier die Verteilung der Luftenthalpie bei niedrigen Lufttemperaturen sehr ähnlich zu ihnen, während sie bei hohen Lufttemperaturen ähnlich zum Wasserdampfdruck verläuft.

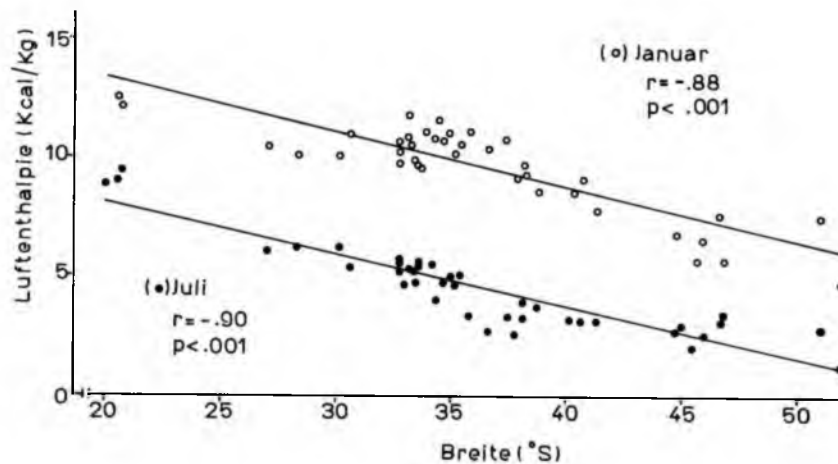


Abb. 1: Die Luftenthalpie in Chile als Funktion der geographischen (südlichen) Breite, gültig für Januar und Juli; die Enthalpiewerte sind auf 500 m ü. NN normiert

Untersucht man die Abhängigkeit der Luftenthalpie von der geographischen Breite im Januar und im Juli in Chile (Abb. 1), so zeigt sich, daß die beiden Regressionsgeraden nahezu parallel verlaufen; der mittlere Abstand zwischen ihnen beträgt etwa 5 kcal/kg. Die Regressionsgeraden lauten:

$$i(\text{JA}) = 17.99 - 0.23 \cdot \text{sBR} \quad (r = -0.88, P < 0.001)$$

$$i(\text{JU}) = 12.49 - 0.22 \cdot \text{sBR} \quad (r = -0.90, P < 0.001)$$

wobei $i(\text{JA})$ und $i(\text{JU})$ die Luftenthalpie jeweils im Januar und im Juli und sBR die südliche geographische Breite in Grad sind. Die Neigung ist in beiden Fällen fast die gleiche, d.h. für jeden Breitengrad nimmt die Luftenthalpie um 0.22 kcal/kg ab.

Über den zeitlichen und geographischen Verlauf der Luftenthalpie in Chile gibt die Abb. 2 Aufschluß. In ihr sind mit A die Küstenstationen und mit B die Inlandstationen gekennzeichnet. Die Luftenthalpie wurde in 9 Kategorien eingeteilt, die alle in Chile auftreten. Die Ergebnisse zeigen, daß im Küstenbereich das Optimum nach Brazol (8.5 - 10 kcal/kg) im nördlichen Teil des Landes in den Winter- und teilweise in den Frühjahrsmonaten liegt; weiter südwärts verschiebt es sich zum Sommer hin. Das "wärmere Ende" der Skala nach Brazol erstreckt sich bis 38° s. Br. In den Wintermonaten findet man, sich ebenfalls südwärts ausbreitend, die "kälteren Enden" der Skala; dabei befindet sich ein Kern um die 48° s. Br., der sogar in die Kategorie 1 (frostig) fällt.

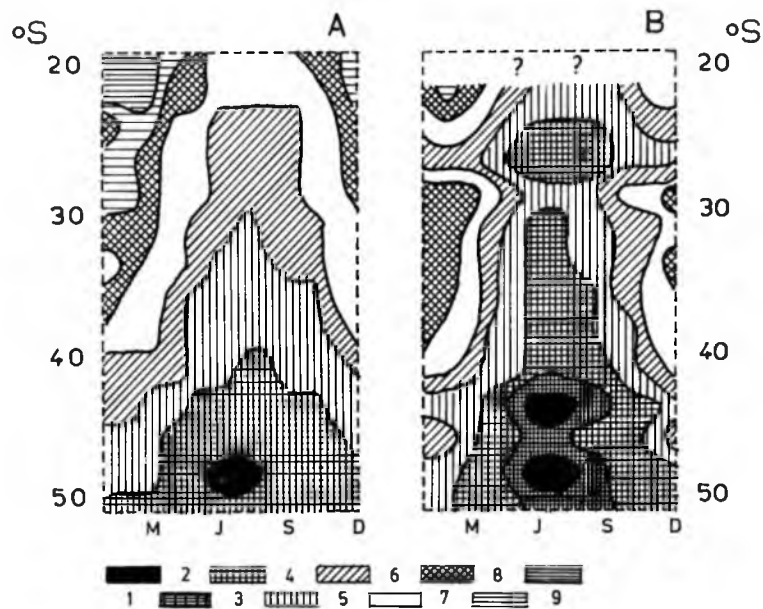


Abb. 2: Zeitliche und geographische Verteilung der "Isoenthalpen" im Küstenbereich und im Inland (A bzw. B) von Chile

Im Inland ändert sich die Verteilung etwas; hier war auch nur von 22° s. Br. zu höheren Breiten hin eine Analyse möglich. In den Wintermonaten dominiert hier im nördlichen Teil die Kategorie 4 (kühl), während im südlichen Teil die Kategorie 2 (kalt) vorherrscht. Das Optimum in diesem Teil des Landes ist nur kurz im Früh- und Spätsommer zu erkennen. Im äußersten Süden kann man, verglichen mit dem Küstenbereich, Kategorien vorfinden, die im "kalten Bereich" der Skala liegen.

Vergleicht man die Ergebnisse dieser Untersuchung mit denen von Gregorczyk (1968), so ergibt sich, daß aus seiner Arbeit für den Januar eine Abnahme der Luftenthalpie mit der geographischen Breite um etwa 0.27 kcal/kg/Grad abzuleiten ist, während hier 0.23 kcal/kg/Grad ermittelt wurden. Für den Juli lauten sein Wert 0.31 kcal/kg/Grad und der Wert aus dieser Arbeit 0.22 kcal/kg/Grad. Leider war eine statistische Untersuchung zur Signifikanzprüfung der Unterschiede nicht möglich, weil Gregorczyk für seine "Mittlere Luftenthalpie der Breitenkreise" auch Stationen des östlichen Teils von Südamerika he-

rangezogen hat. Wie schon erwähnt wurde, sind für die gleiche geographische Breite die Unterschiede bei den klimatischen Verhältnissen manchmal recht groß.

Unter Verwendung der Skala nach Brazol wurde die Tabelle 2 ermittelt, in der die prozentuale Verteilung des Auftretens der verschiedenen Wärmeempfindungskategorien in Chile dargestellt ist.

Tabelle 2: Verteilung (in %) der verschiedenen Kategorien der Wärmeempfindungen nach Brazol in Chile, aufgeteilt nach 20, 30, 40 und 50° s. Br. - K = Küste, I = Inland

Kategorien	südliche Breite (Grad)							
	20		30		40		50	
	K	I	K	I	K	I	K	I
1							9	11
2								27
3					12	33	91	49
4				31	47	27		
5			49	21	41	16		
6	34	?	28	21		24		
7	26	?	23	27				
8	19	?						
9	21	?						

? : keine Station vorhanden

Im Inland und um die 30° s. Br. gibt es eine etwa gleichmäßige Verteilung der Prozentzahlen der Luftenthalpie. Die Optimalen Klimate kommen in Chile im nördlichen Teil des Landes vor und sind ab 40° s. Br. nicht mehr festzustellen. Im südlichen Teil Chiles dominiert die Kategorie 3 (etwas kalt) und sogar die Kategorie 1 (frostig).

SCHLUSSFOLGERUNG

Das Land Chile weist 9 Kategorien nach der Brazol'schen Wärmeempfindungsskala auf; sie reichen von "frostig" bis "heiß" und ändern sich in Abhängigkeit von der geographischen Breite. Anhand der Abb. 2 können die Landesteile ausgesondert werden, in denen die für verschiedene Zwecke erwünschten Wärmeempfindungen anzutreffen sind. Diese Informationen sind wertvoll für Anwendungen in der Medizin, in der Regionalplanung, in der Architektur, in der Urlaubsplanung u.a..

ANMERKUNGEN

Die Herren Dr. Herbert Hager und Dipl.-Forstw. Georg Gietl leisteten wertvolle Hilfe bei der Erstellung der Computerprogramme; Herr Prof. Dr. Albert Baumgartner hat den Verfasser mehrmalig freundlichst in seinem Institut aufgenommen; der Deutsche Akademische Austauschdienst unterstützte diese Aufenthalte immer in großzügiger Weise. Allen sei an dieser Stelle herzlichst dafür gedankt.

LITERATUR

- Brazol, D., 1951: La temperatura biológica óptima. *Meteoros* 1: 99-106.
- Brazol, D., 1954: Bosquejo bioclimático de la República Argentina. *Meteoros* 4: 381-394.
- di Castri, F., 1968: Esquisse écologique du Chili. In: *Biologie de l'Amérique australe*. Tome IV. CNRS. Paris.
- di Castri, F., und Hajek, E.R., 1976: *Bioclimatología de Chile*. Edit. Univ. Católica de Chile. Santiago.
- Gregorczyk, M., 1968: The distribution of air enthalpy on the globe. *Z. Meteorol.* 20: 204-208.
- Hajek, E.R., und di Castri, F., 1975: *Bioclimatografía de Chile*. Dir. Inv. Univ. Católica. Santiago.
- Huber, A., 1975: Beitrag zur Klimatologie und Klimaökologie von Chile. Diss. Univ. München.
- Lesko, R., und Gregorczyk, M., 1969: Bioklimatische Verhältnisse an Küsten des Schwarzen Meeres und der Adria auf Grund der Luftenthalpie. *Wetter und Leben* 21: 160-166.

Anschrift des Verfassers: Prof. Ernst R. Hajek, Laboratorio de Ecología, Instituto de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago, Chile.