

- TROLL, C.: Ökologische Landschaftsforschung und vergleichende Hochgebirgsforschung. *Erdkundliches Wissen*, 11 (1966) 1–361.
- Landschaftsökologie, in: Pflanzensoziologie und Landschaftsökologie. Bericht über das internationale Symposium in Stolzenau 1963 der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. Hrsg. v. R. Tüxen. Den Haag (1968) 1–21.
- VAN BAVEL, S. H. M.: The Three-Phase Domain in Hydrology. Symposium on water in the unsaturated zone. Wageningen (1966) A, 1–9.
- UHLIG, H.: Die Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien). *Natur und Museum*, 96 (1966) 50–59 (mit ausführlichem landeskdl. Schr.-Verz.).
- VEIHMEYER, F. J.: Soil moisture, in: W. RUHLAND (Hrsg.): *Handbuch der Pflanzenphysiologie*. New York (1956) III, 64–117.
- VISSER, W. C.: The Moisture Consumption of Plants Described as a Hydrological Phenomenon. *Inst. Land. Water Managem. Research. Wageningen, Techn. Bull.* 40 (1965) 257–267.
- WALTER, H.: Einführung in die Phytologie, III: Grundlagen der Pflanzenverbreitung, 1. Teil: Standortlehre. Stuttgart (1960) 1–566.
- WEISCHET, W.: Der tropisch-konvektive und der außertropisch advektive Typ der vertikalen Niederschlagsverteilung. *Erdkunde*, 19 (1965) 6–14.

BEOBACHTUNGEN ZUR KLIMA-MORPHOLOGISCHEN HÖHENSTUFUNG DER CORDILLERA REAL (BOLIVIEN)

Mit 8 Photos und 4 Tabellen

STEFAN HASTENRATH

Summary: Observations on the climate-morphological altitudinal gradations of the Cordillera Real (Bolivia)

Field observations taken during travel through the Cordillera Real in June 1969 are evaluated in conjunction with meteorological data and air photographs. The temperature field in the free atmosphere over the Altiplano and the Cordillera Real is examined on the basis of radiosonde ascents and surface measurements. Turf exfoliations occur from about 4,400 m upward, which is somewhat above the 0°C level of mean minimum temperature. A belt of bound solifluction with turf garlands, etc., extends from here to about 5,000 m, where the grass cover terminates abruptly. This is considered the lower limit of the belt of free solifluction, comprising stone stripes, stone nets, polygon soils, and stone packings. Its upper limit is given by the snow line in about 5,400 m. Penitentes are a characteristic form of ablation here.

Auf einer Reise durch Bolivien im Juni 1969 ergab sich die Gelegenheit, vor allem zwei Gebiete der Cordillera Real zu besuchen. In der Region des Chacaltaya und Huayna Potosí, nordöstlich von La Paz, wurden Höhen um 5400 m erreicht. Ein West-Ost-Profil führte von La Paz (3700 m) über den 4700 m hohen Paß „La Cumbre“ quer durch die Kordillere hinunter bis Caranavi (650 m) in der Tiefebene des Oriente. Auf diesen Wanderungen wurden fortlaufend morphologische und Vegetationsbeobachtungen angestellt; dabei wurde ein Aneroid-Höhenmesser benutzt, der regelmäßig an Orte bekannter Meereshöhe angeschlossen wurde. Die Feldbeobachtungen wurden in Zusammenhang mit den verfügbaren meteorologischen Daten und Luftaufnahmen ausgewertet. Über die Ergebnisse soll in der vorliegenden Mitteilung berichtet werden.

An dieser Stelle möchte ich den folgenden bolivianischen Institutionen für ihre freundliche Unterstützung danken: Laboratorio de Física Cósmica (Universidad Mayor de San Andrés), Instituto Geográfico Militar, Servicio de Meteorología e Hidrología, Servicio Geológico Nacional.

nischen Institutionen für ihre freundliche Unterstützung danken: Laboratorio de Física Cósmica (Universidad Mayor de San Andrés), Instituto Geográfico Militar, Servicio de Meteorología e Hidrología, Servicio Geológico Nacional.

1. Temperaturverhältnisse

Der Bolivianisch-Peruanische Altiplano und die ihn umrahmenden Kordilleren bilden eine der größten Massenerhebungen der Erde. Das Temperaturfeld in der freien Atmosphäre über dem Gebirge und nahe der Erdoberfläche ist daher gerade hier von besonderem Interesse.

Eine repräsentative Vertikalabstufung ist mit den mehrjährig arbeitenden Stationen Irupana (1848 m) in den Yungas, La Paz (3632 m), El Alto (4103 m) am Rande des Talkessels von La Paz, und dem Observatorium am Chacaltaya in 5280 m gegeben (Servicio de Meteorología e Hidrología, früher Dirección General de Meteorología, 1956–1966). 1955–1964 ist die längste für die drei höheren Stationen gleichzeitige und nahezu vollständige Meßperiode. Danach wurden die Temperaturmessungen am Chacaltaya eingestellt. Die Meßreihe für Irupana beginnt erst 1959. Die Beobachtungen wurden über den ganzen Zeitraum 1955–1964 gemittelt, und zwar zunächst getrennt für die Halbjahre Mai–Oktober (Winter) und November–April (Sommer). Das aus den 8, 12, 14, und 18 Uhr-Terminen gewonnene Tagesmittel ist in Tabelle 1 aufgeführt, zusammen mit den mittleren Minimum- und Maximumtemperaturen; außerdem sind die absoluten Extreme während der gesamten Beobachtungsperiode wiedergegeben.

Tabelle 1: Temperaturverhältnisse der Cordillera Real nach Bodenbeobachtungen

Mitteltemperatur, mittlere und absolute Extremtemperaturen und Temperatur zum Morgenstermin (°C) für Gesamtjahr, Winter- (Mai–Oktober) und Sommerhalbjahr (November–April) im Zeitraum 1955–1964, für Chacaltaya (5280 m, 16°20'S, 68°10'W), El Alto (4083 m, 16°30'S, 68°08'W), La Paz (3632 m, 16°30'S, 68°08'W), und Irupana (1848 m, 16°27'S, 67°27'W; Zeitraum nur 1959–1964)

	Mitteltemperatur			mittl. Max.			mittl. Min.			abs. Max.			abs. Min.			Morgenstermin		
	Wi	So	Jahr	Wi	So	Jahr	Wi	So	Jahr	Wi	So	Jahr	Wi	So	Jahr	Wi	So	Jahr
Chacaltaya	+ 1.2	- 1.0	+ 0.1	+ 2.6	+ 3.1	+ 2.8	- 5.7	- 4.3	- 5.0	+ 11.0	+ 12.0	+ 12.0	- 15.9	- 15.0	- 3.2	- 3.2	- 1.2	- 2.2
El Alto	+ 8.1	+ 9.1	+ 8.6	+ 13.8	+ 13.6	+ 13.7	- 0.9	+ 2.3	+ 0.7	+ 19.0	+ 22.0	+ 22.0	- 8.4	- 2.0	+ 2.6	+ 5.1	+ 3.9	
La Paz	+ 10.2	+ 12.2	+ 11.2	+ 17.4	+ 18.2	+ 17.8	+ 2.9	+ 5.7	+ 4.3	+ 25.8	+ 26.0	+ 26.0	- 2.8	- 0.6	+ 8.7	+ 10.7	+ 9.7	
Irupana	+ 18.1	+ 19.8	+ 18.9	+ 23.4	+ 24.8	+ 24.1	+ 13.1	+ 16.1	+ 14.6	+ 30.0	+ 30.0	+ 30.0	+ 2.5	+ 9.0	+ 15.9	+ 18.0	+ 17.0	

Aus Tabelle 1 erhält man durch lineare Interpolation für die Höhenlage der 0 °C-Mitteltemperatur im Winterhalbjahr 5065 m, im Sommerhalbjahr 5240 m, und im Gesamtjahr 5153 m. Für eine mittlere Minimumtemperatur von 0 °C ergibt sich dementsprechend eine Höhenlage von 3995 m im Winter, 4555 m im Sommer, und 4270 m im Gesamtjahr. Die Höhenlage der mittleren Maximumtemperatur 0 °C für Winter- und Sommerhalbjahr wird vom Chacaltaya nicht mehr erreicht. Diese interpolierten Werte sind hier aufgeführt, weil sie im folgenden im Hinblick auf gewisse geomorphologische Phänomene von Belang sind.

Temperaturmessungen in der freien Atmosphäre über dem Gebirge sind in Beziehung zu Beobachtungen an den Bodenstationen bedeutsam. In La Paz gibt es seit 1963 Radiosondenaufstiege (12 GCT), die zum Teil in extenso veröffentlicht sind (Laboratorio de Física Cósmica, 1968). Leider wurden die Sondaufstiege mit größerer Regelmäßigkeit erst durchgeführt, nachdem die Temperaturmessungen am Observatorium Chacaltaya eingestellt waren. Ein unmittelbarer Vergleich mit gleichzeitigen Bodenbeobachtungen, wie in Tabelle 1, ist daher nicht möglich. Die veröffentlichten Daten wurden nichtsdestoweniger für zwei Jahre mit dichtem Aufstiegsprogramm (Februar 1965 bis Januar 1966 und Januar bis Dezember 1968) ausgewertet. Ergebnisse dieser Auswertung von insgesamt 580 Aufstiegen, getrennt nach Winter- (Mai–Oktober) und Sommerhalbjahr (November–April), sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Höhenlage der 0 °C Mitteltemperatur ergibt sich aus diesen Daten zu 4670 m im Winter, 4760 m im Sommer, und 4715 m im Gesamtjahr.

Tabelle 2: Mitteltemperaturen der freien Atmosphäre über dem Altiplano

nach 12 GCT Radiosondenaufstiegen in La Paz (Februar 1965 bis Januar 1966 und Januar bis Dezember 1968), für Gesamtjahr und Winter- (Mai–Oktober) und Sommerhalbjahr (November–April)

	Winter	Sommer	Jahr
6000 m	- 8.8	- 7.3	- 8.0
5500 m	- 5.5	- 4.3	- 4.9
5000 m	- 2.1	- 1.4	- 1.7
4500 m	+ 1.1	+ 1.5	+ 1.3
4000 m	+ 3.4	+ 4.3	+ 3.8
3500 m	+ 6.1	+ 7.9	+ 7.0

Zum Vergleich mit den Aufstiegen in La Paz (16°30'S, 68°08'W; 12 GCT) stehen die Radiosondenstationen von Lima (12°01'S, 77°07'W, 34 m; 00 GCT) und Antofagasta (23°28'S, 70°26'W, 122 m; 12 GCT), außerhalb der Anden an der Pazifischen Küste, zur Verfügung (U.S. Weather Bureau, 1965–1969). Daraus lassen sich für die Pazifikküste in 16°30'S -

der Breite von La Paz – repräsentative Temperaturwerte ableiten, unter Annahme einer linearen Änderung zwischen Lima und Antofagasta (Tabelle 3). Die Höhenlage der 0 °C-Mitteltemperatur ergibt sich aus diesen Daten zu 4580 m im Winter, 4780 m im Sommer, und 4680 m im Gesamtjahr.

Tabelle 3: Vertikalverteilung der Temperatur (°C) in der freien Atmosphäre über der Pazifischen Küste in 16°30'S

berechnet aus Radiosondenaufstiegen in Lima (12°01'S; 00 GCT) und Antofagasta (23°28'S; 12 GCT) im Zeitraum Februar 1965 bis Januar 1966, und Januar bis Dezember 1968, für Gesamtjahr, Winter- (Mai–Oktober) und Sommerhalbjahr (November–April)

	Winter	Sommer	Jahr
6000 m	– 9.5	– 7.4	– 8.8
5500 m	– 6.1	– 4.3	– 5.2
5000 m	– 3.2	– 1.3	– 2.2
4500 m	+ 0.6	+ 1.7	+ 1.2
4000 m	+ 3.9	+ 4.7	+ 4.4
3500 m	+ 7.2	+ 7.6	+ 7.5
3000 m	+ 10.5	+ 10.6	+ 10.6

Im Hinblick auf die wünschenswerte quantitative Erfassung des Massenerhebungseffekts (HASTENRATH, 1963, 1967) wären gleichzeitige Temperaturmessungen an Bodenstationen im Gebirge, sowie in der freien Atmosphäre über und außerhalb des Hochplateaus besonders wertvoll. Bei einem Vergleich der Tabellen 1 bis 3 ist aber zu beachten, daß sich nur die Radiosondendaten der Tabellen 2 und 3 auf den gleichen Zeitraum beziehen, wobei noch nicht einmal die Aufstiegstermine ganz übereinstimmen und Tabelle 3 nur interpolierte Werte gibt. Tabelle 1 vollends konnte nur für einen anderen Zeitraum erstellt werden, und basiert auf Messungen zu anderen Tageszeiten.

Mit diesen Einschränkungen sind gewisse Unterschiede zwischen den drei Beobachtungsquellen bemerkenswert. Für die 0 °C-Mitteltemperatur ergibt sich durchweg die geringste Höhenlage über der Pazifischen Küste, mit einem Ansteigen zum Altiplano, und – gemäß Bodenbeobachtungen – noch größeren Höhen in der Cordillera Real.

Die Stationstemperaturen der Tabelle 1 – sowohl Tagesmittel als auch Morgentermin – übertreffen bei weitem die Radiosondenwerte der Tabellen 2 und 3. Analog Tabelle 3 wurden die interpolierten Radiosonden-Temperaturen für 16°30'S über der Pazifischen Küste auch für den Zeitraum 1957–1964 zusammengestellt, sind aber hier nicht aufgeführt. Die Temperaturen für 1957–1964 sind etwas höher als für den Zeitraum der Tabellen 3 und 2, bleiben aber ebenfalls niedriger als die Stationswerte in Tabelle 1.

Die Sondenaufstiege von La Paz zeigen für die Niveaus oberhalb des Altiplano während des Winterhalbjahrs sowie für das Gesamtjahr höhere Temperaturen an als über der Pazifischen Küste, während

die Niveaus 4000 und 3500 m deutlich kälter sind. Da es sich um Morgenaufstiege handelt, könnte sich in den 4000- und 3500-m-Temperaturen ein nächtliches Abfließen und Ansammeln von Kaltluft im Talkessel von La Paz widerspiegeln. Der Temperaturüberschuß der höheren Niveaus gegenüber der Pazifischen Küste stellt möglicherweise den Heizeffekt des Hochplateaus dar. Im Sommerhalbjahr verschwinden die Temperaturgegensätze in der freien Atmosphäre zwischen La Paz und der Pazifikküste.

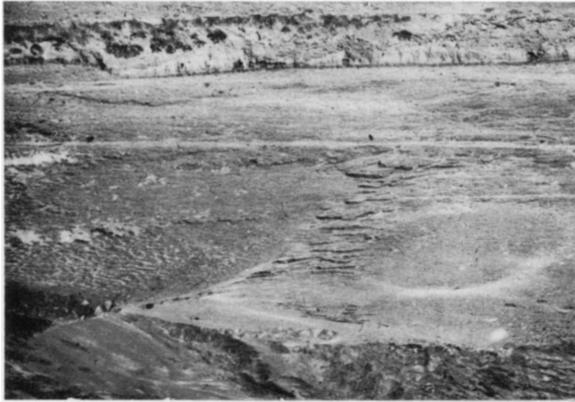
Das Beobachtungsmaterial der Tabellen 1 bis 3 dürfte hinsichtlich der Temperaturverhältnisse in der freien Atmosphäre im Bereich des Altiplano von allgemeinem Interesse sein; es wurde daher auch dargeboten, wenngleich es für einen zufriedenstellenden Nachweis des Massenerhebungseffekts nicht ausreicht.

2. Periglazialer Formenschatz

Auf dem Wege aus dem Talkessel von La Paz über den Altiplano zu der Hochregion des Chacaltaya und Huayna Potosí vollzieht sich ein ausgeprägter Wandel im periglazialen Formenschatz und in der Vegetation.

Charakteristisch für weite Teile des Altiplano ist die „Ichu“-Wuchsform von Gräsern, wie sie TROLL (1929, 1968) ausführlich beschrieben hat. Im bloßen Erscheinungsbild dieses „Ichu-Gras“ an Wuchsformen, wie sie in den Ekuadorianischen Anden um 3500 m und im Hochland von Guatemala in ähnlicher Meereshöhe vorkommen. In der Cordillera Real scheint dieses „Ichu“-Form bergauf um etwa 4000–4200 m allmählich aufzuhören. Auf dem Wege zum Chacaltaya trifft man etwas darüber, von etwa 4400 m an, immer häufiger Rasenauffrierungen, die die Vegetationsdecke zunehmend aufbrechen. In guter Übereinstimmung damit konnte beim Überqueren der Cordillera Real vom Altiplano hinunter in die Yungas das Zurückbleiben des „Ichu-Grases“ von etwa 4100 m an, und das Vorherrschen von Rasenauffrierungen (Abb. 1) oberhalb etwa 4400 m beobachtet werden. Der horizontale Gegensatz im Landschaftsbild vom Altiplano zu den Yungas ist ungemein eindrucksvoll; indessen ließ sich für die Hochregionen kein deutlicher Unterschied zwischen der West- und Ostseite der Cordillera Real ausmachen.

In Zusammenhang mit dem Beginn des Rasenschälens ist die Höhenlage der mittleren Minimumtemperatur von 0 °C von einigem Interesse, ist damit doch im ganzen der Höhenbereich angezeigt, von dem an Nachttemperaturen unter dem Gefrierpunkt mit größerer Regelmäßigkeit auftreten. Wie in Teil 2 dargelegt wurde, ist dieses Niveau in der Cordillera Real um 4300 m anzusetzen; es liegt also allenfalls ein wenig niedriger als die Untergrenze der verbreiteten Rasenauffrierungen. Der ursächliche Zusammenhang ist hier in der Tat naheliegend. Es sei darauf aufmerksam gemacht, daß sich in den Gebirgen Zentralamerikas eine ähnlich enge Übereinstimmung zwi-



1

2

3

4

Photo 1: Rasenauffrierungen und Rasengirlanden in der Gegend von „La Cumbre“, um 4500 m.
Turf exfoliations and turf garlands in the vicinity of 'La Cumbre', at 4.500 m.

Photo 2: Rasentreppen und Rasengirlanden in der Gegend von „La Cumbre“, um 4500 m.
Turf steps and turf garlands in the vicinity of 'La Cumbre', at 4.500 m.

Photo 3: Steinstreifen am Hang des Chacaltaya, oberhalb 5000 m.
Stone stripes on the slope of the Chacaltaya, above 5.000 m.

Photo 4: Steinnetze im Gebiet des Chacaltaya, oberhalb 5000 m (Aufnahmen S. HASTENRATH, Juni 1969)
Stone nets in the Chacaltaya area, above 5.000 m (Photographs: S. HASTENRATH, June 1969)

schen der Höhenlage der mittleren Minimumtemperatur von 0 °C und dem verbreiteten Auftreten von Rasenschalen ergibt (HASTENRATH, 1963).

Am Chacaltaya ebenso wie am Paß „La Cumbre“ im Zentralteil der Cordillera Real breitet sich oberhalb von etwa 4500 m eine Vielfalt von Erscheinungsformen gebundener Solifluktion (TROLL, 1968), wie Rasengirlanden, Rasenwülste und Rasentreppen (Abb. 2), aus.

Weiter bergauf verschwindet an den Hängen des Chacaltaya die schütterere Pflanzendecke ziemlich plötzlich bei ungefähr 5000 m; darüber beginnt abrupt die Region von nacktem Fels und Schutt. Im zentralen Teil der Kordillere erfolgt dieser scharfe Wechsel

in ähnlicher Höhenlage. An Hand von Feldbeobachtungen und topographischer Karte zeigt sich, daß diese Höhengrenze sogar auf der Luftaufnahme des Chacaltaya durch einen Kontrast in der Schwarzweiß-Tönung erkennbar ist. In dieser vegetationslosen Felsschuttregion wurden vor allem in der Gegend des Chacaltaya und Huayna Potosí eine Fülle von Erscheinungen beobachtet, die zur freien Solifluktion (TROLL, 1944) zu zählen sind.

Schutt- oder Steinstreifen von 10–50 cm Breite ziehen sich, dem Gefälle folgend- auf eine Länge von 100 m und mehr an steilen Hängen herunter (Abb. 3). Es ist eine Sortierung zu erkennen, derart daß das größte Material (bis zu mehr als Faustdicke) mehr



5



6



7



8

Photo 5: Steinpackungen in der Gipfelregion des Chacaltaya, um 5400 m. Etui in Bildmitte hat einen Durchmesser von 7 cm.
Stone packings in the peak region of the Chacaltaya, at 5.400 m. The box in the centre of the picture has a diameter of 7 cm.

Photo 6: Miniatur-Polygonboden oder „Kuchenboden“ im Gebiet des Chacaltaya, um 4700 m. Etui in Bildmitte hat einen Durchmesser von 7 cm.
Miniature polygon soils or 'cake soils' in the Chacaltaya area, at 4.700 m. The box in the centre of the picture has a diameter of 7 cm.

Photo 7: Gletscher auf der Südseite des Huayna Potosí (6088 m). Felskante im Vordergrund ist in etwa 5200 m.

Glacier on the south side of the Huayna Potosí (6.088 m). The rock precipice in the foreground is at about 5.200 m.

Photo 8: Büsserschnee oberhalb des Observatoriums am Chacaltaya, um 5380 m. (Aufnahmen S. HASTENRATH, Juni 1969)

'Büsserschnee' above the observatory on the Chacaltaya, at about 5.380 m. (Photographs: S. HASTENRATH, June 1969)

nach der Mitte des Streifens hin zu liegen kommt. Beim Aufgraben eines solchen Steinstreifens erhält man den Eindruck, daß dieses Gebilde auf die Oberfläche beschränkt ist. Der Untergrund erscheint ziemlich trocken. Der am Observatorium Chacaltaya im Zeitraum 1959–1964 gemessene mittlere Jahresniederschlag beträgt nur 606 mm. Eine reichere Durchfeuchtung des Bodens findet man nur in der Nähe der Schneefelder in der Kammregion, sowie längs einiger Rinnsale und einiger kleiner Seen weiter unterhalb in einem Talschluß. Die Schuttstreifen erinnern an eine Musterung, die ich bei Forschungsflügen in der kanadischen Arktis gesehen habe.

Eine ähnliche Erscheinung sind Steinnetze mit einer Maschenweite von etwa 10–20 m (Abb. 4), nur daß

sie auf Flächen geringerer Hangneigung beschränkt zu sein scheinen. Das dürfte der wesentliche Unterschied gegenüber den Steinstreifen sein. Steinstreifen und Steinnetze kommen an den Hängen des Chacaltaya oberhalb etwa 5000 m dort vor, wo geeignetes Schuttmaterial zur Verfügung steht.

In der Kammregion des Chacaltaya oberhalb etwa 5300 m steht Schiefer an, der ein plattenförmiges Schuttmaterial liefert. Die Durchfeuchtung des Untergrundes in der Nähe der Schneefelder ist offensichtlich. In diesem plattigen Schuttmaterial findet man in einem Höhenbereich zwischen 5300 und 5400 m allenthalben eine Tendenz zum Senkrechtstellen, mit Pressungen und Steinpackungen (Abb. 5).

Miniatur-Polygonböden oder „Kuchenböden“ (TROLL,

1944) sind im Gebiet des Chacaltaya keine verbreitete Erscheinung, was mit der im allgemeinen mangelhaften Bodendurchfeuchtung zusammenhängen dürfte. Prachtvolle Miniatur-Polygonböden findet man aber an den feuchten Stellen rund um einen kleinen See unterhalb des Observatoriums, in etwa 4700 m (Abb. 6). Die Weite der Steinpolygone ist ungefähr 20–40 cm. Das Innere der Ringe besteht aus einer weichen, sehr feuchten Feinerde, die etwas höher gewölbt ist als die umgebende Steinanordnung. Die Tiefe dieses Steinmusters scheint wenige cm zu betragen.

3. Glazialformen

Nach verschiedenen Angaben soll die klimatische Schneegrenze im Gebiet des Chacaltaya und Huayna Potosí früher wesentlich tiefer gelegen haben; gegenwärtig scheint sie sich aber allenfalls im Niveau der Kammregion des Chacaltaya um 5400 m zu behaupten. Abb. 7 zeigt einen Gletscher auf der Südseite des Huaya Potosí. Die Felskante im Vordergrund ist in etwa 5200 m. Die Aufnahme veranschaulicht die Höhenlage der rezenten Schneegrenze ganz grob um 5500 m.

Die Ablation auf den Schneefeldern am Chacaltaya zeigt die klassische Form des Büsserschnees (Abb. 8; vgl. auch TROLL, 1942). An Stellen mit unverdecktem Horizont sind die Schneespitzen allgemein nach Nor-

den gerichtet, was ungefähr der Richtung größter Sonnenhöhen entspricht. Die Orientierung der Spitzen reagiert aber offensichtlich sehr empfindlich auf eine lokale Einengung des Horizonts infolge der Topographie.

Fossile Kare, die die Höhenlage der Schneegrenze im Pleistozän anzeigen können, sind im Gebiet des Chacaltaya und Huayna Potosí zahlreich. Dabei deuten sich mehrere Niveaus an, zwischen etwa 4900 und 5300 m.

4. Höhenstufung

In Tabelle 4 wurde versucht, die Beobachtungsdaten mit Hinblick auf die vertikale Gliederung zusammenzustellen. Dies ist nur als allgemeine Orientierung zu verstehen. Fraglos sind lokale Unterschiede, etwa in Bodendurchfeuchtung und Pflanzendecke, von Belang für den Verlauf der morphologischen Höhengrenzen.

Vom Altiplano in die Kordillere hinaufsteigend, läßt sich als Untergrenze der Stufe gebundener Solifluktion etwa 4400 m vorschlagen. Das würde dem ersten verbreiteten Auftreten von Rasenschälen entsprechen, und etwas höher liegen als das Niveau der mittleren Minimumtemperatur von 0 °C. Diese Höhenstufe ist ferner durch das Vorkommen von Rasenwülsten, Rasengirlanden und Rasentreppen charakterisiert. Ihre Obergrenze ist mit dem abrupten Verschwinden der Pflanzendecke um 5000 m anzusetzen.

Tabelle 4: Periglazial-morphologische Höhenstufung der Cordillera Real

	Höhenstufe	Temperaturverhältnisse	Formenschatz
5500 m	ewiger Schnee	0 °C Jahresmitteltemperatur	Büsserschnee
	-----		— Schneegrenze — — — — —
	freie Solifluktion		Steinstreifen, Steinnetze, Kuchenböden, Steinpackungen.
5000 m	-----		— Obergrenze einer verbreiteten Pflanzendecke — — — — —
	gebundene Solifluktion		Rasenwülste, Rasengirlanden, Rasentreppen.
4500 m	-----	0 °C Jahresmittel der Minimumtemperatur	— Rasenschälen — — — — —
	Altiplano		
4000 m			

Diese ist zugleich als die Untergrenze der Stufe freier Solifluktion anzusehen. In dieser Stufe fällt (Frost-)Schutt in großer Menge an. Sortierung des groben Schuttmaterials erfolgt, je nach Hangneigung, in Steinstreifen und Steinnetzen. Die delikater geformten Miniatur-Polygonböden oder „Kuchenböden“ sind auf besonders feuchte Stellen mit Feinerde beschränkt. Steinpackungen sind bei Vorhandensein von geeignetem plattenförmigen Schuttmaterial zu finden. Die Obergrenze dieser Höhenstufe wird durch die Schneegrenze um 5400 m gebildet. Büsserschnee ist hier eine charakteristische Ablationsform. Es ist beabsichtigt, diese vorläufige Aufnahme in etwas weiterem Rahmen fortzusetzen.

Literatur

HASTENRATH, S., 1963: Über den Einfluß der Massenerhebung auf den Verlauf der Klima- und Vegetations-

- stufen in Mittelamerika und im südlichen Mexiko. *Geografiska Annaler*, 45, 76–83.
- 1967: Observations on the snow line in the Peruvian Andes. *J. Glaciol.*, 6, 541–550.
- Laboratorio de Física Cosmica*, Universidad Mayor de San Andrés, 1968: Final technical report on the cosmic ray intensity variations observed at Mount Chacaltaya during 1965–1967, and during 1968. La Paz, Bolivia, 60 and 90 pp.
- Servicio de Meteorología e Hidrología* (früher Dirección General de Meteorología), 1961–1966: Anuario Meteorológico, 1959–1964. La Paz, Bolivia.
- TROLL, C., 1929: Die Cordillera Real. *Zeitschr. Ges. Erdkunde Berlin*, 64, 279–312.
- 1942: Büsserschnee in den Hochgebirgen der Erde. *Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft Nr. 240.*, 103 pp.
- 1944: Strukturböden, Solifluktion und Frostklimate der Erde. *Geol. Rundschau*, 34, 545–694.
- 1968: The Cordilleras of the Tropical Americas. *Colloquium Geographicum*, 9, 15–56.
- U.S. Weather Bureau*, 1965–1969: Monthly climatic data for the World, 1965–1968. Asheville. N.C.

ZUR AUSBILDUNG ZENTRALÖRTLICHER SYSTEME BEIM ÜBERGANG VON DER SEMIAUTARKEN ZUR ARBEITSTEILIGEN GESELLSCHAFT

Ein Vergleich historischer Abfolgen in Mitteleuropa mit heutigen Verhältnissen in Entwicklungsländern, insbesondere am Beispiel Mexicos

Mit 2 Abbildungen, 2 Tabellen und 1 Beilage (III)

ERDMANN GORMSEN

Summary: The development of central place systems during the transition from a semi-autarchic society to one based on the division of labour.

Recent investigations in SW Germany have shown that the Christaller model, with its highly evolved hierarchy of central places, has only developed since the beginning of the Industrial Revolution, from a simpler system of a tightly-meshed market network with only a few larger towns. The temporal development stadia which unfolded over a 150 year period can be observed developing in a similar fashion in spatial proximity to each other in developing countries. The Puebla-Tlaxcala in Mexico can be taken as an example. It has the hardly altered market network of the semi-autarchic economic organisation of the Indios in the north, the already clearly visible changes consequent on improved transport development in the south, while in the industrialised central area the traditional market network is being overlain by a system of central places on the classical scale. In this way, a relationship can be demonstrated between the major groupings of the population and the central places of the various levels. Similar observations have been reported from the Near East and other parts of the world. In terms of research methodology, Christaller's telephone method proved most useful as a preliminary technique since Mexico

is in the situation of early telephone development. Other methods must naturally be used for more precise definition.

Untersuchungen zum System der zentralen Orte und der ihnen zugeordneten Bereiche haben in steigendem Maße Geographen, Nationalökonomien und Landesplaner beschäftigt, seit 1933 das nun schon klassische Werk von CHRISTALLER über „Die zentralen Orte in Süddeutschland“ erschien. Dabei gab es von Anfang an zwei Forschungsrichtungen, die beide schon von CHRISTALLER vorgezeichnet wurden: eine theoretische, die auf den Entwurf von funktionalen Raummodellen gerichtet ist, und eine angewandte, die zentralörtliche Beziehungsgefüge in gegebenen Gebieten untersucht, teilweise im Hinblick auf konkrete landesplanerische Erfordernisse.

1. Entwicklung zentralörtlicher Systeme in Mitteleuropa

Die Grundvorstellungen zu diesem Forschungsprogramm stammen aus dem Mitteleuropa zu Beginn unseres Jahrhunderts mit seiner ausgeprägten Städte-