# KLIMAÖKOLOGISCHE MERKMALE DER KÜSTENKORDILLERE IN DER REGION ANTOFAGASTA (NORDCHILE)\*

MICHAEL RICHTER, ERLANGEN

### **SUMMARY**

The lomas of northern Chile, a vegetation type of thorny shrubs with annuals, may be subdivided into a continuous strip from La Serena to Chañaral and in a fragmentary complex form Chañaral to Tocopilla; to the north up to the totally different lomas of Southern Peru a hyperarid desert prevails. Attention is focused on Morro Moreno on the Mejillones Peninsula, the only remarkable elevation of the region, with slopes facing in all directions (Fig. 1, right) and thus permitting the study of climato-ecologically significant wind and down wind effects within the fog zone between 400 and 1.000 m a.s.l. ("camanchacas").

Situated just south of the tropical boundary, Morro Moreno, the northernmost outpost of the Chilean lomas has all the characteristics of a climato-morphological transition area. Within a small region there exist considerable differences in the degree of weathering-roundness of the gabbro-debris (Fig. 5), in the state of preservation of the tracks caused by former herds of guanaco, in soil development and in landforms (Fig. 6). These features are evidence of high fog intensities and scarcly occurring heavy rains on the southwestern side, of extreme aridity on the eastern side and the exclusive effect of fog on the northwestern side. The large-scale transition of geomorphological processes described by ABELE (1984, 1993) for the region between Antofagasta and Iquique is thus concentrated on a small area in this isolated mountain.

Mesoclimatically the upper fog locations, despite frequent camanchaca events, show somewhat broader daily amplitudes of temperature and air humidity than the coastal area (Fig. 8). This is a consequence of the favourable fogs alternating with extremely high rates of incoming radiation. Thus considerable microclimatic variations are evident for the Morro Moreno crest area

<sup>\*</sup> Die Studie entstand im Rahmen des Projektes "Klimaökologische Untersuchungen in der Hochatacama". Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei für die großzügige Finanzierung gedankt.

(Fig. 7, 9), with soil surface heating up to 60°C and diurnal fluctuations of 40 K. In spite of the frequent fogs the loma vegetation is therefore characterized by xerophilous traits.

Similarly considerable variations in time and space of the vitality and species composition are evidence of larger climato-ecological variations than would be expected from the seemingly uniform foggy climate: many of species listed in Tab. 3 for four of the six isolated localities studied only show little phenological constancy (Fig. 1, left). In addition to the evolutionary isolation of the growth locations, variations of the weather also contribute to the floristic dissimilarity of the north Chilean loma sites (Fig. 10, 11). The life form spectra reveal a xeric south-north change from the dominance of nanophanerophytes to chamaephytes (Fig. 12).

In the vertical profile the most dense vegetation stands tend to concentrate in the belt just below the upper limit of fogs rising by about 100 m from Taltal to Antafagasta. In Paposo, however, where vegetation development is best, the maximum heighth is considerably less (Fig. 13). Higher vegetation density there already leads to competitional pressure, which can be seen from low values of eveness within the belt of highest density together with the mass occurrence of only a few species (Tab. 4). Within a short distance the up wind/down wind differences cause a remarkable change of the vegetation aspect exemplified in Fig. 15 by the saisonal aspects of two neighbouring sites.

Targeted vegetation studies in the lomas permit the evaluation of fog intensity (Fig. 16), leading to questions of water use (e.g. fog-water gained by collectors). Another result is that the floristic, symmorphological and altitudinal originality of the loma sites between Chañaral and Antofagasta is evidence of a long-lasting paleoclimatic isolation. The aridity of the coastal desert of northern Chile, which has obviously persisted since the Pliocene, seems to have increased over the last four decades, as appears from the mass extinction of major characteristical species between Antofagasta and Tocopilla (Oxalis gigantea and Euphorbia lactiflua have disappeared, and Eulychnia iquiquensis is dying over large areas).

# **ZUSAMMENFASSUNG**

Die Lomas von Nordchile untergliedern sich in ein geschlossenes Band von La Serena bis Chañaral und einen lückenhaften Komplex von Chañaral bis Tocopilla; nördlich herrscht bis zu den ganz andersartigen Lomas von Südperu Vollwüste. Im Zentrum der Betrachtungen steht der Morro Moreno auf der Halbinsel Mejillones, der die einzige bemerkenswerte Erhebung mit Hängen in allen Expositionen bildet (Abb. 1, rechts). Er erlaubt damit Untersuchungen klima-ökologisch wirksamer Luv-Lee-Effekte in der Nebelzone zwischen 400 und 1000 m ("camanchacas").

Knapp südlich der Tropengrenze gelegen zeigt der Morro Moreno als nördlicher Vorposten der chilenischen Lomas Merkmale eines klimamorphologischen Übergangs. Hier werden auf kleinem Raum erhebliche Unterschiede im verwitterungsbedingten Zurundungsgrad des Gabbroschutts (Abb. 5), im Erhaltungszustand der Treiten früherer Guanacoherden, in der Bodenbildung und im Formenschatz deutlich (Abb. 6). Die Merkmale belegen für die Südwestseite hohe Nebelintensitäten und auch seltene Starkregen-Tätigkeit, für die Ostseite extreme Trockenheit und ausschließliche Nebel-Einwirkung für den Nordwesten. Der von ABELE (1984, 1993)

beschriebene großräumige morphologische Prozeßwandel zwischen Antofagasta und Iquique konzentriert sich auf dem isolierten Massiv also auf kleinstem Raum.

In mesoklimatischer Hinsicht zeichnet sich für die oberen Nebellagen trotz häufiger Camanchaca-Einwirkungen gegenüber den Küstenbereich eine etwas breitere Tagesamplitude der Temperatur und Luftfeuchte ab (Abb. 8). Denn der Gunstfaktor Nebel wechselt sich hier mit extrem hohen Einstrahlungsraten ab. So lassen sich im Kammbereich des Morro Moreno erhebliche mikroklimatische Variationen nachweisen (Abb. 7 und 9), wobei an Bodenoberflächen bereits Aufheizungen bis 60 °C und Tagesschwankungen von 40 K auftreten können. Die Loma-Vegetation wird daher trotz des häufigen Nebeleinflusses durch xerophile Merkmale geprägt.

Ebenso zeigen starke raumzeitliche Schwankungen im Vitalitätsgrad und in der Artenzusammensetzung größere klimaökologische Variationen, als das scheinbar uniforme Nebelklima vermuten läßt: Viele der in Tab. 3 aufgeführten Arten von vier der insgesamt sechs untersuchten isolierten Lokalitäten (Abb. 1, links) belegen eine geringe phänologische Konstanz. Witterungsunterschiede erklären neben der evolutiven Isolation der Wuchsorte auch die floristische Unähnlichkeit der nordchilenischen Lomastellen (Abb. 10 und 11). Die Lebensformenspektren verdeutlichen einen xerischen Süd-Nord-Wandel von Nanophanerophyten- zu Chamaephyten-Dominanz (Abb. 12).

Hinsichtlich der Vertikalgliederung konzentriert sich die dichteste Vegetation vorwiegend auf die Stufe unmittelbar unter der Obergrenze der Nebel und steigt von Taltal nach Antofagasta um rund 100 m an. In Paposo, wo die üppigste Ausbildung herrscht, liegen die Maximalbereiche allerdings deutlich tiefer (Abb. 13). Hier schafft die höhere Vegetationsdichte bereits Konkurrenzdruck, für den geringe Evenness-Werte in der Stufe größter Dichte mit Massenvorkommen weniger Arten spricht (Tab. 4). Schon auf kurzer Distanz bedingen Luv-Lee-Unterschiede einen krassen Wandel im Vegetationsbild, wie in Abb. 15 die Saisonaspekte von zwei benachbarten Standorten verdeutlichen.

Gezielte Vegetationsstudien in den Lomas erlauben eine Beurteilung der Nebelintensität (Abb. 16), woran sich Fragen zur Wassernutzung anknüpfen (z.B. über Netzkollektoren). Darüber hinaus bezeugt die floristische, synmorphologische und höhenzonale Eigenständigkeit der Loma-Standorte zwischen Chañaral und Antofagasta eine lange paläoklimatologische Isolation. Die offensichtlich seit dem Pliozän anhaltende Aridität in der Küstenwüste Nordchiles dürfte sich seit vier Jahrzehnten noch verstärken, wie das Massensterben wichtiger Charakterarten zwischen Antofagasta und Tocopilla belegt (Oxalis gigantea und Euphorbia lactiflua sind verschwunden, Eulychnia iquiquensis stirbt weitflächig).

# 1. VORBEMERKUNG

Die vorliegende Arbeit ist letztlich als Zufallsprodukt zu sehen: während der Vorstudien für ein späteres Forschungsprojekt\* nahm der Verfasser im Oktober 1989 mehrere Termine mit Ansprechpartnern von Regionalbehörden in Antofagasta wahr. Um die Wartezeit an einem Wochenende zu verkürzen, besuchte er ohne größere Erwartungen den Morro Moreno, mit 1147 m ü.M. die höchste Erhebung der Halbinsel Mejillones. Hier traf er im Südwesten des Höhenzuges eine Vegetationsdichte an, die von der pflanzenleeren Fußstufe und der weiteren Umgebung her

kaum abzusehen war. Auch die regionale CONAF, die zuständige forstliche Administration, verfügte zu diesem Zeitpunkt kaum über entsprechende Anhaltspunkte. Zwar liegt von SCHMITHÜSEN (1956, Abb. 6) eine Skizze der Nebelstufe und Vegetation in einem Querprofil vom Morro Moreno bis La Chimba vor, einer zweiten lokalen Gunststelle bei Antofagasta. Die Zeichnung verdeutlicht jedoch, daß er z.B. die dichten Kakteenbestände an dem Berg übersehen hatte. - Umso bemerkenswerter erscheint die Beachtung der sehr eigenständigen Flechtenflora am Morro Moreno, die FOLLMANN (1967) entdeckte und beschrieb.

Aus der neueren Fachliteratur läßt sich die Vernachlässigung der Gefäßpflanzenflora am Morro Moreno auch aus einem ökologischen Blickwinkel ableiten. Mike Dillon vom Field Museum in Chicago (s. RUNDEL et al., 1991) hatte während seiner Arbeiten in den 80er Jahren den Morro Moreno zwar besucht, jedoch nur eine wenig entwickelte Vegetation in der Nebelzone vorgefunden, die nicht einmal die Hälfte der Taxa von La Chimba aufwies. Seine Artangaben stehen im deutlichen Kontrast zu eigenen Beobachtungen:

Zählung Dillon, ca. 1985: Morro Moreno = 28 / La Chimba = 60 Zählung Richter, Okt. 1994: Morro Moreno = 65 / La Chimba = 21

Die Umkehrung der Verhältnisse ist jedoch kaum auf mangelhafte Verfahren zurückzuführen, sondern auf ein raumzeitlich sehr wirkungsvolles Kriterium: die stark variierenden Wechsel im Zustand der Pflanzendecke. Denn tatsächlich bildete für die eigenen Ergebnisse noch ein weiterer Zufall die Grundlage. Im Juni 1991 sorgte ein außergewöhnlicher Regenfall (RICHTER et al., 1992) im gleichen Gebiet für eine Pflanzenentwicklung, die annähernd vollständige floristische Aufnahmen erst ermöglichte. Dabei stellte sich während Bestimmungsarbeiten im Staatsherbar von Concepción heraus, daß fünf der gefundenen Arten neu für Chile bzw. z.T. sogar gänzlich unbekannt sind.

Ein zweiter sehr lokaler Regenfall im Mai 1992 (s. 4.3) lieferte schließlich den letzten Impuls, das Interesse an den angelaufenen Studien wachzuhalten, bot doch nun die nicht einmal 10 km² große Fläche am Morro Moreno zuvor kaum bedachte pflanzengeographische und klimaökologische Aspekte.

# 2. LAGE UND ABGRENZUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Sicherlich bildet der Morro Moreno als nördlicher Eckpunkt der an Endemiten reichen Küstenabdachung in der zweiten Region nicht den Prototypus der nordchilenischen Lomas. Wenn er
hier dennoch im Zentrum der Betrachtungen steht, so hängt dies mit seiner Lage auf einer Halbinsel zusammen. Denn auf mehreren 100 km Distanz bildet er die einzige nennenswerte Erhebung mit allseits exponierten Hängen und eignet sich folglich besonders, die Klimawirkung
von Luv-Lee-Unterschieden in einer Nebelwüste zu verdeutlichen.

Zudem verläuft der Wendekreis des Steinbocks fast genau über dem Gipfel, wobei hier gleichzeitig die Grenze zwischen sporadischen Vegetationsinseln im Süden und der nordwärtigen Vollwüste liegt. Von hier bis Tocopilla besiedelt nur noch eine perenne Pflanze die Küstenhänge zwischen 300 und 1000 m ü.M., die Kandelaberkaktee Eulychnia iquiquensis; sie ist überdies

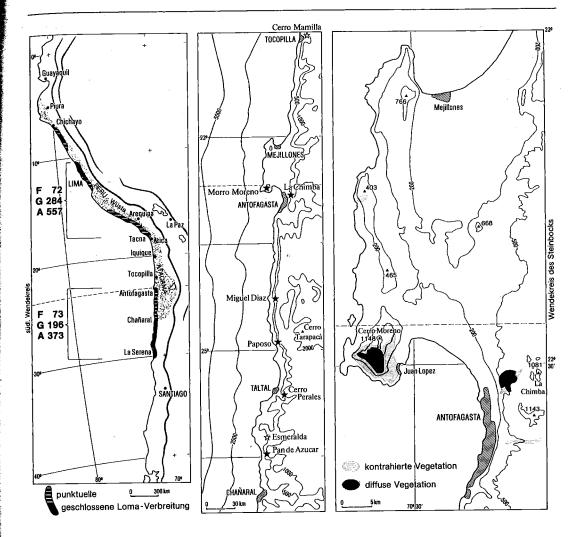


Abb. 1: Vegetationsübersichten verschiedenen Maßstabs. Links: Verbreitung der Lomas in Chile und Peru; Mitte: Lage der bekannten Loma Vorkommen zwischen Chañaral und Tocopilla; Rechts: Verteilung der diffusen und kontrahierten Vegetation bei Antofagasta

Fig. 1: Vegetation surveys at different scales. Left: distribution of lomas in Chile and Peru; Center: location of the known and investigated sites of loma between Chañaral and Tocopilla; Right: areas of diffuse and contracted vegetation near Antofagasta

fast ausschließlich mit toten Stümpfen vertreten. Bei Tocopilla tritt am Cerro Mamilla noch einmal ein kleiner Flecken auf (OLTREMAN et al., 1987), in dem unter optimalen Klimabedingungen einjährige Arten neben wenigen Kakteen und Sträuchern für einen "Loma-Aspekt" sorgen. Ansonsten bleibt es bis zum Grenzgebiet zwischen Arica und Tacna extrem pflanzenarm. Noch weiter nördlich folgen andersartige Lomas mit ebenfalls hohem Endemitenanteil, die in Abb. 1 mehrfach untergliedert sind (vgl. KOEPKE, 1961; FERREYRA, 1983; OKA et al., 1984; MÜLLER, 1985; RAUH, 1985; RUNDEL et al., 1991).

Unter dem Gesichtspunkt dieses Wandels werden in Abb. 1 (links) die beiden Lomagebiete Chiles und Perus voneinander getrennt. Im chilenischen Teil läßt sich die Südgrenze bei La Serena nördlich des Nebelwaldgebietes von Fray Jorge und die Nordgrenze auf der Halbinsel Mejillones festlegen.

Bis Chañaral, also bis zur Mitte des Küstenstreifens bestehen die Formationen aus einer schütteren, diffus verteilten Pflanzendecke. Nördlich von Chañaral liegen sie dagegen in einzelne Komplexe zerstückelt vor, wobei sich die Lücken nach Antofagasta zu vergrößern. In Abb. 1 (Mitte) werden die bislang bekannten Bereiche mit Deckungsgraden über 10% und einem Besatz von mehr als 20 Arten/km² ausgeschieden. Davon gelten Pan de Azucar als Nationalpark sowie Paposo in botanischen Fachkreisen aus überregionaler Sicht als bemerkenswert, während Cerro Perales und La Chimba als Ausflugsziele in einer ansonsten öden Umgebung nur von lokaler Attraktion sind. Miguel Diaz und Morro Moreno erfreuen sich noch einer weitgehenden Unberührtheit.

Liegt die Obergrenze der Vegetation überall zwischen 850 und 1000 m ü.M., so zeichnen sich nur Pan de Azucar und Paposo auch unterhalb von 400 m durch eine vitale Pflanzendecke aus. In La Chimba und am Morro Moreno trifft man erst darüber auf eine diffuse Verteilung; unterhalb beschränkt sich eine kontrahierte Vegetation auf die Einschnitte ("Barrancas") der Schwemmfächer und Trockentäler ("Quebradas"). Dies zeigt die Übersicht der Peninsula Mejillones in Abb. 1 (rechts), wo sich die diffuse Verteilung auf den oberen Südwesthang des Morro Moreno konzentriert. Die Abgrenzung der kontrahierten Vegetation bleibt fraglich, da bei dem Besuch vor den beiden Regenfällen in den Jahren 1991 und 1992 selbst diese schütteren Vorkommen restlos fehlten.

# 3. NATÜRLICHE GRUNDZÜGE DER KÜSTE ZWISCHEN TOCOPILLA UND CHAÑARAL

WEISCHET (1966) trennt die pazifische Küstenwüste von der Binnenwüste durch folgende Besonderheiten des Klimas ab:

- 1. häufige Himmelsbedeckung durch niedrige Schichtwolken,
- 2. geringe tägliche und jährliche Temperaturschwankungen und
- 3. hohe Luftfeuchtigkeit bei sehr seltenen Niederschlägen.

Indem die Schichtbewölkung an den steilen Küstenhängen in Höhen zwischen 400 und 1000 m ü.M. Nebel verursacht, führen diese "camanchacas" stellenweise zu einer erheblichen Steigerung der effektiven Feuchte. Für eine Abschätzung der Nebelausfällung erweisen sich Arbeiten der kanadisch-chilenischen Gruppe um Robert SCHEMENAUER und Pilar CERECEDA als aufschlußreich. Im weltweit beachteten El Tofo-Projekt bei La Serena versorgen über Netzkollektoren aufgefangene Nebel das Örtchen Chungungo mit Wasser (SCHEMENAUER et al., 1988). Hier belaufen sich die Niederschläge der Camanchacas in einem Höhenbereich zwischen 450 und 850 m ü.M. auf mehr als 100 mm/a mit einem Maximum von knapp 200 mm/a unmittelbar unterhalb der Wolkenobergrenze. Da im gleichen Transekt ab 350 ü.M. auch der Deckungsgrad der Vegetation erhöht ist, läßt sich für den Unterhang ein Bodenfeuchte-Input durch Hangzugwasser ableiten. Stark begünstigt sind Sattelpunkte über SW-Hängen in optimaler Höhenlage, wo

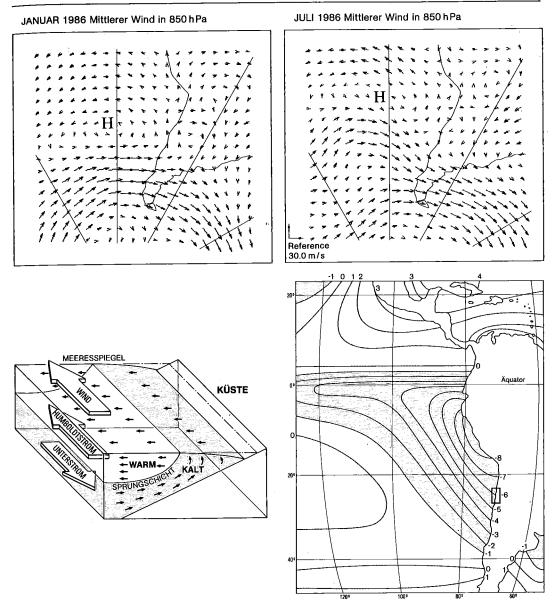


Abb. 2: Oben: Mittlere Windwerte im 850 hPa-Niveau im Jan. und Juli 1986 über Südamerika und dem Ostpazifik (Quelle: Griddaten des australischen Wetterdienstes, erarbeitet von BÖHM, 1994); Temperaturschichtung und Richtung des Humboldtstroms im Küsten- bereich (u. l., n. ARNTZ et al., 1991); Residuen der mittleren Oberflächentemperatur im Ostpazifik (u. r., n. RIEHL, 1954).

Fig. 2: Above: Mean wind values at the 850 hPa level over South America and Eastern Pacific in January and July 1986 (source: grid-data from the Australian Weather Service, elaborated by BÖHM,1994); b.l.: temperature stratification and direction of the Humboldt current in the coastal area (a. ARNTZ et. al., 1991); b.r.: residuals of mean surface temperature in the eastern Pacific (a. RIEHL, 1954).

Düseneffekte für eine Steigerung der Feuchtezufuhr sorgen. Ferner erweist sich an steilen Küstenhängen die Nebeleinwirkung über die resultierende Bodenfeuchte gegenüber flachgeneigten Partien als weitaus effektiver (vgl. Schema bei RICHTER, 1980).

Die hohe Ergiebigkeit von Camanchacas in SW-Expositionen erklärt sich aus der Lage des in räumlicher und jahreszeitlicher Hinsicht persistenten südostpazifischen Subtropenhochs. Abb. 2 belegt am Beispiel von Windwerten im 850 hPa-Niveau, daß sich über der Schichtbewölkung das Zirkulationssystem zwischen Winter und Sommer nur um wenige Breitengrade verlagert. Die Luftmassendivergenz bedingt eine permanente Ankurbelung des Humboldtstroms, dessen kalte Auftriebwässer in Abb. 2 (unten) als System und in Form von Residuen der Meeresoberflächen-Temperaturen aufgezeigt werden.

Die Stratusbewölkung erklärt sich aus dem Zusammentreffen der abwärtigen Komponente der überlagernden Hadley-Zelle mit der aufsteigenden Verdunstungsfeuchte des Meeres. Unterhalb der resultierenden Inversionsschicht schlägt in der Mittagszeit ein Seewindsystem durch, das kühlfeuchte Meeresluft an den Hängen auftreibt und Nebelbildung zur Folge haben kann (Foto 1). So trennt SCHMITHÜSEN (1956) mit Recht die Stratusbewölkung von den anliegenden Nebeln, die trotz gleicher Höhenlage genetisch nicht zusammenhängen. Im Winter dauern diese Nebel länger als im Sommer an, da bei niedrigeren Lufttemperaturen der Taupunkt herabgesetzt ist. Dies bedingt aber nicht, daß die Winternebel zwangsläufig ergiebiger sind. SCHE-MENAUER et al. (1988) belegen eher das Gegenteil, indem im wärmeren Sommer die erhöhte Aufnahmekapazität an Wasserdampf kurzzeitig effektivere Nebel verursacht.

Der Einfluß der Camanchacas erschwert im Bereich der Nebelwüste die Festlegung der Tropengrenze. Letztere scheint die Küstenlinie bei Antofagasta zu kreuzen, da hier die Amplitude der Tagestemperatur derjenigen des Jahres entspricht. Allerdings liegen dort die Daten des Flughafens Cerro Moreno zugrunde, der mit seiner Leelage östlich des Morro Moreno eine untypische Position in einem nebelarmen Sektor einnimmt. Vielmehr bleibt anzumerken, daß bei Anwendung des Verfahrens Stationen wie Arica und weitere in Südperu noch zu den Außertropen zählen. Andere Kriterien ergänzen jedoch die Argumentation für eine Tropengrenze zwischen Antofagasta bis Tocopilla. So greifen extrem seltene frontale Niederschläge bis in diesen Abschnitt vor, von denen in Antofagasta jener im Juni 1991 (und im Mai 1992, s.o.) das einzige nennenswerte Ereignis seit 1940 bildet.

Frontale Niederschläge und Nebel können an der Küste zwischen Chañaral und Arica insofern morphologisch wirksam werden, als hier durchweg über 1000 m hohe Steilabhänge aufragen.

Diese resultieren aus dem Zusammenwirken von mariner Abrasion und "tectonic erosion" im Rahmen der Subduktion (ABELE, 1989). Es fällt auf, daß dem gleichen Abschnitt die größten Meerestiefen im ostpazifischen Graben vorgelagert sind. Sie erklären sich aus einer nur schwachen Sedimentation, da seit dem mittleren Tertiär eine Materialzufuhr aus dem Hinterland nahezu fehlt. Als Indiz gilt auch die Tatsache, daß nur wenige Täler die Hochkordillere an den Tiefseegraben anbinden (ABELE, 1993).

Dennoch unterliegen die formenbildenden Kräfte im Küstenbereich keineswegs einer einheitlichen Morphogenese. Vielmehr trennt ABELE (1984) den Abschnitt an der Mündung des Rio Loa nahe Tocopilla in einen südlichen und nördlichen Teil. Polwärts zeichnet sich in den stark



Foto 1: Landsat MSS-Aufnahme der Küste nördlich Antofagasta mit der Halbinsel Mejillones. Beachte die Stratusbewölkung über dem Meer sowie den kleinen quasi-persistenten Fleck eines Wolkenstaus an der Südwest-Abdachung des Höhenzugs des Morro Moreno.

Photo 1: Landsat-MSS image of the coast north of Antofagasta with the peninsula of Mejillones. Note the stratus clouds over the ocean as well as the small in its way persistant spot of a jamed cloud at the south-western slope of the hill range of Morro Moreno.

zerschnittenen Hängen noch die Wirkung seltener frontaler Starkregen ab. Abb. 3 belegt (max R/24 h), daß Antofagasta - anders als Iquique - noch im Bereich torrentieller Regen liegt.

RICHTER

Äquatorwärts erfolgt dagegen die Verlagerung des durch Salzverwitterung aufbereiteten Schutts nur durch murartiges Abfließen, das allein von der Nebeldurchfeuchtung mit feinsten Nieselregen herrührt. Stetige Wechsel zwischen Salzverkrustung und salzbedingter Solifluktion verursachen fein- bis grobklastische Schuttauflagen, die die Hänge überkleiden ("pentes de Richter" im Sinne von BIROT et al., 1961). Südlich der Mündung des Rio Loa weist der Küstenabfall dage-

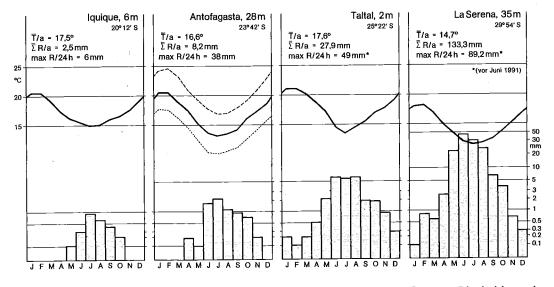


Abb. 3: Klimadiagramme von Iquique, Antofagasta, Taltal und La Serena. Die beiden mittleren Stationen befinden sich innerhalb des Untersuchungsgebiets, die beiden äußeren nördlich bzw. südlich davon. Die Niederschlagsachse ist logarithmisch verkürzt (In).

Fig.3: Climate diagrammes of Iquique, Antofagasta, Taltal and La Serena. The two intermediate stations lie within the study area, the outer in the north and south of it.

Logarithmic scaling of the precipitation axis.

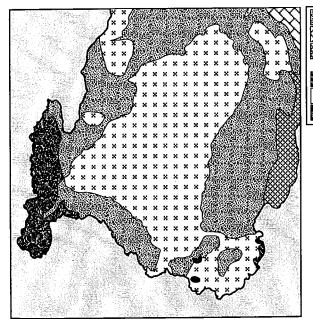
gegen intensive Hangzerschneidung durch Talzerkerbung mit beachtlichen Schüttungen von Murkegeln im Vorfeld auf. Da zwischen Iquique und Taltal recht einheitliche jurassisch-kretazische Vulkanite und Intrusiva überwiegen, liegt kein Hinweis auf eine gesteinsbedingte Prozeßförderung der Hangglättung oder Hangzerschneidung vor. So findet sich auch in dieser Trennlinie die ungefähre Position der Tropengrenze wieder.

Schließlich fällt auf, daß die größte Vegetationslücke zwischen den einzelnen Loma-Segmenten ebenfalls bei Antofagasta (bzw. Tocopilla) einsetzt. Sie geht mit einer bedeutenden floristischen Trennlinie zwischen den chilenischen und peruanischen Loma-Arten einher. Ein floristischer Vergleich von Mike DILLON (in RUNDEL et al., 1991) ergibt für die insgesamt fast 1000 Vertreter der beiden Florenprovinzen eine Arten-Übereinstimmung von nur 7 %. Dabei zeichnet sich die peruanische Loma-Vegetation zumindest auf Gattungs- und Artenebene durch einen größeren floristischen Reichtum aus als diejenige Nordchiles (Abb. 1, links).

# 4. KLIMAMORPHOLOGISCHE MERKMALE AM MORRO MORENO

Ein Vergleich der Temperatur- und Niederschlagsdaten für die in Abb. 3 aufgeführten Klimadiagramme erweist sich als wenig aufregend, erlauben doch die hier dargestellten Parameter keine wesentliche Differenzierung des Nebelklimas der Küstenwüste. Für eine Beurteilung der Nebelintensität bieten sich indirekte Verfahren an. Neben vegetationskundlichen helfen hierbei klimamorphologische Ableitungen, die auf der beschriebenen Differenzierung im Sinne von ABELE aufbauen. So eröffnet die Erfassung des Formenschatzes am Morro Moreno Möglichkeiten einer topoklimatischen Raumgliederung. Sie wird durch sporadische Beobachtungen zur Bewölkung ergänzt.

Die Beurteilung der Nebelsituation aus terrestrischer Beobachtung bleibt naturgemäß unvollkommen. Ziemlich eindeutig ist jedoch die häufige Lage der Wolke in der Windpforte des südlichen Sattels (Abb. 5), die in jeder Hinsicht die von SCHEMENAUER et al. (1988) beschriebenen topographischen Voraussetzungen zur Bildung dichter Nebel erfüllt (s.o.). Selbst an klaren Sonnentagen läßt sich die kleine Wolkenhaube am südlichen Massivgipfel (Foto 1) von Antofagasta aus oftmals erkennen. Weniger deutlich verläuft die Grenze der maximalen Nebelausbreitung in den Wintermonaten, da schon leichte Strömungswechsel und Temperaturschwankungen im Laufe des Tages zu Variationen führen.



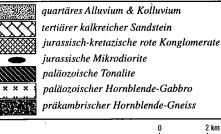


Abb. 4: Verbreitung der Gesteinsformationen am Morro Moreno (nach BAEZZA et al. 1984)

Fig. 4: Distribution of rocks at Morro Moreno (a. BAEZZA et al. 1984)

Die unterschiedlichen hygrothermischen Voraussetzungen zeichnen sich auf mehreren Ebenen in der Ausprägung des Formenschatzes ab. Im kleinen Betrachtungsmaßstab erklärt die Einwirkung einer erhöhten Luftfeuchte etwa den Abrundungsgrad von nicht bzw. wenig verlagerten Steinen. Hierzu liegen Untersuchungen von Stichproben mit 100 bis 200 in situ-Analysen von 40 Stellen

294

vor, wobei den Abrundungsklassen scharfkantig, kantig, kantengerundet und rund der Typus "tafonisiert" bei deutlicher Ausprägung kleiner Höhlungsformen hinzugefügt ist. Im vorliegenden Fall dient das Verfahren nicht der Beurteilung von Transportmedien oder -strecken, sondern des Ausmaßes und der Art der hydrolytischen Verwitterung. Beim Morro Moreno läßt sich das Verfahren insofern vertreten, als die lithologischen Voraussetzungen in großen Teilen des Massivs vergleichbar sind (Abb. 4): es herrschen paläozoische Gabbros vor, die durch einen hohen Anteil an Plagioklas (ca. 40-45%), Pyroxen (20-50%) und stellenweise auch an Chlorit und Olivin charakterisiert sind (frdl. Bestimmung von Prof. Dr. Reinhold Roßner, Inst. f. Geologie und Mineralogie FAU, Erlangen).

Die Zusammenstellung der 14 ausgewählten "Verwitterungs-Histogramme" in Abb. 5 entspricht dem Prinzip der vier Richtungen des geographischen Formenwandels. Mit den lfd. Nummern 1-5 und 8-12 werden Profile von der Luvseite über den Kamm zur Leeseite gelegt. Im Süden entsprechen die Nummern 6 und 7 küstennächsten Standorten mit Salzeinwehung, im Norden die Nummern 13 und 14 relativ küstenfernen Gipfellagen. Die Lesart der jeweiligen Reihen von links nach rechts läßt den Wandel am deutlichsten erkennen.

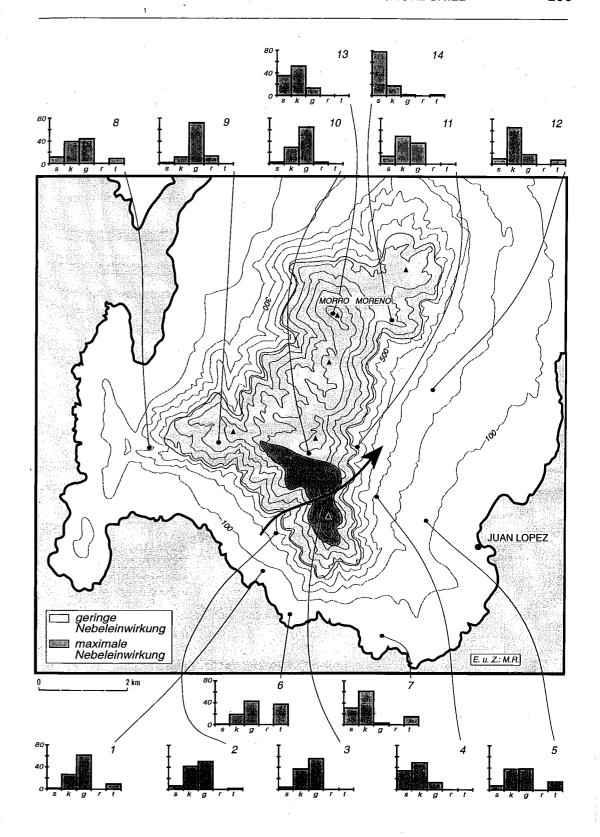
Es wird klar, daß am Osthang und in der nördlichen Gipfelregion scharfkantiger bis kantiger Schutt vorherrscht (Nr. 4, 7, 11, 13 und 14). Das Gebiet erweist sich mit seiner gravitativ-denudatity verlagerten Schuttauflage über dem vorwiegend scharfkantig herauspräpariertem Anstehenden als schwer passierbar. Jedoch erleichtern im grobklastischen Substrat ohne Ansätze zur Feinerdebildung treitenartige Trampelpfade den Zugang; diese rühren von Guanacogruppen her, die am Morro Moreno bis in die 60er Jahre existierten (heute noch in Miguel Diaz und Pan de Azucar anzutreffen).

An der Südwestseite ist das Wegenetz der Guanacos noch dichter ausgeprägt, jedoch durch breiförmige Kleinmuren, Rutschungen und Spülrillen zerstückelt (Foto 2), z.T. sogar flächendeckend verwischt. Hier überwiegen gerundete Formen im Lockergestein (Nr. 1, 9, 10, ferner 2 und 3), das oftmals in schwach rotbräunlich gefärbtes, tonreiches Feinmaterial eingebettet ist. Die Begehung ist auf fossilem, oberflächlich schwach verklebtem Bodenmaterial etwas weniger mühselig.

In den drei Merkmalen Zurundungsgrad, Erhaltungszustand der Guanacotreiten und Bodenbildung zeichnen sich die hygrischen Unterschiede der beiden Expositionen ab: Im Westen fördert die verstärkte Nebelbildung die chemische Verwitterung, während im Osten die physikalische eindeutig überwiegt.

gegenüberliegende Seite / oposite page:

- Nebellagen am Morro Moreno. Die Skizze spiegelt ganz grob die maximale Ausbrei-Abb. 5: tung im Winter und die minimale im Sommer wider. Die Diagramme mit Lagepunkten zeigen die Verteilung der Zurundungsgrade in den Steinauflagen an: s = scharfkantig, k = kantengerundet, g = gerundet, r = rund, t = tafoniert.
- Fig. 5: Fog positions at Morro Moreno. The sketch roughly portrays the maximum extent in winter and the minimum extent in summer. The diadramms with location points show the pattern of the degrees of roundness of stone layer: s = sharply angular, k = rounded edges, g = rounded, r = round, t = tafonis.



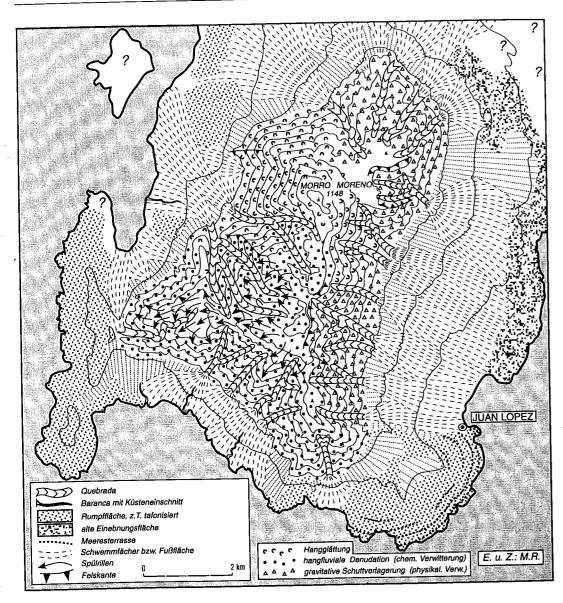


Abb. 6: Karte des Formenschatzes am Morro Moreno. Im linken Legendenrahmen sind Formen, im rechten hangmorphologische Prozesse aufgeführt.

Fig. 6: Landform map of Morro Moreno. The forms are listed to the left, the slope processes to the right.

Was den nördlichen Teil des Massivs betrifft, so wird der Morro Moreno selbst durch einen dichten Schuttmantel gekennzeichnet, der Anzeichen der beschriebenen Hangglättung aufweist (Abb. 6). Kleinmuren lassen sich allerdings in dem grobklastischen Material, das hier das Anstehende restlos überkleidet, nicht ausmachen. Im Sinne von ABELE (1984) belegt aber die lükkenlose Feinschuttauflage, daß die Verwitterungsrate die Abtragungsrate übersteigt. Hiervon

zeugt auch das weitgehende Fehlen von Spülrillen und Gräben im Oberhang. Sogar die am Westund Osthang typischen Taleinschnitte der Quebradas setzen vorübergehend aus. Dies gilt selbst für den Oberhang im NE-Sektor; unterhalb der Verflachung bei 700 - 800 m ü.M. fällt dagegen eine retrogressive Einschneidung in die Denudationsterrasse auf. Die Talgenese ist entweder als Vorzeitprozeß zu deuten oder rührt von episodischen Starkregen aus südlichen Richtungen her (vgl. dazu Bildung kleinster Wölkchen in diesem Bereich, Foto 1). Im letzteren Falle müßte die NW-Exposition als extremste Leelage bezeichnet werden.



Foto 2: Verkrusteter und von Spülrillen (Unwetter im Mai 1992) durchsetzter Paläoboden auf der Südwestseite des Morro Moreno bei 760 m ü.M. Im Nebel Eulychnia mit trockenem Unterwuchs, der von der Auskämmung der "camanchacas" profitiert. Der Aufnahmestandort befindet sich in Abb. 5 in dem von Rillenspülung gekennzeichneten Bereich.

Photo 2: Encrusted paleosoil dissected by rill erosion on the soutwestern slope of Morro Moreno at 760 m a.s.l. Within the fog Eulychenia with dry undergrowth profiting from the watercombing effect of the "camanchacas". This stand is located at Fig. 5 within the section dominated by rill erosion.

Der Befund des von ABELE für einen Großraum belegten Wandels im energetischen Prozeßgefüge ist hier insofern bemerkenswert, weil er auf einer Distanz von nur knapp 5 km eintritt. Damit wird der topoklimatische Faktor als prägendes Merkmal der Formengenese klar erkennbar. Außerdem stellt sich heraus, daß die Hänge des Hauptgipfels innerhalb des durch torrentielle Niederschläge geprägten Großraums eine Sonderstellung einnehmen, die sich aus seiner Leelagen-Position im unmittelbaren Küstenbereich erklärt.

Die Beschreibung zur Formengenese des Gebirgskörpers ist durch jene des Sockels zu ergänzen, der von Akkumulationen verschiedenen Alters geprägt wird. Zu unterscheiden sind zahlreiche Schwemmkegel (Abb. 6), die mit ihrer eisen- und manganhaltigen Patina als Vorzeitformen anzusprechen sind. Sie lassen sich möglicherweise den von VEIT (1995) beschriebenen etwas feuchteren, aber immer noch vollariden Phasen im Spät- und Postglazial zuordnen. Spuren einer flächenhaften Überformung sind nirgendwo zu erkennen. Wohl aber belegen vereinzelte, sehr markante Barranca-Zerschneidungen im Kliffbereich an der Westküste sowie flache Spülbetten auf der Osteite eine linienhafte Überprägung (RICHTER et al., 1995).

Die Schwemmfächer überlagern weitere Sedimentauflagen. Diese setzen als Gefällsknicke am Gebirgsmassiv an und lassen sich in Abb. 6 als Restflächen zwischen den oberen Schüttungsfeldern der jüngeren Kegel ausmachen. Da das Material nicht den Tälchen, sondern direkt den Hängen entstammt, ist von einer Pediment-Bildung auszugehen. Sie könnte als semi-aride Phase der Fächerbildung unter ariden Bedingungen vorausgegangen sein. An der Südküste, ferner auch im Nordwesten des Gebietes, erscheinen die Felssockel der Fußflächen von der Sedimentauflage entblößt. Als "glacis d'érosion" mit intensiver Tafonierung weisen sie auf eine geringe rezente Formengestaltung durch Transportmedien hin.

Die Tafonierung als prägende Verwitterungsform in Küstennähe kommt in Abb. 5 an den Zählstellen 6, ferner 1, 7 und 8 zum Ausdruck. Hierin zeigt sich die Rolle einer Salzdrift, die sich gerade im südwestlichen Sektor zum Meer hin in der Zunahme der Höhlungen im Intrusivgestein bemerkbar macht. Den Prototyp der Tafoniküste Nordchiles im Sinne von GRENIER (1968) stellt aber die im Westen vorgelagerte Halbinsel von Burica dar. Eine Erklärung zu den Befunden der immerhin rund 10%igen Tafonierung auf den östlichen Glacis-Oberflächen muß Fachkundigen überlassen bleiben (Nr. 5 und 12; Vorzeitrelikte?).

## 5. DAS MESO- UND MIKROKLIMA AM MORRO MORENO

# 5.1 Luv-Lee-Effekte und Höhengradienten

Die meso- und mikroklimatischen Untersuchungen am Morro Moreno beruhen auf Wochenmessungen mit Thermo-Hygrographen bzw. auf Tagesmessungen mit Sensoren am nebelreichen Sattel und an einem nur 600 Meter entfernten leeseitigen Standort jeweils in 810 m ü.M. (Abb. 7 und Abb. 9). Die Bestimmung von Höhengradienten beschränkt sich auf Vergleiche (Abb. 8) der Werte von Thermo-Hygrographen-Stationen in 8 und 810 m ü.M. Eine Beurteilung der Nebelniederschläge fehlt wegen des Geräte- und Zeitaufwandes. Jedoch bildet das Ausmaß der Nebelnitensität am Morro Moreno die Voraussetzung für den klimaökologischen Wandel auf kleinem Raum, so daß ersatzweise Dichtebestimmungen der Vegetation als Beurteilungsmöglichkeit wahrgenommen werden (s.u., Abb. 16).

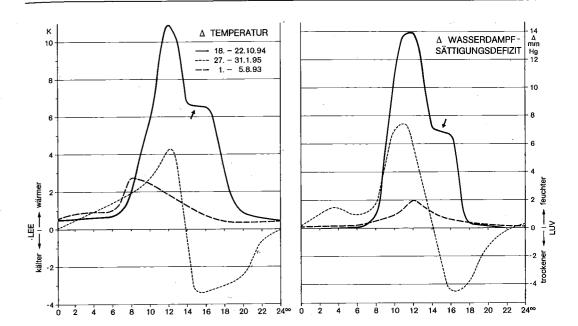


Abb. 7: Gegensätze der Temperaturen und Sättigungsdefizite an einem luv- (l.) und leeseitigen Standort (r.) bei 810 m ü.M. im Sattelbereich des südlichen Kamms. Messungen 10 cm ü.Gr., jeweils 5- Tagesmittel im August 1993, Oktober 1994 und Januar 1995.

Fig. 7: Temperature contrasts water-vapor deficits at an up wind (l.) and down wind location r.) at 810 m a.s.l. in the saddle area of the southern ridge. 5-day mean measured at 10 cm above the ground in August 1993, October 1994 and January 1995.

Ein Vergleich der Temperatur- und Feuchtewerte am nebelreichen Sattel mit denen der Leeseite belegt in Anbetracht der Nähe der beiden Meßpunkte für den Übergangsmonat Oktober bemerkenswerte lokalklimatische Unterschiede für den Übergangsmonat Oktober (ähnlich wohl auch für März/April). In Abb. 7 kommt die längere Nebeleinwirkung am Sattel vor allem durch die großen thermischen und hygrischen Differenzen in der Mittagszeit zum Ausdruck, wenn der Lee-Standort im Gegensatz zum Sattel regelmäßig in der Sonne liegt. In dieser Phase, in der sich die mittleren Abweichungen auf 11 K bzw. 14 mm Hg belaufen, sind an Einzeltagen noch viel stärkere Kontraste festzustellen. So seien für den Mittag des 22.10.94 Eckwerte von 32°C gegenüber 16°C bei 80% gegenüber 36% relativer Luftfeuchtigkeit erwähnt. Die zwischen 14 und 16h<sup>00</sup> eintretende Verzögerung während des Differenz-Rückgangs (s. Pfeile bei 6,5 K bzw. 7 mm/Hg) kommt durch übergreifende Nebel von Südwesten auf die Leeseite zustande. Sie lösen sich zu dieser Tages- und Jahreszeit bei abströmenden Luftmassen auf der Ostseite bei 600 - 700 m ü.M. auf.

Im nebelarmen Januar sind die Gegensätze zwischen den Standorten hingegen geringer; bei fehlenden Nebeln kommt es nachmittags sogar zu einer Begünstigung der Luvseite (Abb. 7). Kaum ausgeprägt sind die Differenzen schließlich in der feuchten Jahreszeit, da dann die Nebel luvund leeseitig nahezu ganztägig wirksam sind und tief hinabreichen.

Abb. 8 belegt für den Winter, daß die Temperaturen an der 800 m höher gelegenen Meßstelle ganztägig unter denen der meeresnahen Station Juan Lopez liegen, sieht man von einer Anomalie am 13.-14.8.93 ab (s.u.). An den drei "Normaltagen" stellen sich am Sattel nur bis mittags kurze Erwärmungsphasen bei deutlich sinkender Luftfeuchte ein. Gerade in den Wintermonaten bilden also dichte Nebel ("N") die Basis für eine Pflanzenregeneration, die von September bis Dezember auf die effektivere Feuchte reagiert.

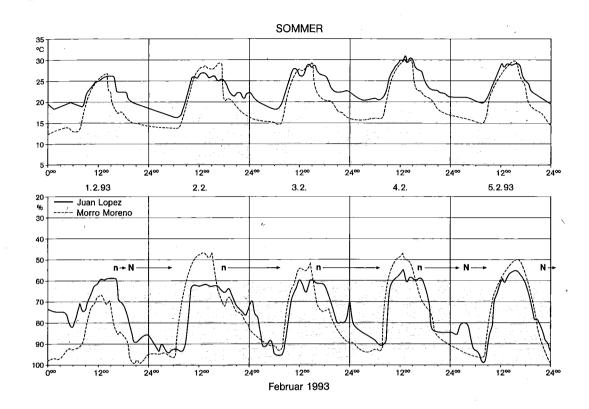
Die Analyse des sommerlichen Datensatzes ergibt, daß Temperatur und Luftfeuchte in der Nebelzone zumindest tagsüber nicht so stark von den Werten an der Küste abweichen, wie von der Höhenlage und Wirkung der Camanchacas zu erwarten wäre. Vielmehr besteht eine Art "Páramo-Effekt" (RICHTER, 1991), d.h. trotz häufiger Nebel kann es auch in der Kammregion kurzzeitig zu raschen Aufheizungen kommen. Zumindest die absoluten Amplituden - nicht immer die täglichen - übersteigen in der Nebelzone diejenigen des Küstenabschnitts: im vorliegenden Falle beträgt sie in der Winterspanne an den "Normaltagen" am Sattel 9 K gegenüber 7 K an der Küste und in der sonnenreicheren Sommerphase 18 K gegenüber 15 K.

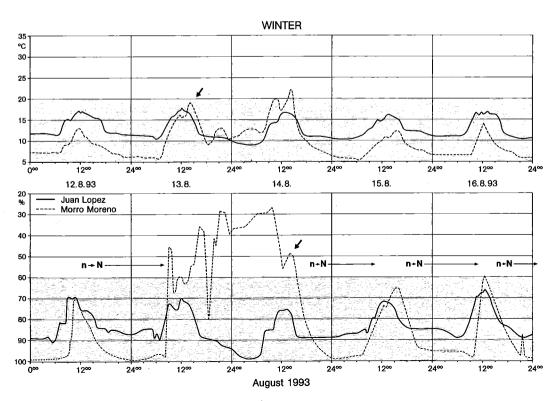
Die in Abb. 8 mit Pfeilen markierte Erwärmung und Austrocknung am 13.-14.7.94 geht auf einen Fall zurück, der im Winter des öfteren auftritt. Es handelt sich um ein Abtauchen der Nebelinversion auf 700 m, nachts sogar hinunter auf 500 m ü.M., das in der üblichen Konzentrationszone eine markante Unterbrechung der Camanchacas verursacht. Es schlagen dann trockenwarme Strömungen durch, die den divergierenden Luftmassen der Kernpassatzone entstammen. Dies führt zu markanten Kontrasten zwischen Sattel und Küste; denn nun entspricht die Tagesamplitude von 17 K am Kamm der Binnenwüste des Hinterlandes, diejenige von rund 7 K in Juan Lopez stattdessen weiterhin der Küstenwüste. Entsprechendes gilt für die relative Luftfeuchtigkeit, die für den behandelten Zeitraum gleichfalls erhebliche Unterschiede bei den Spannweiten belegt (Abb. 8).

Im Gegensatz zu den Ausführungen von SCHMITHÜSEN (1956) zum Gebiet von Fray-Jorge zeichnet sich am Morro Moreno eine recht deutliche tageszeitliche Komponente der Nebelbildung ab. Die Camanchacas setzen im Winter durchweg gegen 12h00 bzw. im Sommer gegen 14h00 ein und dauern oftmals die ganze Nacht über bis 7-9h00 an. In Juan Lopez bleibt hingegen die trocken-warme Tageszeit trotz abendlicher Horizontabschirmung ein bis drei Stunden länger erhalten. Erst danach wirken sich hier die übergreifenden Nebel des Kammes in Form von Wolkenschatten aus. Auch erreichen die nächtlichen Werte der relativen Luftfeuchte in Juan Lopez trotz Meeresnähe nicht ganz die Höchstwerte der Kammregion. Mit SCHMITHÜSENs Ansicht einher geht die Beobachtung, daß mit Ausnahme der nebelärmeren Sommermonate Januar bis März keine erkennbaren Variationen der Nebelintensität im Verlaufe des Jahres auftreten.

# gegenüberliegende Seite / opposite page

- Abb. 8: Temperatur- und Luftfeuchtegänge einer fünftägigen Meßperiode im Februar und August 1993. Gegenüberstellung einer meeresnahen Station in 8 m ü.M. am Rand von Juan Lopez und einer Station im Sattelbereich des südlichen Kamms bei 810 m ü.M. n = Phase mit leichtem, N = mit dichtem Nebel.
- Fig. 8: Courses of temperature and air humidity of a five-day lasting period of measurements in February and August 1993. Comparison of a seaside station at 8 m a.s.l. near Juan Lopez and a station in the saddle area of the souther ridge at 810 m a.s.l. n = phase with little and N = with dense fog.





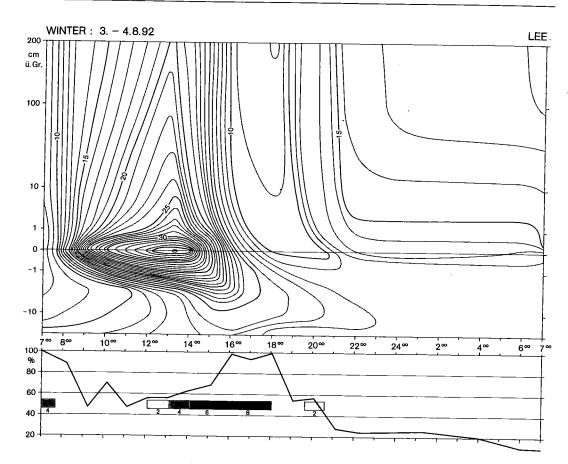


Abb. 9a: (s. a. gegenüberliègende Seite) Temperaturschichtung und Luftfeuchte-Gang im bodennächsten Bereich an zwei typischen Tagen im Winter. Die Vergleichsmessungen erfolgten gleichzeitig an den Standorten der Thermo-Hygrographen-Stationen im Luv und Lee des Kammbereichs. Beschreibung des Verfahrens bei RICHTER (1980).

# 5.2 Temperatur und Luftfeuchte im bodennächsten Bereich

Höhengradienten-Analysen an der pazifischen Kordillerenabdachung in Südperu zeigen, daß die Nebelküste vom Strahlungsumsatz her zur Binnenwüste oberhalb 1.000 m ü.M. kontrastiert (RICHTER, 1980). So wird die Küste in bezug auf die mittlere Temperaturspanne der Luft während beider Jahreszeiten durch negative, der Kordillerenanstieg hingegen durch positive Residuen gekennzeichnet. Für den bodennächsten Bereich belegen Messungen bei Ilo in 10 m ü.M. Oberflächen-Tagesamplituden um 25 K, während sie bei 1270 m ü.M. auf etwa 50 K und höhenwärts weiter ansteigen. Die analogen Spannweiten der relativen Feuchte liegen in 1 cm ü.Gr. zwischen 100 und 35% in Ilo bzw. zwischen 75 und 15% in La Joya. Trotz der Kürze der Messungen wird deutlich, daß der Energieumsatz an der Küste von einer durchweg nur schwach, in der Binnenwüste hingegen von einer stark positiven Bowen-Ratio geprägt wird.

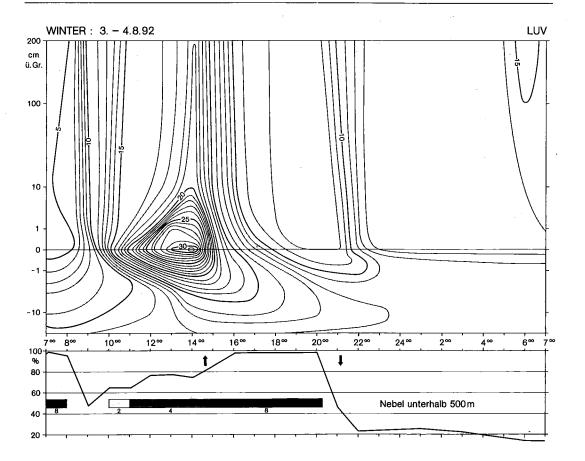


Fig. 9a: (r.t. opposite side) Stratification of temperature and course of air humidity within the nearest ground layer on two typical days in wintertime. The comparative measurements were taken at the same time at the sites of weater stations winward and leeward of the saddle area (Fig. 7).

Dieser Kontrast innerhalb eines Trockengebietes kommt durch das unterschiedliche Verhältnis zwischen direkter und diffuser Einstrahlung zustande. Letztere erhöht sich an der Küste nicht allein aufgrund der Abschirmung durch Schichtwolken und Nebel. Zu berücksichtigen ist auch die leicht erhöhte Rayleigh-Streuung bei größerer Wasserdampfkonzentration sowie vor allem die stärkere Absorption infolge des deutlich höheren Aerosolgehaltes. Die feuchte Luft verursacht eine starke Quellung insbesondere der Salze, so daß hierdurch auch die Reflexion und die Mie-Streuung verstärkt werden. Dies erklärt selbst für wolkenlose Tage die beträchtliche Minderung der Strahlungswerte an der Küste (Tab. 1).

Den strahlungsmindernden Faktoren zum Trotz bleibt herauszuheben, daß die Küstenwüste von Antofagasta zu den strahlungsreichsten Gebieten der Erde zählt. Für die Hochkordilleren darf nach Untersuchungen im Atacama-Projekt sogar als gesichert gelten, daß hier im weltweiten Vergleich maximale Strahlungswerte erreicht werden. So sind die Ergebnisse mikroklimatischer

Tagesmessungen (Abb. 9) vor den beiden gegensätzlichen Hintergründen der Nebelbildung bei hoher Strahlungsbelastung zu sehen.

Tab. 1: Ergebnisse spektralradiometrischer UV-Messungen an Strahlungstagen bei senkrechtem Sonnenstand; Messungen im Jan./Febr. 1992 (genaueres s. PIAZENA, im Druck). dir = direkte, diff = diffuse Strahlung.

Ort	Höhe ü.M.	Einstrahlung	dir : diff	Gründe für
4 . 6		308-374 nm W/m <sup>2</sup>	308-374 nm	den Wandel
Antofagasta	I m	40	1,6	Quellung
San Pedro	2450 m	46	2,7	Stäube
Diablo	3850 m	51	3,3	(Stäube)
Sairecabur	5500 m	55	4,5	(Staube)

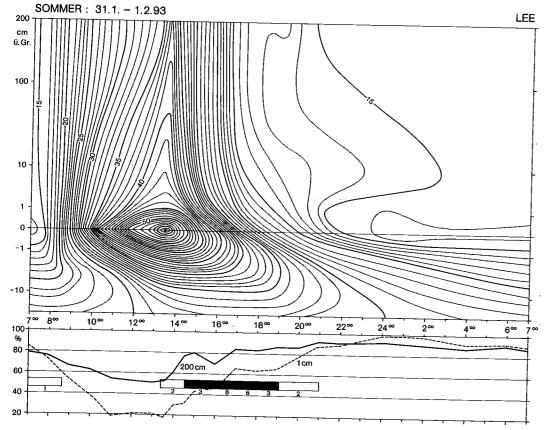


Abb. 9b (vgl. 9a): (s.a. gegenüberliegende Seite) Temperaturschichtung und Luftfeuchte-Gang im bodennächsten Bereich an zwei typischen Tagen im Sommer.

Hier werden aus mehreren Meßkampagnen in den Jahren 1992 - 1994 zwei Beispiele aus verschiedenen Jahreszeiten vorgelegt, die für klimaökologische Erklärungsansätze als repräsentativ gelten dürfen. Für eine leichtere Interpretation der mikroklimatischen Messungen seien zunächst einige Eckwerte tabellarisch gegenüber gestellt:

Tab. 2: Extremwerte der Luft- und Bodenoberflächentemperaturen (T2 und T0, in °C) sowie der relativen Luftfeuchtigkeit in 2 m ü.Gr. (rF2); Angaben der Stunden (Std.) dichten Nebels (ZNe) mit Zeitpunkt des Einsetzens (h). Bezug: In Abb. 9 zusammengestellte Messungen auf der Luv- und Leeseite im Süden des Morro Moreno.

	Somme	Sommer LEE			W	inter LU	V	Winter LEE					
	min	max	Diff	min	max	Diff	min	max	Diff	min	max	Diff	
T-2	13,2	27,5	14,3	14,4	38,1	23,7	4,7	18,9	14,2	8,5	20,5	12,0	
T-0	12,6	46,2	33,6	13,1	57,1	44,0	4,3	31,2	26,9	7,8	31,3	23,5	
rF2	60,0	100,0	40,0	51,0	92,0	41,0	15,0	100,0	85,0	9,0	100,0	91,0	
Zne	7 S	td; 13h3	30	2 S	td; 16h	00	6 Std; 15h00			5 Std; 15h30			

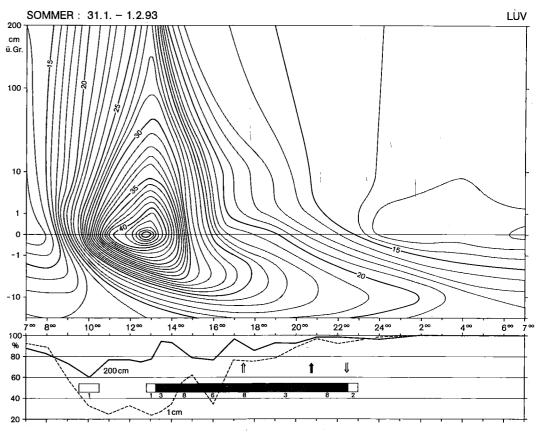


Fig. 9b: Stratification of temperature and course of air humidity within the nearest ground layer on two typical days in summertime (compare with Fig. 9a)

Der Vergleich der Meßwerte sowie die Diagramme verdeutlichen, daß die Kontraste zwischen Luv- und Leeseite im Sommer erheblich, im Winter aber eher unbedeutend sind. Letzteres erklärt sich aus den weiter verbreiteten, dichteren Nebeln im Winter, die dann auch in Randlagen wirksam werden. Allerdings kann es durch Absinken der Inversion, die in Abb. 9a am 4.8. ab 19h00 bzw. 21h00 auftritt, im Bereich der oberen Nebellagen zu Austrocknungsimpulsen kommen. Solche Situationen halten allerdings selten lange an und werden vor allem nachts wirksam (s.a. 13.-14.8.93 in Abb. 8), so daß sie aus klimaökologischer Sicht kaum einschneidend sind. Dies begründet auch die geringere Dichte der Isothermen für beide Standorte bei ähnlicher Konfiguration, obwohl die Schwankungen in der relativen Luftfeuchte erheblich sind.

Anders hingegen beim Vergleich der sommerlichen Werte: Hier liegen die Isothermen bei ohnehin dichterer Scharung im Lee deutlich enger als im Luv (vgl. Amplituden in Tab. 2). Dies erklärt sich aus der direkten Einstrahlung nach Auflösung der morgendlichen Nebel, die im Westen nur bis kurz nach Mittag anhält, im Osten dagegen auch noch am Nachmittag. Die hygrothermischen Unterschiede zwischen den beiden Standorten können sich also an einzelnen Tagen im Sommer viel stärker bemerkbar machen als im Winter (vgl. dagegen mittelfristige Ergebnisse in Abb. 7).

Als Ableitung aus diesen Ausführungen ergibt sich also für den Nebelbereich

- für den Winter eine gleichmäßigere Frequenz der Ereignisse bei größerer räumlicher, insbesondere vertikaler Variabilität und
- für den Sommer eine ungleichmäßigere Frequenz der Ereignisse bei größerer räumlicher Eingrenzung.

Im Sommer schlägt dabei der Effekt des hohen Strahlungsinputs der Region durch, indem es zu oberflächlichen Aufheizungen von 60°C und zu Tagesamplituden von über 40 K kommen kann. Trotzdem verursacht der relativ hohe Wasserdampfgehalt einen Ausgleich, denn die genannten Werte reichen bei weitem nicht an diejenigen der extrem lufttrockenen Binnenwüste heran. Dort lassen sich ganz andere Dimensionen ausmachen, die vor allem in Höhenlagen um 4000 m ü.M. einzigartig auf der Erde sein dürften. Als rekordverdächtig gilt eine Tagesmessung in 4200 m ü.M. östlich des Salar de Atacama über Toconao, bei der am 26.1.92 auf dunkelgrauen Basaltaschen um 6h00 ein Minimum von -14,6°C und um 13h30 ein Maximum von 74,8°C ermittelt wurden, also eine Amplitude von 89,4 K!

## 6. DIE NEBELVEGETATION

# 6.1 Floristische und symmorphologische Affinitäten der Standorte

In ökophysiologischer Analogie zum "Paramo-Effekt" passen sich Pflanzen der Nebelwüste hinsichtlich ihrer Wuchsformen nicht an den "Normalfall Nebel" sondern an die Trockenphasen anpassen (Sukkulenz, Blattverlust, Überdauerung als Samen). Neben den Sukkulenten, trockenkahlen Zwergsträuchern und den Annuellen treten in den Nebelzonen nur sehr vereinzelt immergrüne Arten auf, die unter quasipermanenter Kühle und Feuchteversorgung zu gedeihen vermögen. Hierzu zählen die in Paposo und Miguel Diaz endemischen Tillandsia tragophora und Berberis litoralis, deren semiskleromorphes Laub einem "Nebeltypus" eigentlich am nächsten kommt.

Gerade die für subtropische Wüstengebiete typische Therophyten-Dominanz erschwert die Aufstellung einer kompletten Florenliste. So ist die Übersicht in Tab. 3 sicherlich als "optimistische Variante" einzustufen, gehen hier doch neben eigenen Funden Aufzeichnungen aus vier unpublizierten und fünf publizierten Listen verschiedener Bearbeiter ein. Paposo könnte aufgrund der mehrfachen Bearbeitung durch verschiedene Autoren etwas überrepräsentiert sein. Jedoch erscheint die weite Auslegung insofern gerechtfertigt, als die hochvariablen Aufnahmen zu keiner Zeit ein halbwegs vollständiges Repertoire erwarten lassen. Dies erklärt wahrscheinlich auch, daß in jeder der in verschiedenen Jahren aufgenommenen Listen Arten erscheinen, die allen anderen Zusammenstellungen fehlen (in der Hoffnung, daß keine Fehlbestimmungen vorliegen). – Die wenigen in der Check-Liste von MARTICORENA et al. (1985) fehlenden Taxa sind mit "\*"

Aus Tab. 3 läßt sich eine anteilmäßige Gegenüberstellung der Taxa von Gesamt-Chile sowie der untersuchten Lomaküste ableiten. Der Vergleich der Prozentangaben für jede auftretende Familie verdeutlicht (Werte in Klammern), inwiefern das jeweilige Taxon in den Lomas über- oder unterdurchschnittlich vertreten ist. Auf dem ersten Blick scheint die Mehrzahl der vorkommenden Familien überrepräsentiert zu sein; da aber viele der chilenischen Taxa im Küstenbereich von Antofagasta überhaupt nicht vertreten sind, fallen sie aus der Beurteilung heraus. Und auch die meisten großen Familien sind in den Lomas unterpräsentiert: Compositen (ratio = 1:1,5), Gramineen (1:3), Cruciferen (1:8,5), Fabaceen (1:2), Scrophulariaceen (1:2,5) und Umbelliferen (1:2). Bei den Caryophyllaceen, Malvaceen, Oxalidaceen und Solanaceen als weiteren artenreichen Familien liegen ähnliche Relationen vor.

Überrepräsentiert sind neben vielen kleinen Gruppen, bei denen die Polypodiaceen (13:1) und Bromeliaceen (5:1) herausstechen, die folgenden Familien: Cactaceen (4:1), Chenopodiaceen (3:1), Labiaten (2,5:1), Loasaceen (2,5:1) und Portulacaceen (2:1). Meist handelt es sich um Taxa, die zu xerophytischen Wuchsformen neigen. Bei den Nolanaceen (6:1) und Malesherbiaceen (3,5:1) erklärt sich der überdurchschnittliche Anteil aus dem Mannigfaltigkeitszentrum dieser Familie im chilenisch-peruanischen Lomakomplex.

Ein floristischer Vergleich der isolierten Standorte untereinander belegt zunächst, daß Cerro Perales und Miguel Diaz mehr als die Hälfte des gesamten Artenbesatzes der Lomas gemein ist, und in Paposo sogar über drei Viertel davon vertreten sind. Morro Moreno weist aufgrund seiner deutlich kleineren Artenzahl und auch wegen einiger Eigenheiten eine geringere Übereinstimmung auf.

Die folgenden numerischen Analysen der pflanzensoziologischen und synmorphologischen Affinitäten beruhen auf 31 Artenaufnahmen mit prozentualer Deckungsschätzung der sechs Lokalitäten:

3	in Pan de Azucar	=	PA,
5	am Cerro Perales	=	CP,
5	in Paposo Rincón	=	PR,
6	in Miguel Diaz	=	MD,
9	am Morro Moreno	=	MM,
2	on der Chimbo	_	T C

CHENOPODIACEAE: (Chile 1,1% - Loma 3,5%)

\* Atriplex atacamensis \* Atriplex clivicola

140 3. Liste dei etitiettiischen (!) Frianzen von Cerro Perales, Paposo (Quebrada Kinconada),
Aguada Miguel Diaz und Morro Moreno. Prozentwerte: Anteil der Arten am Gesamtbesatz in
Chile - Anteil am Gesamtbesatz in den 5 Loma-Standorten. Per = Cerro Perales; Pap = Paposo,
Mig = Aguada Miguel Diaz, Mor = Могго Moreno; IN = laufende Nummer; x = gesicherte.
? = wahrscheinliche, (x) = abgestorbenes Vorkommen.
.,, •

Mig = Aguada Miguel Diaz, Mor = Могто Moreno; IN =	en. Per≂ C = laufende i	лето Po Numma	eraies;	Pap = Pa Pesicheri	sposo,	* Atriplex citylcola  * Atriplex imbricata		x	×	?	65
? = wahrscheinliche, (x) = abgestorbenes Vorkommen.	iaarenap .		, x - į	Sesience		* Atriplex nummularia				×	66
	_	_				* Atriplex taltalensis	x	x		x	67
	Per	Pap	Mig	Mor	IN	* Atriplex mucronata * Chenopodium of, paniculatum		X	_		68
PTERIDOPHYTA:						* Chenopodium cf. paniculatum * Chenopodium cf. petiolare		? x	X X	? x	69 70
ADIANTACEAE: (Chile 0,6% - Loma 1,7%)						COMPOSITAE: (Chile 17,9% - Loma 11,8%)		^	^	^	70
* Adiantum chilense var. hirsutum		x	x	x	01	* Amblyopappus pusillus		x		x	71
Adiantum glanduliferum	x	x			02	* Baccharis genistelloides	?	x			72
* Notholaena mollis	x	X	x	x	03	* Baccharis taltalensis	x	?			73
* Pellaea ternifolia ASPLENIACEAE: (Chile 0,2% - Loma 0,4%)		?	x		04	Baccharis spec. nova				X	74
* Asplenium spec.					05	* Bahia ambrosioides	x	X	x	X	75
POLYPODIACEAE: (Chile 0,1% - Loma 1,3%)		x			03	* Centaurea atacamensis     * Chaetanthera glabrata	x	X X	?		76 77
* Polypodium espinosae	?	x		x	06	* Chuquiragua ulicina	x	x	x	x	78
* Polypodium intermedium ssp. masafuerana			x		07	* Conyza spec.	?	×	x	Ŷ.	79
Polypodium squamatum		x			08	* Encelia canescens		x.	?		80
GW DIOGRAPH I						Eupatorium remyanum			x		18
GYMNOSPERMAE: EPHEDRACEAE: (Chile 0,1% - Loma 0,4%)						Gutierrezia espinosae	x	X	X	X	82
* Ephedra breana		x			09	* Gutierrezia tattalensis	×	×	?		83
Spirota Stanz	^	•	^	X	09	Gypothamnium pinifolium     Haplopappus cf. deserticola	X X	X X			84
ANGIOSPERMAE-DICOTYLEDONEAE:						* Helenium atacamense		X X			85 86
ACANTHACEAE: (Chile 0,04% - Loma 0,4%)						* Hypochoeris cf. scorzonerae		.x			87
* Dicliptera paposana		x	x		10	Ophryosporus triangularis	x	x	x	x	88
AIZOACEAE: (Chile 0,25% - Loma 1,7%)						Oxyphyllum ulicinum	?	x	x		89
Mesembryanthemum cristallinum     Tetragonia angustifolia		X		?	31	* Perityle emoryi	x	x	?	x	90
* Tetragonia maritima	?	_	_	X	12	* Polyachyrus cinereus		x	?		91
* Tetragonia ovata	ľ	X X	x	. X	13 14	* Polyachyrus fuscus	x	X	X	X	92
AMARANTHACEAE: (Chile 0,2% - Loma 0,4%)		^			14	Proustia cuneifolia f. tipia     Senecio almeidae	x	X	x		93
* Alternanthera junciflora		x			15	* Senecio philippicus	x	X	x		94 95
APOCYNACEAE: (Chile 0,6% - Loma 0,4 %)						Senecio pseudalmeydae	î	^	^	x	95 96
* Skytanthus acutus	x	x	X	x	16	* Stevia hyssopifolia	•	x			97
ASCLEPIADACEAE: (Chile 0,3% - Loma 0,9%)						* Tessaria absinthioides		X			98
* Cynanchum boerhaviifolium	?	x			17	CRUCIFERAE: (Chile 3,4% - Loma 0,4%)					
* Cynanchum viride	×	X		x	18	Werdermannia anethifolia		?			99
BERBERIDACEAE: (Chile 0,95% - Loma 0,4%)  * Berberis litoralis		_				CUCURBUTACEAE: (Chile 0,02% - Loma 0,4%)					
BIGNONACEAE: (Chile 0,3% - Loma 0,4%)		x	x		19	* Sicyos bryoniifolius CUSCUTACEAE:		X			100
* Argylia radiata	x	x			20	Cuscuta purpurata					101
BORAGINACEAE: (Chile 2,2% - Loma 3,5%)					20	EUPHORBIACEAE: (Chile 0,8% - Loma 1,7%)	x				101
* Cryptantha spec.	?	x	X	x	21	* Argythamnia canescens	x	x		x	102
* Cryptantha taltalensis	x	?			22	* Colliguaja odorifera				x	103
* Heliotropium chenopodiaceum		x		x	23	* Croton chilensis		x	x		104
Heliotropium linearifolium	x	x	?		24	* Euphorbia lactiflua	x	x	X		105
* Heliotropium myosotifolium				x	25	FRANKENIACEAE: (Chile 0,1% - Loma 0,4%)					
Heliotropium philippianum     Heliotropium pycnophyllum	-	x	x x	x	26 27	* Frankenia chilensis	x	X	X		106
* Heliotropium sinuatum	*	×	*	x	28	KRAMERIACEAE: (Chile 0,04% - Loma 0,9%)  * Krameria iluca		?	?		107
* Heliotropium taltalense	x	x	x		29	* Krameria cistoidea	7	, X	,		107 108
CACTACEAE: (Chile 2,9% - Loma 12,2 %)	į.					LABIATAE: (Chile 0,7% - Loma 1,7%)		^			100
* Copiapoa cinerea var. cinerea	x	x	x	x	30	* Salvia gilliesii	?	x	x		109
* Copiapoa cinerea var. albispina		x			31	MALESHERBIACEAE: (Chile 0,35% - Loma 1,3%)					
* Copiapoa cinerea var. columna-alba	X				32	* Malesherbia humilis		x	?	X	110
Copiapoa cinerea forma eremophila     Copiapoa cinerea var. gigantea	x x	X X			33 34	* Malesherbia multiflora				X	111
* Copiapoa cinerea var. haseltoniana	x	X	x		35	* Malesherbia taltalina	X				112
* Copiapoa humilis	X	x	x	?	36	MALPIGHIACEAE: (Chile 0,1% - Loma 1,7%)  * Dinemagonum maculigerum					113
Copiapoa hypogaea				x	37	* Dinemandra ericoides	x	x		x	114
* Copiapoa krainziana	x				38	* Dinemandra glaberrina	^	•		x	115
* Copiapoa tenuissima			?	x	39	Dinemandra strigosa			x		116
* Copiapoa taltalensis	x				40	MALVACEAE: (Chile 2,5% - Loma 2,6%)					
Echinopsis deserticola     Eriosyce hankeana var. taltalensis	x	х ?	X	x	41	* Cristaria intonsa	x	x	x		117
Eriosyce occulta	x ?	r X			42 43	* Cristaria integerrima	_	X			118
Eriosyce odieri	?	x			44	Cristaria molinae     Cristaria oxyptera	?	X		x	119
Eriosyce paucicostata var. paucicostata	x	x x			45	* Malvella leprosa			X	X	120
Eriosyce rodentiophila	?	X	?		46	* Palaua concinna		x	x		121 122
Eriosyce taltalensis	x	x	1		47	NOLANACEAE: (Chile 0,8% - Loma 5,2%)		^			122
Eriosyce vexatus			?	x	48	Alona balsamifera		?	x		123
Eulychnia breviflora var. taltalensis	x	x	x		49	Nolana aplocaryoides	x	X	x	x	124
* Eulychnia îquiquensis				x	50	* Nofana divaricata	?	X		?	125
Eulychnia saint-pieana     Opuntia sphaerica	х ?	_	_	?	51	* Nolana inconspicua	?				126
Opuntia spinierica Opuntia tunicata	, X	X X	X X		52 53	* Nolana leptophylla  * Nolana mollis	?	X.	x	x	127
Cactacea indet. (Ch)	-	•	X		54	* Nolana mollis  * Nolana paradoxa	? x	x	x	X X	128 129
CAESALPINIACEAE: (Chile 0,45% - Loma 0,9%)						* Nolana peruviana	X X	x x	x	x	130
* Senna cummingii	?	x	x		55	* Nolana salsoloides	?	x	Ŷ.	•	131
* Hoffmannseggia gracilis			x	x	56	* Nofana sedifolia	X	x	x	x	132
CAPPARACEAE: (Chile 0,02% - Loma 0,4%)						Nolana stenophylla	x				133
* Cleome chilensis CARYOPHYLLACEAE: (Chile 1,8% - Loma 2,2%)	x	x	x		57	* Nolana villosa	x	x	x	x	134
* Cardionema ramosissimum		x		x	58	OXAUDACEAE: (Chile 2,2% - Loma 2,2%)					
Cerastium nervosum		^		X X	58 59	* Oxalis breana * Oxalis caesia	_	_	X	x	135
* Spergularia arbuscula		x	x	X	60	* Oxalis gigantea	X X	X X	? *		136 137
* Spergularia villosa		?	•	x .	61	* Oxalis ornata	*	X X	X X		137
* Spergularia stenocarpa	?				62	* Oxalis paposana	?	x	x	x	139

# Fortsetzung Tab.: 3.

-						Anteil an Gesamt-Artenzahl in %:	118 52	180 79	127 55	90 38	
Solanum remyanum	î,	â	x	×	180						
Solanum brachyantherum	×	x	?	x	179	* Conanthera campanulata		x	x		
Schizanthus lactus		x	x	^	178	TECOPHILAEACEAE: (Chile 0,2% - Loma 0,4%)	^	-	^		
Schizanthus łacteus	^	^	^	x	177	* Bipinnula taltalensis	x	?	x		
Nicotiana solanifolia	X	X	X	•	176	ORCHIDACEAE: (Chile 0,9% - Loma 0,4%)	^	•	^		
Lycopersicon chilensis	X X	X	X	?	175	* Leucocoryne appendiculata	× ×	X	x	^	
Grabowskia glauca Lycium fragosum	x	X	x	x	174	* Camassia biflora	x .	x	x	x	
		x			173	LILIACEAE: (Chile 0,8% - Loma 0,9%)	^	^	^	٠, *	
Monttea chilensis OLANACEAE: (Chile 2,8% - Loma 3,5%))	X	*	Α.		172	* Tigridia philippiana	x	X	X X	x	
Monttea chilensis	X X	×	X		172	* Sisyrinchium junceum		х	x	^	
Calceolaria coryiniosa Calceolaria cf. paposana (NP)	x x	x	х	170	171	* Sisyrinchium scirpoideum				. A	
Calceolaria ct. oipinnattitida (H) Calceolaria corymbosa	x	x x		170	103	* Mastigostyla cyrtophylla			.x	.x	
Calceolaria cf. bipinnatifida (H)					169	IRIDACEAE: (Chile 0,55% - Loma 1,3%)				•	
Quinchamatium cr. excrescens CROPHULARIACEAE: (Chile 3,2% - Loma 1,3%)		^			100	* Stipa spec. nova		- 1		X	
Quinchamatium chiense Quinchamatium cf. excrescens		x x		^	168	* Stipa vaginata		2	ĵ,	x	
Quinchamalium chilense		×		x	167	* Stipa tortuosa	X	x	x		
ANTALACEAE: (Chile 0,15% - Loma 0,9%)			^			* Poa spec.	?	x	x	_	
cf. Fagara			x		166	* Nassella pungens		•		x	
UTACEAE: (Chile 0.1% - Loma 0.4%)						* Nassella johnstonii	?	?	?		
Galium spec.		x	x		165	GRAMINEAE: (Chile 10,7% - Loma 3,1%))					
Cruckshanksia spec.		×	×		164	* Dioscorea tenella		x			
Cruckshanksia pumila		x	?	x	163	DIOSCOREACEAE: (Chile 0,9% - Loma 0,4%)		••	.,		
RUBIACEAE: (Chile 0,8% - Loma 1,3%)		•		-		Tillandsia tragophora		â	x		
Acaena trifida		x		x	162	* Tillandsia landbeckii		x		,	
OSACEAE: (Chile 1% - Loma 0,4%)						* Tillandsia geissei		x	x	(x)	
Portulaca philippii	•	x			161	* Puya boliviensis	X	x	x		
Philippiamra pachyphylla	?	x		x	160	Deuterocohnia chrysantha	x	X	x		
Philippiamra amaranthoides		x	?	x	159	BROMELIACEAE: (Chile 0,45% - Loma 2,2%)					
Cistanthe cf. pauciflora			x		158	Rhodophiala laeta	x	x	X	?	
Cistanthe taltalensis	x	x	?		157	* Hippeastrum bicolor		X			
Cistanthe grandiflora	x	x	x	x	156	Hippeastrum ananuca			x		
Cistanthe cf. calycina				x	155	* Hippeastrum pratense	?	x			
Cistanthe aff. cachinalensis			?	(-X	154	* Alstroemeria violacea	x	x	X		
ORTULACCACEAE: (Chile 1,5% - Loma 3,1%)						Alstroemeria paupercula	x	X	x	x	
cf. Polemonium micranthum			?		153	AMARYLLIDACEAE: (Chile 1,4% - Loma 2,6%)					
Gilia spec.		7									
POLEMONIACEAE: (Chile 0,2% - Loma 0,9%)		2			152	ANGIOSPERMAE-MONOCOTYLEDONEAE:	7	X			
					131	* Fagonia chilensis	?	_			
Plumbago coerulea	x	x			151	ZYGOPHYLLACEAE: (Chile 0,2% - Loma 0,4%)					
PLUMBAGINACEAE: (Chile 0,8% - Loma 0,4%)	^	^	^		150	* Viola litoralis	x	^	^	^	
Plantago litorea	x	x	x		150	* Viola polypoda	?	x	x	x	
PLANTAGINACEAE: (Chile 0,45% - Loma 0,4%)		^	^		147	VIOLACEAE: (Chile 1,4% - Loma 0,9%)				^	
Peperomia deollii		x	x		149	Verbena spec. (Ch)	^	^	^	x	
PIPERACEAE: (Chile 0,1% - Loma 0,4%)		•	^		.40	* Verbena atacamensis	x	, x	х	x	
Anisomeria littoralis		?	x		148	* Glandularia sulphurea		x		x	
PHYTOLACCACEAE: (Chile 0,1% - Loma 0,4%)			•			VERBENACEAE: (Chile 1,7% - Loma 1,3%)			-		
Trifolium spec			x		147	Valeriana atacamensis			x	x	
Lathyrus spec.		•	x		146	VALERIANA CEAE: (Chile 0,9% - Loma 0,4%)			. "		
Parosela azurea	"	x.	?		145	* Gymnophyton foliosu		,	. x		
Astragalus paposanus	x	x			144	* Eremocharis fruticosa		. х	x	×	
Astragalus cachinalensis	x		?		143	* Domeykoa oppositifolia				x	
Adesmia tenella	?	x			142	UMBELLIFERAE: (Chile 2.7% - Loma 1.3%)					
Adesmia intricata		7			141	* Tropaeolum cf. leptoceras			X	x	
Adesmia cf. eremophila	X	X	X		140	* Tropaeolum tricolor			X	x	

Bei den im Oktober 1994 erstellten pflanzensoziologischen Listen wurden 104 Arten erfaßt, die 17 Lebensformen angehören. Bei den Sträuchern können je nach Standort und Vitalitätsgrad einzelne Arten verschiedenen Lebensformen zugewiesen sein. Die Ergebnisse belaufen sich hier auf Darstellungen von Ähnlichkeitsanalysen in Dendrogrammen und einem Ordinationsdiagramm (PCA, vgl. FISCHER et al. 1990) sowie von Lebensformenverteilungen in Histogrammen.

Der reine Artenvergleich in Abb. 10 belegt eine floristische Trennung der voneinander isolierten Lokalitäten. Besonders deutlich setzt sich der Komplex am Morro Moreno von den übrigen ab, auch von der nahegelegenen Chimba. Diese zeigt seltsamerweise engere Bezüge zu den weit entfernten Lokalitäten Pan de Azucar und Cerro Perales; als Grund kommt bislang allein der zum Aufnahmezeitpunkt trockene Zustand der Pflanzen der Chimba in Frage, der eine Identifizierung vieler Arten verhinderte. Am stärksten sind die Ähnlichkeiten zwischen Pan de Azucar und Cerro Perales sowie zwischen Paposo und Miguel Diaz, also zwei jeweils benachbarter Lokalitäten. Nur am Cerro Perales liegt ein Ausreißer vor (Aufnahme 8, s. Pfeil), der zu Paposo Bezüge aufweist.

Bei Einbeziehung der Deckungswerte liegt eine etwas größere Ähnlichkeit zwischen den entfernten Punkten Morro Moreno auf der einen und Pan de Azucar mit Cerro Perales auf der anderen Seite vor. Miguel Diaz zeigt jetzt Beziehungen zur Chimba; allerdings stehen drei Aufnahmen jenen aus Paposo näher. Die scharfe statistische Trennlinie läuft also durch Miguel Diaz und nicht zwischen zwei Gebieten. Dies deutet an, daß in Miguel Diaz zwei recht unterschiedliche Fazies getroffen wurden, die es noch näher zu untersuchen gälte. Auch bei den Deckungswerten liegt am Cerro Perales ein Ausreißer vor, diesmal allerdings mit der Aufnahme 6. Hiervon und von Miguel Diaz einmal abgesehen, belegt dieses Dendrogramm ebenfalls eine vegetationskundliche Isolierung der Küstenlomas untereinander.

Die deckungsgewichtete Artenverteilung im Achsenkreuz in Abb. 11 kann in mehr oder weniger eng zusammenhängende Gruppen unterteilt werden, wobei die Schleife zwischen Pan de Azucar und Morro Morreno die Beziehung zwischen den sechs Lokalitäten und fünf Artenkomplexen andeutet. So läßt sich ablesen, daß sich das im scatter plot relativ zentral stehende Kollektiv mit Euphorbia lactiflua oder Copiapoa cinerea var. tenebrosa nicht klar trennen läßt. Daraus leitet sich eine erhöhte soziologische Verwandtschaft zwischen den beiden südlich gelegenen Orten Pan de Azucar und Cerro Perales ab. Wenig konform sind dagegen die Artenkomplexe von Paposo Rinconada oder Miguel Diaz auf der einen und vom Morro Moreno auf der anderen Seite. Im ersten Fall spielt z.B. Oxalis paposana eine lokale Rolle, während im letzten Nasselia johnstonii wichtig ist. Einige Arten wie Bahia ambrosioides (enger an PR) oder Polyachyrus fuscus (enger an MM) binden sich trotz ihrer hohen allgemeinen Stetigkeit aufgrund ihrer unterschiedlichen Dominanzwerte eng den jeweiligen Lokalitäten an.

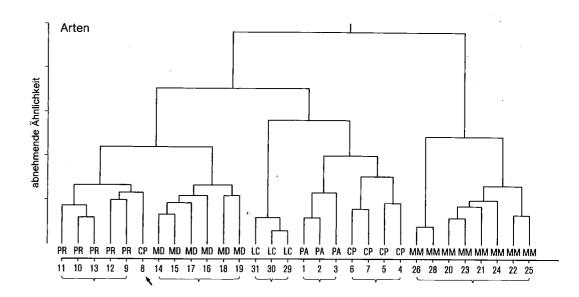
Ohne eine pflanzensoziologische Klassifizierung weiter zu verfolgen, belegt die scatter-Analyse auch für die Assoziationen der einzelnen Küstenlomas eine Differenzierung, die in Kap. 7 im paläoökologischen Rahmen interpretiert wird.

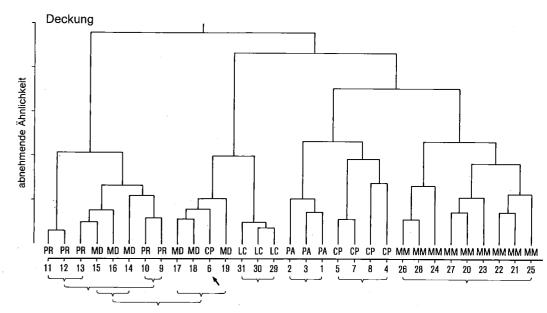
Bei der Analyse von Lebensformenspektren (Abb. 12) zeigen sich zunächst erhöhte mittlere Deckungswerte bei den Lokalitäten Cerro Perales und Paposo. Für Paposo fällt außerdem die Präsenz nahezu aller in der Legende vertretenen Typen auf. Auch in Miguel Diaz und am Morro Moreno nehmen krautige Lebensformen einen etwas größeren Stellenwert ein als an den restlichen drei Stellen. Jedoch hängt dies eher mit günstigeren Witterungsvorgaben als mit räumlichen Eigenarten zusammen. Der Kakteenbesatz erweist sich an der Rinconada als relativ spärlich, was jedoch für andere Stellen in der Umgebung von Paposo nicht gilt. Wesentlicher erscheint der

# gegenüberliegende Seite / oposite page

Abb. 10: Dendrogramm der floristischen Ähnlichkeit auf Grundlage von 31 Aufnahmen im 800 m-Niveau der sechs Lokalitäten PA, PC, PR, MD, MM, LC. Oben: present/absent-Verfahren; unten: Einbeziehung der Deckungswerte (Prozentangaben). CCA-Verfahren n. WILDI (1989) mit MULVA-Programmpaket (WILDI et al., 1990). Distanz: minimum variance; Ähnlichkeitsanalyse: VAN DER MAAREL-Formel (1979).

Fig. 10: Dendrogram of the floristic similarity based on 31 relevés within the 800 m-level of six localities of Pan de Azucar (PA), Cerro Perales (PC), Paposo Rinconada (PR), Miguel Diaz (MD), Morro Moreno (MM) and La Chimba (LC). Above: present/absent method; below integration of dominance-values (proportional indication). CCA-method a. WILDI (1989) with MULVA-programm (WILDI et al., 1990). Distance: minimum variance; analisis of similarity: formula of VAN DER MAAREL (1979).





gegenüberliegende Seite / opposite page

Abb. 11: Scatter plot der pflanzensoziologischen Verflechtung (Verfahren wie Abb. 10; wurzeltransformierter Datensatz der signifikanten Arten (F-Verteilung) in den 31 Aufnahmen). Je näher die Arten im 3D-Achsenkreuz zusammen stehen, desto enger ist die Zusammengehörigkeit. Die Darstellung liegt in numerischer Form vor, wobei die z-Achse in verschiedenen Punktgrößen abzulesen ist (rechts); links daneben erlauben die fünf Punktwolken als Raumkörper über die Schleife eine Zuordnung der Artengruppen zu den sechs Lokalitäten.

Fig. 11: Scatter plot of the phytosociological interlocking (method as in fig. 10; root transformed data of the significant species (F-dissemination) within the 31 relevés). The closer the species are situated together within the 3D-system of axis the closer is the relation. The description is presented in a numerical form showing the z-axis by differnt sizes of the dots (r.); Left: the design of spatial forms reflecting the five clouds of dots allow an attachment of five groups of associated species with the six localities by the loop.

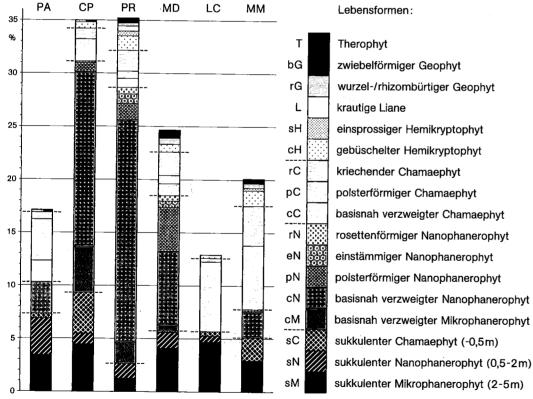
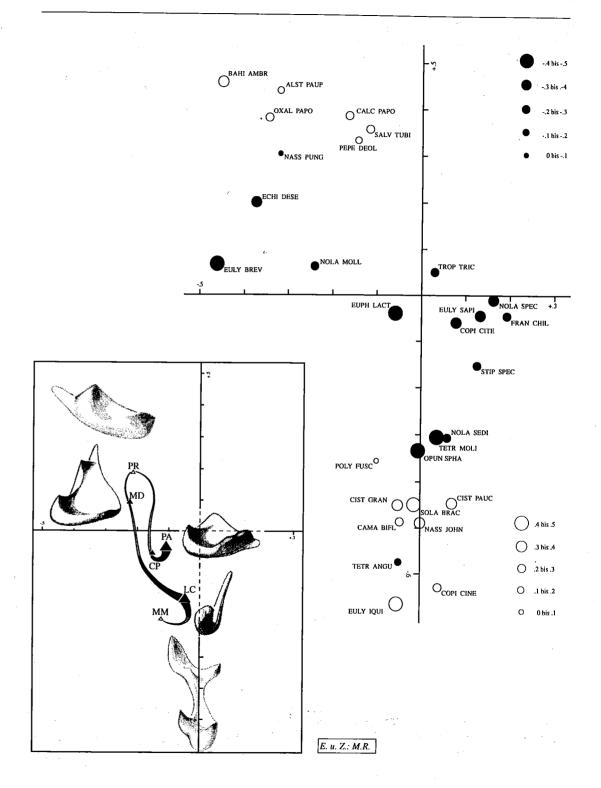


Abb. 12: Mittlere Eckwerte der Lebensformenspektren (erweiterte Fassung nach MÜLLER-DOMBOIS/ELLENBERG) für die 31 Aufnahmen im 800 m-Niveau der sechs Lokalitäten (PA, PC, PR, MD, MM, LC) unter Berücksichtigung der Deckungswerte.

Fig. 12: Mean values of life form spectra (compiled system after MÜLLER-DOMBOIS/ ELLENBERG) for the 31 relevés within the 800 m level of the six localities (PA, PC, PR, MD, MM, LC) considering the dominance values.



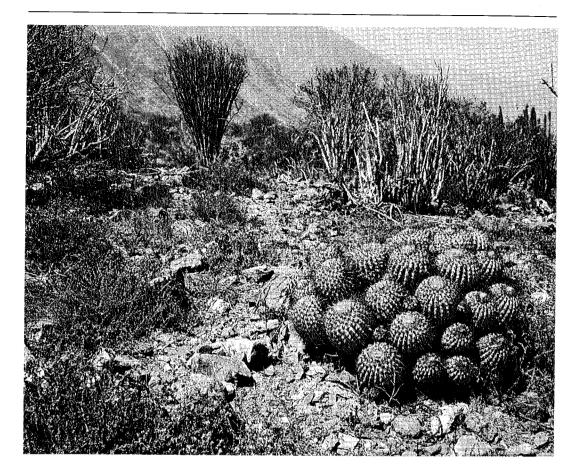


Foto 3: Offener Matorral auf dem Schwemmfächer an der Rinconada, 8 km nördlich von Paposo bei 120 m ü.M. Neben der Kaktee Copiapoa haseltoniana vertrocknete Tetragonia-Zwergsträucher, dahinter die basal verzweigte Euphorbia lactiflua (März 1994).

Photo 3: Open matorral on the fan at Rinconda 8 kms north of Paposo at 120 m a.s.l. Next to the cactus Copiapoa haseltoniana withered dwarf shrubs of Tetragonia, and basally ramified Euphorbia lactiflua in the background (March 1994).

Wandel der Nanophyten: Chamaephyten-Ratio, die von Taltal bis Antofagasta abnimmt. Im Rückgang der echten Sträucher zugunsten der basisnah verzweigten und kriechenden Zwergsträucher zeigt sich eine nordwärts verringerte Nebel- und Regenergiebigkeit.

Pan de Azucar fällt bei diesen Betrachtungen mit seiner zum Aufnahmezeitpunkt wenig vitalen Vegetation negativ heraus. Dies rührt eventuell von der großen Guanaco-Population her, die sich in dem Schutzgebiet auf 350 Exemplare belaufen soll. Kaum dagegen spricht das Argument, daß auch die deutlich "üppigere" Rinconada extensiv von etwa 250 Ziegen und Schafen beweidet wird; denn bei den beiden "Stoßzahlen" zu den Populationen handelt es sich im günstigsten Fall um eine Relation von ca. 4:1. Dieser Gesichtspunkt spricht dafür, daß sich strikter Schutz von Guanaco-Herden in einem Gebiet nachteilig auf die dortige Vegetation auswirken könnte.

# 6.2 Höhenzonale Verteilung der Pflanzengemeinschaften

Die intensive Nebelwirkung in engen Höhenzonen verursacht eine deutliche Vertikalgliederung der Pflanzengemeinschaften. In den meisten Fallbeispielen konzentriert sich die dichteste Vegetation auf die Stufe direkt unter der Obergrenze der Nebel. Da diese Höhenlinie von Chañaral bis Antofagasta von ca. 800 m auf knapp 1000 m ü.M. ansteigt, verschieben sich die Vegetationszonen entsprechend. Ein solcher S-N-Wandel gilt für die Untergrenze der Nebel wohl ebenfalls. Während jedoch an den südlichen Stellen auch in den Fußstufen eine diffuse Vegetation anzutreffen ist, trifft dies für die Beispiele bei Antofagasta nicht mehr zu.

Dieser Unterschied zeigt sich auch in Abb. 13 und 14. So wird die Küstenplattform bei Paposo von offenen Beständen mit recht großen Copiapoa haseltoniana-Exemplaren (Foto 3) und Zwergsträuchern eingenommen (Nolana villosa, Heliotropium pycnophyllum). Am Morro Moreno treten dagegen nur in Trockenbetten der Schwemmfächer Pflanzen auf, wobei Annuelle überwiegen (Perityle emoryi) oder Biannuelle, die bei günstigen Verhältnissen auch überdauern. So treibt Nolana aplocaryoides drei Monate nach Regenfällen nicht nur einen kräftigen Kormus, sondern steht auch in voller Blüte, um im Stile von Therophyten die Reproduktion zu garantieren. Bei ausreichender Versorgung mit Wasser in den nächsten zwei bis drei Jahren lebt die Pflanze in jedem Winter auf und kann einen kräftigen, verholzten Strauch bis 1½ m Höhe aufbauen. Perenne Sträucher bildet hier allein Cristaria sect. integerrima aus, wobei sich die Anzahl der treibenden Äste an der Vorgabe der winterlichen Bodendurchfeuchtung orientiert.

Hingegen bleiben die patinierten Schwemmkegel-Oberflächen am Morro Moreno auch nach Regenfällen gänzlich unbewachsen, während in Paposo stellenweise die Grundwasserführung die Versorgung einer dichten und hochwüchsigen Strauchvegetation erlaubt. Typisch sind an Schwemmfächern wie jenem, der in Abb. 14 herausgezeichnet ist, die bis 2½ m hohe Euphorbia lactiflua sowie Reinbestände von Heliotropium taltalense. Die oberhalb folgenden Unterhänge werden zunächst von der kräftigen Erd-Bromelie Puya boliviensis sowie von Echinopsis deserti-cola geprägt. Bei beiden deutet der xeromorphe Habitus trockenere Verhältnisse an. Sie werden aber weiterhin vom Wolfsmilch-Strauch sowie einem in der Wuchsform ähnlichen Sauerklee begleitet (Oxalis gigantea, ebenfalls 2½ m!).

Am Morro Moreno fehlt selbst den Unterhängen eine dichtere Vegetation. Hier tritt Copiapoa cinerea als erste perenne Pflanze bei 250 m ü.M. auf (Foto 4); höhenwärts nimmt sie vom Deckungswert deutlich zu und bleibt dominant (Abb. 13). Sie wird zunehmend von Zwergsträuchern begleitet, während echte Sträucher fehlen. - Am Morro Moreno und in Paposo prägen die Kandelaber von Eulychnia die feuchteren Nebelstufen, wobei sie im südlichen Fall wesentlich tiefer auftreten als im Norden (Foto 5). Die kräftigsten Exemplare mit bis 7 m Höhe und 2½ m Kandelaber-Durchmesser sind in dichten Beständen in Miguel Diaz anzutreffen. Im Sattelbereich am Morro Moreno lassen sich ähnliche Formationen ausmachen (Foto 6).

Die dichteste Vegetation befindet sich über Paposo an der Rinconada zwischen 620 und 820 m ü.M., während RUNDEL et al. (1976) für das Transekt am Weg zum Cerro Tarapacá einen Höhenbereich von 440 und 540 m ü.M. angibt. Im ersten Fall verursachen Massenvorkommen von Bahia ambrosioides bei etwa 800 m ü.M. hohe Deckungswerte von bis zu 50 %. Im zweiten gehen Höchstwerte von rund 45 % vor allem auf Euphorbia lactiflua zurück. An der

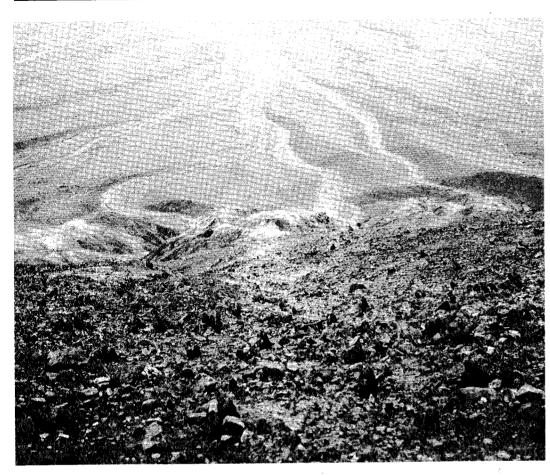


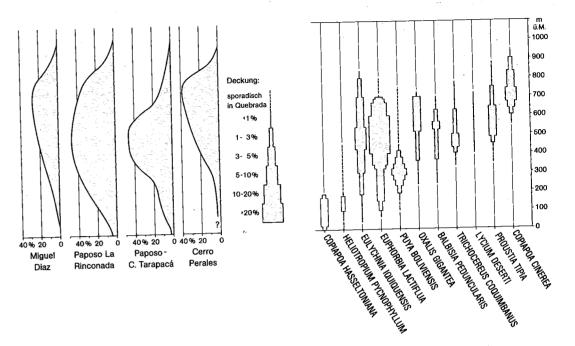
Foto 4: Copiapoa cinerea am Osthang des Morro Moreno bei 350 m ü.M. und Blick auf die nahzu vegetationslosen Schwemmkegel (Okt. 1991).

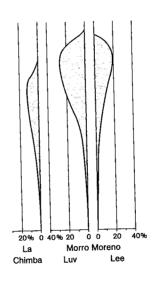
Photo 4: Copiapoa cinera on the eastern slope of Morro Moreno at 350 m a.s.l. and overview of the almost vegetation-free alluvial cone.

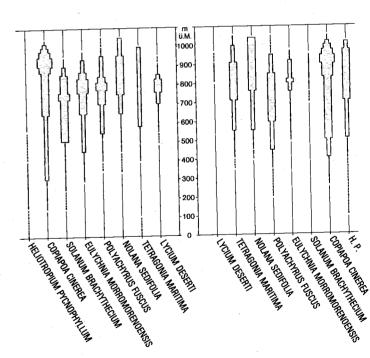
# gegenüberliegende Seite / opposite page

Abb. 13: Höhenzonierung verschiedener Transekte (jeweils rechts). Links relative Deckung der wichtigsten perennen Arten im Vertikalprofil am Luv- und Lee-Hang des Morro Moreno (oben, eigene Erhebungen) und in Paposo an der Piste zum Cerro Tarapacá (unten, n. RUNDEL et al., 1976); Balken = diffus, gerissene Linie = kontrahiert verteilt; grau unterlegt = Nebelzone.

Fig. 13: Altitudinal zonation along various transects (always to the right). At the left hand, relative density of the most significant perennial species within the vertical profile on the windward and leeward slope of Morro Moreno (upside, own releves), and in Paposo, close to the gravel road towards Cerro Tarapacá (bottom, a. RUNDEL et al., 1976); column = diffuse distribution, interrupted line = concentrated distribution; grey overlay = one of fogs







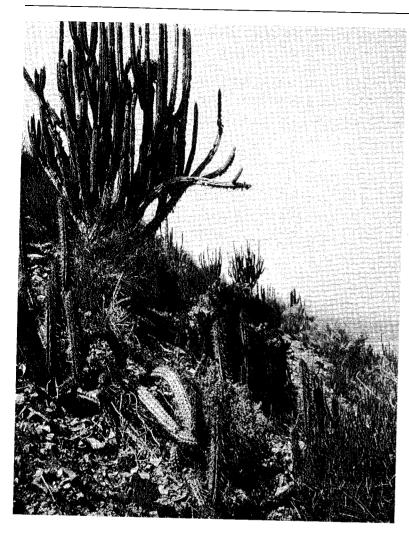


Foto 5: Dichter Matorral mit den Kandelabern von Eulychnia breviflora und Echinopsis deserticola, mit Nolana molle und Lycium fragosum an der Rinconada von Paposo bei 350 m ü.M. (März 1993).

Photo 5: Dense matorral with candelabra of Eulychnia breviflora and Echinopsis deserticola joined with Nolana molle and Lycium fragosum on the slopes of the Rinconada near Paoso at 350 m a.s.l.; (March 1989)

Südwestseite des Morro Moreno reicht die Maximalstufe von 680 bis 950 m ü.M. Hier leiten sich höchste Deckungsgrade von knapp 30% bei 930 m ü.M. aus einer bis zu 20%igen Dominanz von Copiapoa cinerea ab (Abb. 13). Auf der Nordostseite greift die Maximalstufe mit der raschen Auflösung der übergreifenden Nebel nur bis etwa 780 m ü.M. hinunter. - Auch diese Vergleiche belegen ein recht heterogenes Vegetationsbild, das sich vor allem in stark abweichenden Deckungsgraden gemeinsamer Arten dokumentiert. Dies gilt selbst für benachbarte Standorte im Gebiet von Paposo.

Ergänzt wird dieser qualitative Eindruck durch Zahlenwerte in Tab. 4. So belegen die beiden linken Spalten für den Morro Moreno und den Abschnitt in Paposo Unterschiede in den Höhenlagen der Deckungs- und Artenschwerpunkte. Im ersten Fall befinden sie sich bei 800 m ü.M. dicht unter der Obergrenze der Nebel; im zweiten Fall werden die maximalen Deckungswerte eher an der Untergrenze der Nebel bei 500 m ü.M. erreicht (an der Rinconada übrigens bei 800 m!) und für die Artenzahl bei 720 m ü.M.

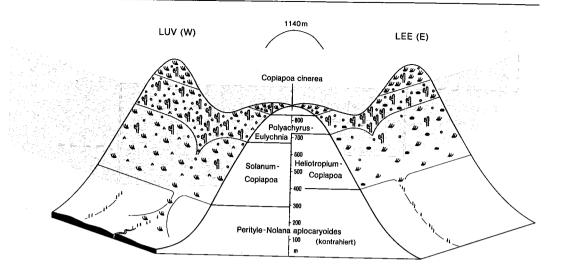
Bei den Lebensformen der perennen Pflanzen dominieren am Morro Moreno eindeutig verzweigte Chamaephyten, jeweils mit Abstand gefolgt von Sukkulenten und Hemikryptophyten. Letztere spielen in Paposo eine geringere Rolle, während die am Morro Moreno nahezu fehlenden Nano- und selbst Mikro-Phanerophyten noch stärker als die Chamaephyten vertreten sind. Die wuchsstärkste Gruppe der Sukkulenten deutet an, daß hier etwas gleichmäßigere Verhältnisse in der Wasserversorgung bestehen (ELLENBERG, 1981), die sich womöglich aus den häufigeren Frontalregen erklären.

Bezüglich der mit der SHANNON-WIENER-Formel berechneten Heterogenität ergeben sich sowohl für den Morro Moreno als auch für Paposo Höchstwerte für das Niveau um 720 bis 880



Foto 6: Eulychnia-Standort mit reichem Bartflechtenbewuchs am Sattel des Morro Moreno bei 810 m ü.M.; im Hintergrund unten Juan Lopez (April 1989).

Photo 6: Site of Eulychnia iquiquensis with dense coverage of lichens at the saddle of Morro Moreno at 810 m a.s.l.; Juan Lopez in the background



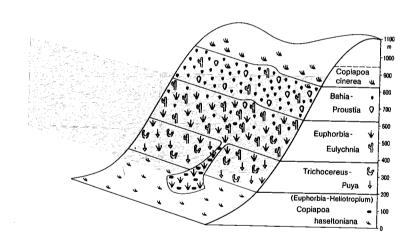


Abb. 14: Höhenzonale Verbreitung der Pflanzengemeinschaften am Luv- und Leehang im südlichen Abschnitt des Morro Moreno (oben; Schnitt über die Windpforte in Abb. 5) und an der Rinconada von Paposo (unten).

Fig. 14: Altitudinal distribution of the plant communities on the windward and leeward slopes of the southern section of Morro Moreno (upside; section across the windgate, cf. Fig. 5) and on the slope of the Rinconada near Paposo (bottom).

m ü.M. Während im ersten Fall eine Korrelation zu den Deckungswerten und Artenzahlen besteht, gilt dies für den zweiten nicht. Solche Abweichungen weisen darauf hin, daß sich an dem nördlich gelegenen "Grenzstandort" der Lomas relativ hohe Deckungsgrade von 12-25% eher vorteilhaft auf die Heterogenität, am südlicher gelegenen "Normalstandort" jene von 40-55% hingegen nachteilig auswirken. Denn während am Morro Moreno die relativ dichte Pflanzen-

decke eine Auskämmung der Nebel und damit den Unterwuchs fördert, schafft in Paposo die höhere Vegetationsdichte bereits Konkurrenzdruck.

Für Konkurrenzdruck sprechen auch die geringen Evenness-Werte zum Gleichverteilungsgrad der Arten in Paposo bei 300-540 m ü.M., die also dort auftreten, wo einzelne Arten massenhaft vorkommen. Hierbei bestätigt sich die von RUNDEL et al. (1976) festgestellte Regel, daß für Paposo weniger eine Konkurrenz zwischen den Wuchsformen als vielmehr innerhalb einer Wuchsform auftritt. Mit anderen Worten: wenn sich Arten wie Puya boliviensis im 300 m-Level auf Deckungswerte von 14% und Euphorbia lactiflua bei 440 - 540 m auf rund 30% belaufen,

Tab. 4: Arten- und Wuchsformen-Angaben mit Diversitätsberechnungen nach der Shannon-Wiener Formel (H') und mit einer Ableitung der Evenness (= E; s. HAEUPLER, 1982) für den Morro Moreno und für Paposo an der Piste zum Cerro Tarapacá (n. RUNDEL et al., 1976; \* = eig. Erhebung). Nicht berücksichtigt: Thero- und Gephyten.

# **MORRO MORENO\***

Höhe	Deck.	Art	re	elative l	Bedecku	ng in %	H'		E	
ü.M.	%	n	im.gr.	tr.k	ahl	ahl sukk.				
			Ch/NP	NP	Ch	C/NP	H	Art	Art	Form
1000	6,0	5,0	8,3		16,7	58,3	16,7	1,2	.77	.84
880	14,5	10,0	10,3	-	26,2	55,2	8,3	1,9	.84	.81
800	22,5	18,0	2,2	0,9	55,1	27,6	14,2	2,3	.79	.67
720	12,0	12,0	4,2	4,2	41,7	29,2	20,8	2,2	.87	.85
540	6,0	6,0	-	-	41,7	33,3	25,0	1,6	.91	.67
440	3,0	4,0	_	-	33,3	50,0	16,7	1,2	.89	.89
300	2,0	3,0	-	-	50,0	50,0	-	1,0	.91	.69
150	0,5	2,0	-	-	100,0	-	-	0,7	.97	-
45	0,2	1,0	-	-	100,0	-	-	-		
Mittel	7,5	7,0	2,8	0,6	51,6	33,7	11,3	∴,5	.87	77

## **PAPOSO**

Höhe	Deck.	Art	re	elative	Bedecku	ng in %	H'	<u> </u>	Е	
ü.M.	%	n	im.gr.	tr.k	ahl	ıhl sukk.				
			Ch/NP	NP	Ch	C/NP	Н	Art	Art	Form_
1000	_	1	-			100,0	- j	-	-	-
880	4	8	-	7,1	64,3	28,6	-	1,8	.89	.76
*800	18	17	-	35,8	36,3	13,2	14,7	2,3	.79	.93
720	15	19	2,4	16,7	23,8	47,6	9,5	2,5	.85	.81
540	.5	12	2,0	66,7	15,2	15,1	1,0	1,3	.53	.60
440	<b>→</b> 5	16	1,0	64,1	5,8	23,3	5,8	1,5	.52	.62
300	20	12	- '	6,0	4,0	78,0	12,0	1,6	.61	.75
150	12	6	-	33,3	33,3	33,3	-	1,5	.86	1.00
45	4	3	-		10,0	90,0	-	0,6	.62	.47
Mittel	18	9	0,6	25,5	21,4	47,7	4,8	1,6	.71	.74

dann bleibt kaum noch Wurzelraum für gleiche Wuchsformen, wohl aber für andere, die einen anderen Horizont nutzen. Entsprechendes gilt an der Rinconada für Bahia ambrosioides, die zwischen 650 und 800 m ü.M. mit Deckungswerten um 25-35% kaum weitere Vertreter gleicher Ausprägung duldet. Die Tatsache, daß am Morro Moreno die Evenness-Werte überall hoch sind, leitet sich demnach aus den trockenheitsbedingten Lücken zwischen den Individuen ab, so daß Konkurrenzdruck ausbleibt.

# 6.3 Verteilungsmuster am Morro Moreno (mit praktischen Hinweisen)

Der Charakterisierung kleinräumiger Pflanzengefüge in der Nebelzone dient die Gegenüberstellung von zwei Testflächen (Tesserae in Abb. 15), die den Klimameßstellen in Luv und Lee am Morro Moreno entsprechen. Deutlich spiegelt sich der Wandel des Mikroklimas in der Vegetationsdichte wider, die hier nicht von der Individuenzahl als vielmehr von deren Phytomasse gesteuert wird. So belegen die beiden oberen Muster für die nebelfeuchte Luvseite mehr perenne Pflanzen, wobei den Kandelabern von Eulychnia eine Sonderrolle zukommt. Denn in ihren Umfeldern sticht vor allem bei ausladenden Exemplaren wie im Flächenzentrum eine Konzentration von Sträuchern und mit dem Gras Nasselia johnstonii auch von Hemikryptophyten heraus. Diese Muster ergeben sich eindeutig aus der Nebelauskämmung an den Stacheln und der daran heftenden Bartflechte Usnea eulychniae, wie es die stete Tröpfchenbildung bei Nebel belegt. Die Tauwirkung an höheren Pflanzen zeigt sich auch daran, daß 78 der 146 von FOLLMANN (1967) am Morro Moreno nachgewiesenen Flechten-Taxa auf Gefäßpflanzen auftreten.

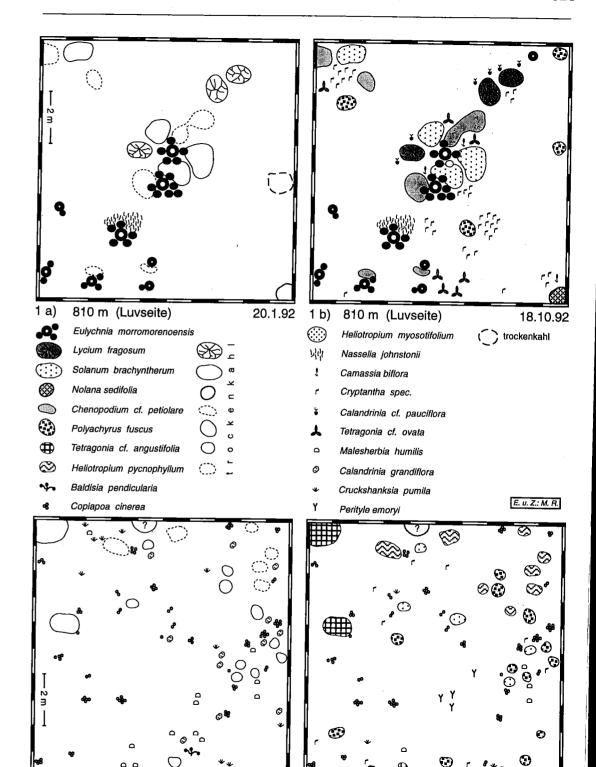
Der Prozeß ist damit aber noch nicht abgeschlossen. Denn an den Sträuchern und Gräsern selbst erfolgt nun eine weitere, wenn auch schwächere Nebelauskämmung, von der wiederum Theround Geophyten profitieren. Auf diese Weise breitet sich unter günstigen Voraussetzungen der Bewuchs herdenförmig aus und baut vereinzelt einen regelrechten Teppich niedrigen Strauchwuchses auf. Solche Sukzessionsschritte laufen nicht nur am Morro Moreno, sondern auch in den übrigen Lokalitäten ab. Unter feuchteren Bedingungen wie etwa an der Rinconada bei Paposo gewinnt allerdings neben dieser Variante einer progressiven Ausbreitung vegetativer Form die "normale" Strategie der generativen Vermehrung an Raum.

Am Morro Moreno siedeln sich also im "Tellerbereich" der Kandelaber Pulks anderer Arten an; im weiteren Umfeld scheinen aber Zwergsträucher vor der weitflächig wurzelnden Eulychnia zurückzuweichen. Hierzu im Kontrast steht der Nachweis von RUNDEL et al. (1976), daß über Paposo z.B. Euphorbia lactiflua bei hohen Strauchdichten zwar nur wenig Einfluß auf die Individuenzahl von Eulychnia ausübt, deren Wuchskraft jedoch einengt. Bei feuchteren Bedingungen werden demnach die Kandelaber durch Sträucher unterdrückt. So zeichnet sich die Gesetzmäßigkeit ab, daß Eulychnia als Träger der klimaökologischen Förderung von Mikrostandorten trockenerer Nebelgebiete ins Hintertreffen gerät, sobald feuchtere Bedingungen den Makrostandort fördern. Bei steigender Aridität, also im Grenzbereich ihrer Vorkommen am

gegenüberliegende Seite / opposite page

Abb. 15: Verteilungsmuster von Pflanzen auf der Luv- und Leeseite des Sattels am Morro Moreno bei 810 m ü.M. im Sommer und Winter.

Fig. 15: Pattern of plant dissemination on the windward and leeward side of the saddle of Morro Moreno at 810 m a.s.l. in summer and winter.



20.1.92

2 b)

810 m (Leeseite)

18.10.92

810 m (Leeseite)

Morro Moreno oder an den Hängen zwischen Antofagasta und Tocopilla, bedarf *Eulychnia* der Nebelauskämmung als "Selbstberegnungs-Effekt" allein für ihr eigenes Überleben. Und unter extremen Bedingungen stirbt selbst dieser robuste Vertreter ab, wie das aktuelle Massensterben über Gaetano südlich Tocopilla belegt (s.u.).

Für Luv- und Leeseite sind am Morro Moreno der geringe Überdauerungs- und wechselnde Vitalitätsgrad der Pflanzenkörper zu betonen. Nur wenige perenne Arten bleiben von den klima- ökologisch wirksamen Jahreszeiten äußerlich unbeeinflußt. Dennoch differieren beide Tesserae im Pflanzenmuster, wie die unteren Bilder von Abb. 15 im Vergleich mit den oberen belegen. So ergibt sich für die Leeseite bei Gegenüberstellung der jahreszeitlichen Aspekte ein schwächerer Kontrast im Vitalitätswechsel als im Luv, indem in der Trockenzeit sogar Pflanzen auftreten, die im feuchteren Winter fehlen. Dies hängt mit dem erhöhten Therophyten-Anteil zusammen, während perenne Lebensformen trockenheitsbedingt zurücktreten. Anstelle hochwüchsiger Eulychnia-Kandelaber dominieren nun Copiapoa-Halbkugelpolster.

Für Wanderer erweisen sich in der nebelreichen Kammregion die größeren Copiapoa-Arten als nützliche "Kompaßpflanzen", da ihre Einzelglieder stets leicht nach Norden geneigt sind. Selbst in stark verzweigten Exemplaren mit bis zu 260 Köpfen und einer Wuchshöhe bis 80 cm weisen alle Glieder in Bogenform gegen den maximalen Sonnenstand des Spätwinters im Oktober und des Spätsommers im März (Foto 7). Der Neigungswinkel beläuft sich durchweg auf 50-55°.

EHLERINGER et al. (1980) führen für diese morphologische Eigenart zwei Gründe an: effizientere Wassernutzung und Schutz vor Aufheizung der Pflanzenspitze. Im ersten Fall bedingt die Neigung gegen die Sonne eine verminderte Erhitzung der größeren seitlichen Körperabschnitte, da die Strahlungsabsorption in diesem Fall nur 70-80% derjenigen eines senkrechten Körpers entspricht. Die Reduktion der Absorptionsfläche erweist sich als vorteilig bei der Aufrechterhaltung der Wasserbilanz während der Trockenphasen, also vor allem gegen Ende der schwächeren Nebelperioden im Sommer.

Kommt dann die Spitzenpartie der Pflanze zu einer umso stärkeren Aufheizung im Spätwinter und Frühjahr, so ist auch dieser Effekt beabsichtigt. Denn nun haben während dieser recht kühlen, noch nebelreichen Periode die Spitzen als meristematische und reproduktive Pflanzenabschnitte den Vorteil, sich während der Sonnenphasen des Tages um 15-25 K gegenüber der umgebenden Lufttemperatur zu erwärmen. Da zu dieser Jahreszeit nach der winterlichen Nebeleinwirkung eine optimale Wasserversorgung besteht, handelt es sich um die Phase der Blütenbildung und des maximalen Wachstums. Gleichzeitig entspricht der Winkel für eine optimale Strahlungsabsorption in Nordchile exakt dem Neigungswinkel von Copiapoa.

Die Eulychnia- und Copiapoa-Bestände eignen sich bei starker Verbreitung für genauere Beurteilungen der Nebelintensität, orientieren sich am Morro Moreno ihre Deckungswerte doch am Feuchtepotential. Dieses wiederum wird maßgeblich durch die Nebelintensität und die negativ korrelierende Verdunstungsmenge bestimmt. So belegt Abb. 16, daß die dichten Kandelaberbestände mit hohen Nebelintensitäten übereinstimmen (Abb. 5), die möglicherweise für eine Ausschöpfung in Frage kämen. Das Vefahren muß zu diesem Zweck allerdings an laufende Auffangmessungen gebunden werden und dient dann über Reziprokwerte der Umsetzung von Punktdaten zu Flächenerträgen. Allerdings zeichnet sich nach den überregionalen Erfahrungen ab, daß für jedes Gebiet die Indikatorpflanzen gertrennt ermittelt werden sollten.

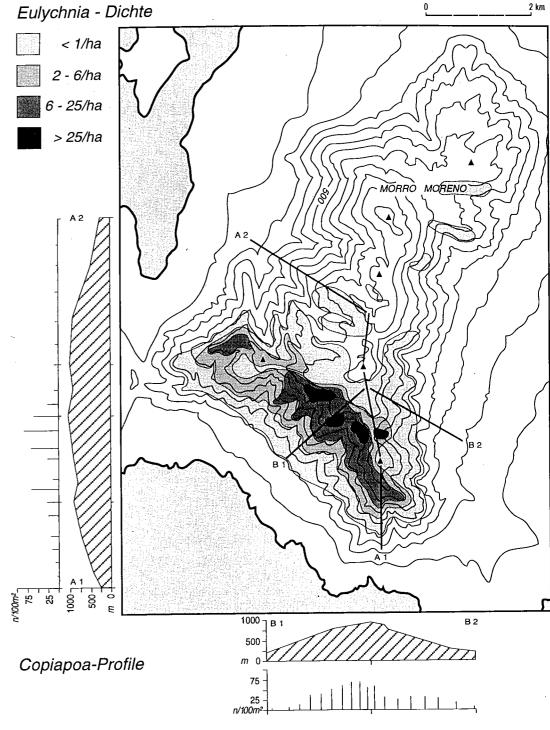


Abb. 16: Verteilung der Deckungswerte von Eulychnia iquiquensis und Copiapoa cinerea am Morro Moreno als Indikator für die Nebelintensität.

Fig. 16: Dissemination pattern of dominance data of Eulychnia iquiquensis and Copiapoa cinerea at Morro Moreno as indicators of fog intensity.

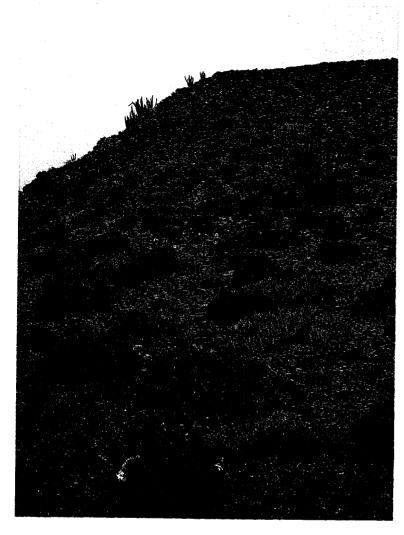


Foto 7: Dichte Formation der stets nach Norden geneigten "Kompaß-Kaktee" Copiapoa auf dem Kamm des Morro Moreno bei 920 m ü.M. (Jan. 1992).

Photo 7: Dense stand of the always northward inclined "compass cactus" Copiapoa on the ridge of Morro Moreno at 920 m a.s.l. (Jan. 1992)

Auch die gesamte Pflanzendecke kann als grober Indikator für das Potential an Nebelfeuchtigkeit gelten. So weist auf dem Höhenzug der Halbinsel Mejillones nur ein eng begrenzter Bereich von nicht einmal 10 km² eine diffuse Vegetation auf. Ansonsten kommen nur noch auf der NE-Seite am Unterhang des Morro Moreno einzelne Exemplare von Eulychnia und Copiapoa auf, die hier mit einer geringen Dichte von jeweils etwa einem Individuum pro 1-5 ha vertreten sind. Immerhin - daß an diesem Abschnitt überhaupt Pflanzen auftreten (Abb. 16), gilt als Information für etwas häufigere Nebel und sogar vereinzelte Regenfälle. So sprechen die isolierten Vorkommen für die oben angedeutete Hypothese, daß noch immer episodische Regen aus südlichen Richtungen an der dortigen Talgenese beteiligt sind.

Den Südwesthang weist die dichte Vegetation zumindest im oberen Teil ohnehin als klimaökologischen Gunstort aus (Abb. 14, oben). Hier scheint eine Gewähr für regelmäßige Nieselregen bzw. durchnässende Nebel gegeben, die für höhere Deckungswerte in den Formationen unab-

dingbar sind. Hingegen erklärt sich der auslaufende Bereich der diffusen Vegetation eher aus einem zum Gebirgsfuß hin abnehmenden Interflow, der durch die Nebelniederschläge weiter oben verursacht wird.

Eine ökonomische Ausschöpfung dieser Nebel mit Netzkollektoren steht allerdings an abgelegenen, eng begrenzten Bereichen wie am Morro Moreno für eine Inwertsetzung kaum zur Diskussion. Dennoch verdienen die "Tropsen auf dem heißen Stein" Beachtung, handelt es sich bei der II. Region doch um einen Wirtschaftsraum, in dem der Wassermangel aufgrund des immensen Verbrauchs von Großminen zu erheblichen Engpässen führt. Überlegungen, die Erträge mit dem Bedarf von Städten wie Antofagasta in Bezug setzen zu können, sind dabei utopisch. Im Umfeld kleinerer, abseits gelegener Siedlungen erscheint die Kollektorentechnik jedoch durchaus praktikabel.

# 7. PALÄOKLIMATOLOGISCHE SCHLUSSFOLGERUNGEN

Neben praktischen Schlußfolgerungen ergänzen einige der vegetationsgeographischen Erkenntnisse bestehende Vorstellungen zum Paläoklima der Küstenwüste. Als aufschlußreich erweisen sich folgende Hinweise:

- 1. Die einzelnen Vegetationskomplexe belegen eine außergewöhnlich hohe Eigenständigkeit in der floristischen Zusammensetzung.
- 2. Die Artenspektren beinhalten mehrere Lokalendemiten. Einige davon stehen systematisch relativ isoliert, so z.B. Berberis litoralis und Croton chilensis bei Paposo und Miguel Diaz; es dürfte sich hierbei um Reliktendemiten handeln. Andere zeigen enge Verwandtschaftsgrade (insbesondere die kritischen Gattungen Nolana, Cistanthe, Copiapoa und Heliotropium), so daß sie als Neoendemiten zu erachten sind. In diesem Zusammenhang erweisen sich Hinweise von SCHMITHÜSEN (1956) und KUMMEROW et al. (1961) als nützlich, die eine tertiäre Florenverbindung von den im Kleinen Norden gelegenen Nebelwäldern in Fray Jorge, Talinay und Pichidangui mit den Tropen bestätigen. Die Vorstellungen von MUNOZ et al. (1947) und SKOTTSBERG (1948), daß diese Reliktvorkommen eiszeitliche oder nacheiszeitliche Relikte bilden, geraten dadurch in den Hintergrund. Denn die unverkennbaren Beziehungen zum südlich gelegenen valdivianischen Regenwald sind dort in statistischer Hinsicht keineswegs so deutlich und so absolut ausgeprägt, wie dies aus der deskriptiven Literatur hervorgeht.
- 3. Neben der pflanzensoziologischen erweist sich selbst die symmorphologische Ähnlichkeit zwischen den Loma-Lokalitäten im Großen Norden als gering.
- 4. Auch in der höhenzonalen Anordnung weichen die nördlichen Lokalitäten deutlich von den südlichen ab.
- 5. Selbst an den nebelreichsten Stellen, die eine Existenz immergrüner semiskleromorpher Formen erlauben würden, kommen so gut wie keine "Nebelpflanzen" vor. D.h. selbst solche Standorte waren seit der Isolierung der Loma-Lokalitäten zwischenzeitlich extrem trocken.

Aus den eigenständigen regionalen Vegetationsmerkmalen leitet sich eine evolutive Isolierung der Lomastandorte ab, die nicht erst im Holozän erfolgt sein kann. So unterstützen die Befunde die Argumente von ABELE (1993), daß es sich zumindest bei den unterhalb 3000 m gelegenen Abschnitten der Atacama zwischen Rio Loa und Quebrada del Salado um eine Kernwüste handelt. Sie kann möglicherweise schon seit dem Miozän, spätestens aber seit dem frühen Pleistozän als arid gelten (FISCHER, 1991).

Allerdings erlauben die vorgesehenen Untersuchungen zum Grad der Isolierung der Vegetation keine Aussagen zur Chronologie. In diesem Zusammenhang könnten sich geomorphologische und ferner pedologische Studien als aufschlußreich erweisen. So liegen für pleistozäne Meeresterrassen in der Rumpffläche südlich von Juan Lopez (Abb. 6) bereits Datierungsangaben zur Entstehung vor (RATUSNY et al., 1988). Die Verebnungen treten z.B. in einem Niveau von 5-6 m (117.000 B.P.), oberhalb 32 m (234.000 B.P.) und zwischen 44 und 65 m (485.000 B.P.) auf.

Naturgemäß nimmt der Zerschneidungsgrad dieser Terrassen mit zunehmender Meereshöhe zu, d.h. mit zunehmendem Alter. Über das Ausmaß der Zergliederung lassen sich bei Ermittlung der "Talnetzdichten" (oder besser: "Barranca-Dichten") sowie mit Volumenberechnungen der zugehörigen Ausspülungsmassen die Abtragsleistungen während der Zwischenphasen bestimmen. Über diese "location-for-time substitution" im Sinne von PAINE (1985) läge ein Mittel für die Beurteilung der zeitlichen Einordnung torentiell wirksamer Niederschlagsphasen während des mittleren bis späten Pleistozäns vor. In einer letzten Verknüpfung böte eine Korrelation zwischen Alter und Abtragsleistung Anhaltspunkte zur Fixierung jenes Klimawechsels, der zum heutigen Vegetationsmuster führte - es sei denn, die Isolierung erfolgte schon vor dem mittleren Pleistozän. Auch Analysen zum Wechsel zwischen Fußflächen- und Schwemmfächergenese könnten Hinweise auf paläoklimatische Phasenveränderungen erbringen.

Auf der Südwestseite mit deutlich ausgeprägten Brandungskliffs konnten sich marine Terrassen weniger gut erhalten. Hier brechen vielmehr weite Schwemmfächer und Pedimente (im Sinne der glacis d'accumulation) direkt zum Meer hin ab. In diesen Akkumulationskörpern liegen nur drei tiefgreifende Barrancas vor, wobei sich die rezente Einkerbung an den Mündungsstufen auf jeweils 12 bis 15 Meter beläuft. Die an derartige Formen geknüpfte Tiefenerosion findet offensichtlich nur bei ganz seltenen Starkregenereignissen statt; allein für das Unwetter vom Mai 1992 ist eine schlagartige lineare Eintiefung bis zu fünf Metern zu verzeichnen. Ebenso gehen die schweren Verwüstungen mit z.T. flächenhafter Entwurzelung der Eulychnia-Bestände sowie dichter Spülrillendenudation in den Paläoböden am Westhang des Morro Moreno zwischen 200 und 700 m ü.M. (Abb. 6) auf das Ereignis im Mai 1992 zurück.

Solche Vorgänge führen nun zu zwei Interpretationen. Entweder könnte es sich um einen Sonderfall handeln, der restlos aus dem Rahmen der üblichen Vorgänge eines gleichförmigen bzw. konservierenden Prozeßsystems fällt. Oder aber es deutet sich mit dem Einschnitt weniger, in ihrer Anlage juvenil wirkender Barrancas ein klimatischer Phasenwechsel an. Solche Situationen weist VEIT (1995) im Küstenabschnitt zwischen La Serena und Copiapó für das Holozän mehrfach nach und bringt sie mit der Verschiebung von einem konservierenden Camanchaca-Regime zu einem verlagerungsintensiveren System mit gelegentlichem Frontalgeschehen in Verbindung. Auch McGLONE et al. (1992) belegen feuchtere Phasen im Holozän. - Allen holozänen Klima-

schwankungen zum Trotz ist aber während des Pleistozäns keineswegs von wesentlichen Unterbrechungen der extremen Aridität der Küstenwüste auszugehen.

Bemerkenswert bleiben Hinweise zum lokalen Artenschwund, die eher für eine fortschreitende Aridität sprechen. Hierzu zählt die Tatsache, daß FOLLMANN (1967) für den Morro Moreno Euphorbia lactiflua und Oxalis gigantea als Charakterarten anführt und auch photographisch belegt. Beide im Raum von Taltal noch immer ganz wichtigen Arten fehlen heute ebenso wie die gleichfalls erwähnte Gattung Eriosyce am Morro Moreno restlos (evtl. auch Ursache für Guanaco-Verlust?).

An den zwischen den Nord- und Südstandorten überleitenden Lomas von Miguel Diaz wirkte Euphorbia lactiflua während des Besuches im Oktober 1994 auf den Schwemmfächern der Tieflagen ebenfalls abgestorben, während in der Nebelzone noch vitale Bestände auftraten. Erinnert sei auch an das Massensterben von Eulychnia südlich von Tocopilla, wobei hier weitere Fragmente toter, aber kaum mehr identifizierbarer Sträucher auffielen.

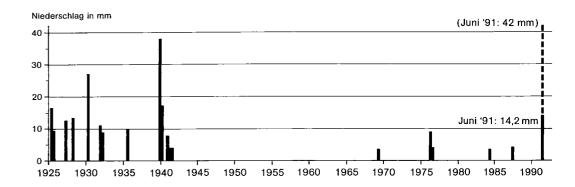


Abb. 17: Jahresniederschläge in Antofagasta von 1925 - 1992. Fig. 17: Annual precipitation at Antofagasta from 1925 to 1992.

Zeichen des lokalen bis regionalen Artenschwunds sind in Zukunft also besonderes Augenmerk zu zollen, leitet sich hieraus doch ab, ob es sich um die Wirkung der einmaligen extremen Trokkenphase von 1942 - 1991 (Abb. 17) oder um einen klimaverändernden Trend handelt. So oder so macht die Beobachtung des Massensterbens die Labilität der Lomas deutlich, die als Biozönosen in klimaökologischen Randbereichen des Lebens auf verschärfte Lebensbedingungen mit unwiderbringlichen Verlusten reagieren.

# **DANKSAGUNG**

Hilfen erhielt ich von zahlreichen Bekannten, denen im folgenden herzlich gedankt sei:

- Frau Gisela Baumann MA (San Pedro de Atacama) für das Bestimmen der "Blümchen",

- Herrn Dipl. Geogr. Hans Jürgen Böhmer und Dr. Walter Welss (Erlangen) für dezente Hinweise zur "Belletristik" nach der Manuskript-Durchsicht,
- Frau Dr. Barbara Michler (Röttenbach) für die MULVA-Verarbeitung des "Arten-Daten-chaos",
- Herrn Prof. Dr. Hilmar Schroeder (Erlangen) für seine Geduld bei meinen "Fußflächen--Problemen" vor Ort,
- Herrn Maximino Villaroel Olivares (Konservator des Museums in Taltal) für die fachkundige Begleitung und Freude an "Kraftakten" in den Hängen über Taltal, Paposo und Miguel Diaz,
- 19 Studenten des Erlanger Inst. f. Geographie für eine wunderschöne Exkursion und für das "Steinezählen" am Morro Moreno.

Die Niederschrift der Arbeit erfolgte in Gedenken an Herrn Prof. Dr. Gerhard Abele (25.5.1937 - 8.10.1994), der dem Verfasser vor und während des Projektes zahlreiche wertvolle Anregungen gab.

#### **LITERATUR**

- ABELE, G., 1984: Oberflächenformen in der chilenischen und peruanischen Wüste unter dem Einfluß von Salzgehalt und Niederschlag. Zbl. Geol. Paläont. I,11/12, S. 1497-1509, Stuttgart
- ABELE, G., 1989: Der Einfluß der Tektonik auf die Fußflächen- und Talbildung in den nordchilenischen Anden. Bayreuther Geowissenschaftliche Arbeiten 14, S. 113-124, Bayreuth
- ABELE, G., 1990: Salzkrusten, salzbedingte Solifliktion und Steinsalzkarst in der nordchilenisch-peruanischen Wüste. Mainzer Geograph. Stud. 34, S. 23-46, Mainz
- ABELE, G., 1993: Die Zertalung der nordchilenischen Anden in ihrer Abhängigkeit von Klima, Tektonik und Vulkanismus. Innsbrucker Geographische Studien, 20, S. 15-28, Innsbruck
- ARNTZ, W.E./FAHRBACH, E., 1991: El Niño Klimaexperiment der Natur. Berlin, 264 S.
- BAEZA, L./VENEGAS, R., 1984: Geological Map of the Mejillones Peninsula, Northern Chile. Unveröffentl. Karte 1:50.000 Dept. Geologia Univ. Catolica del Norte, Antofagasta
- BIROT, P./DOLLFUS, O., 1961: L'évolution des versants dans l'étage inférieur des Andes péruviennes occidentales. Ann. Géogr., 70, S. 162-178, Paris
- BÖHM, K., 1994: Synoptische Einflüsse auf das Klima des südlichen Altiplano und der Atacama Nordchiles, dargestellt an Wind und Niederschlag. Unveröffentl. Diplomarb. Geograph. Inst. Erlangen, 156 S.
- DILLON, M.O., 1991: A new species of Tillandsia (Bromeliaceae) from the Atacama Desert of Northern Chile. Brittonia, 43, S. 11-16, New York
- EHLERINGER, J./MOONEY, H.A./GULMON S.L./RUNDEL, P., 1980: Orientation and its consequences for Copiapoa (Cactaceae) in the Atacama Desert. Oecologia 46, S. 63-67,
- ELLENBERG, H., 1981: Ursachen des Vorkommens und Fehlens von Sukkulenten in den Trockengebieten der Erde. Flora 171, S. 114-118, Halle
- FERREYRA, R., 1983: Los tipos de vegetación de la costa Peruana. Anales Jard. Bot. Madrid, 40, S. 241-256, Madrid

- FISCHER, H./BEMMERLEIN-LUX, F., 1990: Multivariate Methoden in der Ökologie. Teil 1: Analysemethoden. Ifanos Kursskript, S. 1-133, Nürnberg
- FISCHER, K. (1991): Oberpliozäne-pleistozäne Talbildung auf der Westabdachung der mittleren Anden zwischen 18° und 27° südlicher Breite. Bamberger Geographische Schriften, 11: S. 69-80, Bamberg
- FOLLMANN, G., 1967: Die Flechtenflora der nordchilenischen Nebeloase Cerro Moreno. Nova Hedwigia, 14/2-4, S. 215-281, Lehre
- GRENIER, M.P., 1968: Observations sur les taffonis du désert chilien. Bull. Assoc. Géogr. Franc., 364-365: S. 193-211, Paris
- HAEUPLER, H., 1982: Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation. Dissertationes Botanicae, 65, Vaduz, S.
- JOHNSTON, I.M., 1929: Papers on the flora of northern Chile. Contr. Gray Herb. 4, 172 S.
- JONGMAN, R.H.G/TER BRAAK, C.J.F./VAN TONGEREN, P.F.R., 1987: Data analysis in community and landscape ecology. Wageningen, 299 S.
- KOEPCKE, H.-W., 1961: Synökologische Studien an der Westseite der peruanischen Anden. Bonner Geograph. Abh., 29, Bonn, 320 S.
- KUMMEROW, J./MATTE, V./SCHLEGEL, F., 1961: Zum Problem der Nebelwälder an der zentralchilenischen Küste. Ber. deutsch. Botan. Ges., 74, 135-145,
- MARTICORENA, C./QUEZADA, M., 1985: Catálogo de la flora vascular de Chile. Gayana, 42, S. 6-135, Concepción
- McGLONE, M.S., KERSHAW, A.P. & MARKGRAF, V. (1992): El Niño/Southern Oscillation climatic variability in Australasian and South American paleoenvironmental records. In: DIAZ, H.F. & MARKGRAF, V.: El Niño Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation. 435-462, Cambridge
- MÜLLER, G.K., 1985: Zur floristischen Analyse der peruanischen Loma-Vegetation. Flora, 176, S. 153-165, Halle
- MÜLLER-DOMBOIS, D./ELLENBERG, H., 1974: Aims and methods of Vegetation Ecology. New York/London/Sydney/Toronto, 541 S.
- MUNOZ, C./PISANO, E., 1947: Estudio de la vegetación y flora de los parques nationales de Fray-Jorge y Talinay. Agricultura Tecnica 7, Santiago
- OKA, S./OGAWA, H., 1984: The distribution of lomas vegetation and its climatic environments along the Pacific Coast. Geogr. Rep. Tokyo Metropol Univ., Tokyo
- OLTREMAN, J./SCHLEGEL, F./SCHLAGER, R., 1987: Antecedentes basicos sobre los recursos naturales de diez sectores costeros de la II y III región. Unveröffentl. Mskrpt. der CONAF, Santiago (Projekt: Investigación del desarollo de areas silvestres; zonas aridas y semi-aridas de Chile)
- PAINE, A.D.M. (1985). "Ergodic" reasoning in geomorphology: time for a review of the term? Progress in Physical Geography, 9: 1-15, London
- PIAZENA, H., (im Druck): The Effect of Altitude upon the Solar Eppley and UV-B Irradiation in the Tropical Chilean Andes. Solar Energy
- RATUSNY, A. & RADTKE, U. (1988): Jüngere Ergebnisse küstenmorphologischer Untersuchungen im Großen Norden Chiles (Antofagasta-Iquique, 24°-20°s.Br.). Hamburger Geographische Studien, 44: 31-46, Hamburg
- RAUH, W., 1985: The Peruvian-Chilean deserts. In: M. EVENARI et al. (eds.): Hot deserts and arid shrublands, Vol. A, S. 239-266, Amsterdam
- REICHE, K., 1911: Ein Ausflug in das Küstengebiet der Atacama (Chile). Botan. Jahrb. Syst., 45, S. 340-353,

- RICHTER, M., 1980: Klimagegensätze in Südperu und ihre Auswirkungen auf die Vegetation. Erdkunde, 35, S. 12-30, Bonn
- RICHTER, M., 1991: Methoden der Klimaindikation durch pflanzenmorphologische Merkmale in den Kordilleren der Neotropis. Die Erde, Jg. 122, H. 4, S. 267-289, Berlin
- RICHTER, M./SCHMIDT, D./WILKE, H.-G., 1993: Das Unwetter von Antofagasta. Praxis Geographie, 23, S. 44-47, Braunschweig
- RICHTER, M./SCHROEDER, H., 1995 (im Druck): Remarks on the paleoecology of the Atacama based on the distribution of recent geomorphological and phytogeographical patterns. Bamberger Geograph. Schr., H. 15
- RIEHL, H., 1954: Tropical Meteorology. New York, 392 S.
- RUNDEL, P.W./MAHU, M., 1976: Community structure and diversity in a coastal fog desert in Northern Chile. Flora 165, S. 493-505, Halle
- RUNDEL, P.W./DILLON, M.O./PALMA, B./MOONEY, H.A./GULMON, S.L./EHLER-INGER, J.R., 1991: The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. Aliso, 13, S. 1-50
- SCHEMENAUER, R.S./FUENZALIDA, H./CERECEDA, P., 1988: A neglected water resource: the camanchaca of South America. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 69, S. 138-147
- SCHMITHÜSEN, J., 1956: Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Bonner Geogr. Abh., 17, S. 1-86, Bonn
- SKOTTSBERG, C., 1948: Apuntes sobre la flora y vegetación de Fray Jorge. Acta Horti Gotoburgensis 18, 91-184, Goteborg
- VAN DER MAAREL, E., 1979: Transformation of cover/abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. Vegetatio, 30, S. 97-114, Den Haag
- VEIT, H. 1995 (im Druck): Morphologische und bodenkundliche Befunde holozäner Klimaschwankungen in der "Ariden Diagonale Südamerikas" an der Küste Nordchiles. Bamberger Geograph. Schr., H. 15
- WEISCHET, W., 1966: Zur Klimatologie der nordchilenischen Wüste. Meteorol. Rdsch., 19, S. 1-7, Berlin
- WILDI, O., 1989: A new numerical solution to traditional phytosociological tabular classification. Vegetatio, 81, S. 95-106, Den Haag
- WILDI, O./ORLOCI, L., 1990: Numerical exploration of community patterns. Den Haag, 124 S.