

ÜBER DEN WASSERHAUSHALT TROPISCHER NEBEL- OASEN IN DER KÜSTENWÜSTE PERUS

Von Heinz ELLENBERG

INHALT

1. Einführung	47
2. Die heutige Vegetation der Lomas	50
3. Die Wasserversorgung der Lomavegetation	56
4. Der Nebel als Wasserquelle der Lomavegetation	60
5. Wasserabgabe und Wärmegenuss der Lomapflanzen	64
6. Die natürliche Bewaldung der Lomas	66
7. Zusammenfassung	71
8. Literatur	73

1. Einführung

Ähnlich wie an der subtropischen Westküste Afrikas herrscht an der Westküste Südamerikas, mit Ausnahme ihres äquatornahen Nordteils, ein Wüstenklima, das durch eine verhältnismässig kühle Meeresströmung verursacht wird. Kaltes Wasser, das in dem Sog des küstenparallel nordwestgerichteten Perustromes aus grossen Meerestiefen heraufdringt (SCHWEIGGER 1958), hält die Temperatur der Wasseroberfläche nahezu dauernd niedriger als die des von tropischer Sonne erhitzten Landes. Infolgedessen wird die von stetigen Südwestwinden landeinwärts bewegte Luft über dem Lande trockener und bringt ihm nur selten nennenswerte Niederschläge. Nach Osten ist die Küstenwüste Mittel- und Südperus durch die mächtige Schwelle des Andenhochlandes gegen die regenbringenden Passatwinde abgeriegelt, die auf der anderen Seite des Gebirges Wälder von wahrhaft tropischer Üppigkeit und Artenfülle entstehen lassen (vgl. WEBERBAUER 1945, RAUH 1956, ELLENBERG 1959).

Im Gegensatz zur afrikanischen Namib zeichnet sich aber die Küstenwüste Mittel- und Südperus sowie des nördlichen Chile durch zahlreiche Oasen aus, die seit Jahrtausenden dicht besiedelt sind und namhafte Kulturzentren entstehen liessen. Die grössten und siedlungsfreundlichsten dieser Oasen werden von einigen Andenflüssen gebildet, deren Wasser auch im Hochwinter für die schon seit vorchristlicher Zeit gepflegten Bewässerungsfelder ausreicht. Daneben spielten aber wohl von jeher auch die als „Lomas“ bezeichneten, auf der Erde einzigartigen Nebeloasen an der Küste Perus und Nordchiles eine wirtschaftliche Rolle.

Das spanische Wort loma bedeutet eigentlich Hügel, und hier im besonderen jene küstennahen niedrigen Berge, an denen sich im Südwinter die Stratuswolken stauen. Diese bilden sich an der Grenze der über dem Pazifik

entstehenden relativ kühlen Luft gegen die darüber liegende Warmluft und lassen in der Nähe des Meeres oft monatelang die Sonne nicht durchdringen. Im Südsommer dagegen erwärmt sich das im Winter etwa 17° C messende Oberflächenwasser bis auf über 24°, so dass sich keine Temperaturinversion und keine Stratusdecke bilden kann. Unbarmherzig brennt dann die Sonne auf dieselben Hügel herab. Wenn aber nach mehr als halbjähriger absoluter Trockenheit wieder die Nasskühlen, als „garua“ bezeichneten Hochnebel an den Küstenbergen lagern, zaubern sie in wenigen Wochen aus dem wüstenhaften Boden ein üppiges Kräutergrün hervor, das sich rasch mit Blüten belebt und Tieren mannigfacher Art ein reiches Mahl bereitet.

Da um dieselbe Jahreszeit in den Anden die zenitalen Regen ausbleiben, die hier im Sommer reichlich fielen, verlassen viele Hirten mit ihren Herden die zu Stroh verdorrenden, steppenähnlichen Gebirgsweiden und eilen diesen Nebeloasen zu. Bevor sich die Schafe und Rinder in den feuchtgrünen Lomas mästen können, müssen sie allerdings die auch im Winter sonndurchglühte Wüste queren, die sich eine bis zwei Tagereisen weit vom Fusse des Gebirges bis zu den lockenden Küstenbergen dehnt.

Die Flora und Fauna der peruanischen Lomas ist schon öfters beschrieben und stellenweise recht eingehend untersucht worden, weil einige Lomas von Lima oder von der neuen panamerikanischen Autostrasse aus verhältnismässig leicht zu erreichen sind. Als erster gab WEBERBAUER (1911 bis 1945), der Klassiker unter den in Peru arbeitenden Geobotanikern, einen Überblick über diese nebelabhängigen Lebensgemeinschaften. Seine Schüler FERREYRA (1953) und VELARDE (1947) veröffentlichten ausführliche Florenlisten, namentlich von einigen südlich von Lima gelegenen Lomas. Von der Tierwelt her gesehen, beschrieben H. und M. KOEPCKE (1953) sowie M. KOEPCKE (1954) diesen sonderbaren Lebensraum. Auf die bisher meist vernachlässigten Kakteen der Loma-Vegetation machte neuerdings RAUH (1958) aufmerksam. Kurze geographische Schilderungen stammen von BERNINGER (1925), TROLL (1930, 1948), RAUH (1956) und anderen. TROLL (1956) geht auch im Handbuch der Pflanzenphysiologie auf die Vegetation der Lomas ein, für die es in der von ihm bereits 1935 studierten Nebeloase von Erkowit eine annähernd vergleichbare Parallele gibt. Von TROLL (1935) sei hier der Ausdruck „Nebeloase“ übernommen, der m. E. das Wesen solcher vorwiegend von Hochnebeln wasserversorgten Vegetationskomplexe am besten trifft, besser jedenfalls als „Nebelwüste“ oder andere mit „Wüste“ zusammengesetzten Bezeichnungen.

Sehr ähnliche Lebensbedingungen wie auf den Lomas der peruanischen Küste findet die Vegetation auf den Hügeln von Frai Jorge und Talinai, die unmittelbar an der nordchilenischen Küste aus Halbwüsten emporragen. Auf dem etwa 20 km langen und über 500 m hohen, fast immer nebelumwölkten

Bergkamm von Frai Jorge wächst der „nördlichste Wald von Chile“, über dessen Üppigkeit sich schon PHILIPPI (1884) und REICHE (1907) wunderten. Unter den zahlreichen Bearbeitern, die er inzwischen gefunden hat, sind vor allen MUÑOZ und PISANO (1947), SKOTTSBERG (1950) und SCHMITHÜSEN (1956) zu nennen.

WEBERBAUER hat den grössten Teil der Lomas schon 1922 bzw. 1923 auf seiner Vegetationskarte von Peru richtig, wenn auch etwas schematisch eingetragen. Trotzdem und trotz der anderen oben genannten Arbeiten wird die Küste Perus und Nordchiles auf den meisten Vegetations- und Klimakarten immer noch – ebenso wie die afrikanische Namib – als absolute Wüste bezeichnet, so z. B. von BROCKMANN-JEROSCH (1935), TROLL (1930 und 1948), CREUTZBURG (1950) und LAUER (1952), sowie in allen mir bekannten Lehrbüchern und Schulatlanten. Wahrscheinlich haben die meisten Autoren die Lomas vernachlässigt oder bewusst weggelassen, weil die wenigen Klimastationen des peruanisch-nordchilenischen Gebietes, die in ebenem Gelände unweit der Städte liegen, selten mehr als 50 mm Jahresniederschlag verzeichnen. Dass wenige Wanderstunden von diesen Wüstenstationen entfernt alljährlich im Südwinter arten- und endemismenreiche Kräuterfluren, ja sogar Bäume gedeihen, weiss nur der Landeskenner, und auch dieser vermag sich nur schwer zu erklären, wie eine solche Üppigkeit inmitten der Wüste zustande kommt. Seit der kurzen, durch eine Bemerkung WEBERBAUERS angeregten Notiz von KNOCHE (1931), der eine elektrische Nebelkondensation an Akazien- und Kakteendornen für möglich hielt, und seit der gleichzeitig von WERDERMANN (1931) ausgesprochenen Annahme, dass der Wald von Frai Jorge die für ihn lebenswichtige Nebelfeuchtigkeit infolge seines kühlen Lokalklimas selber kondensiere, bestehen über die Ursachen des Loma-Phänomens nur mehr oder minder gut begründete Vermutungen. Sorgfältige Beobachtungen der Nebelhäufigkeit (bei Frai Jorge) haben bisher nur MUÑOZ und PISANO durchgeführt, ohne sie allerdings auszuwerten. SCHMITHÜSEN (1956), der diese Daten benützt und durch eigene ergänzt, kommt zu dem Schluss, dass wir über die Wirksamkeit des Nebels nur wenig genaues wissen.

Quantitative Untersuchungen des Wasserhaushaltes der peruanischen Küstenlomas versprochen mithin aufschlussreich zu werden, besonders, wenn sie sich in einen vegetationskundlichen Rahmen einfügten. Während meiner von Januar bis Oktober 1957 dauernden vegetationsökologischen Studienreise durch Peru widmete ich mich deshalb unter anderem dem Problem der Nebeloasen und besuchte sie in etwa monatlichen Abständen immer wieder, um Messungen der Bodenfeuchte, der Evaporation, der Transpiration, der Temperaturen und anderer Faktoren vorzunehmen. Von entscheidendem Werte

aber waren mir die von Herrn ROESSL bei seinen Aufforstungsversuchen in den Lomas von Lachay (etwa 80 km nordwestlich Lima) vorausschauend eingerichteten drei Regenmess-Stationen, die seit 1944 gewissenhaft bedient wurden.

Herrn ROESSL möchte ich daher auch an dieser Stelle herzlich danken für seine Bereitwilligkeit, mir diese Messergebnisse zu überlassen und mich in die Besonderheiten der Lomas von Lachay einzuführen. Ohne die Unterstützung der Deutschen Ibero-Amerika-Stiftung, der Deutschen Forschungsgemeinschaft, des Peruanischen Landwirtschaftsministeriums und des Humboldt-Hauses in Lima wäre allerdings die Reise gar nicht möglich gewesen. Darum gilt diesen Stellen auch hier mein besonderer Dank.

2. Die heutige Vegetation der Lomas

Die peruanischen Lomas bieten den Pflanzen recht unterschiedliche Lebensbedingungen und beherbergen dementsprechend zahlreiche verschiedene Vegetationsformationen und -gesellschaften. Diese eingehend zu beschreiben, soll einer späteren Veröffentlichung vorbehalten bleiben, in der auch die jetzt noch nicht vorliegenden Bestimmungs-Ergebnisse verarbeitet werden können. Hier mag ein Überblick genügen, der die mit dem Wasserhaushalt zusammenhängenden Lebensformen-Kombinationen hervorhebt.

In allen Nebeloasen beobachtet man, dass die Verteilung der Vegetationseinheiten in den Küstenlomas vor allem von der Häufigkeit und Intensität der winterlichen Hochnebel abhängt. Diese Beziehungen sind in Abb. 1 schematisch dargestellt. Unmittelbar an der Pazifik-Küste finden sich noch keine nebelabhängigen Pflanzengesellschaften. In der Nähe von Flussmündungen gibt es Röhrichte, Feuchtwiesen und Gebüsche oder Serien von bebuschten Dünenkuppen. Einige durch Sandwälle abgetrennte schmale Lagunen sind von halophilen Rasen begrünt, während Mangroven im Ein-

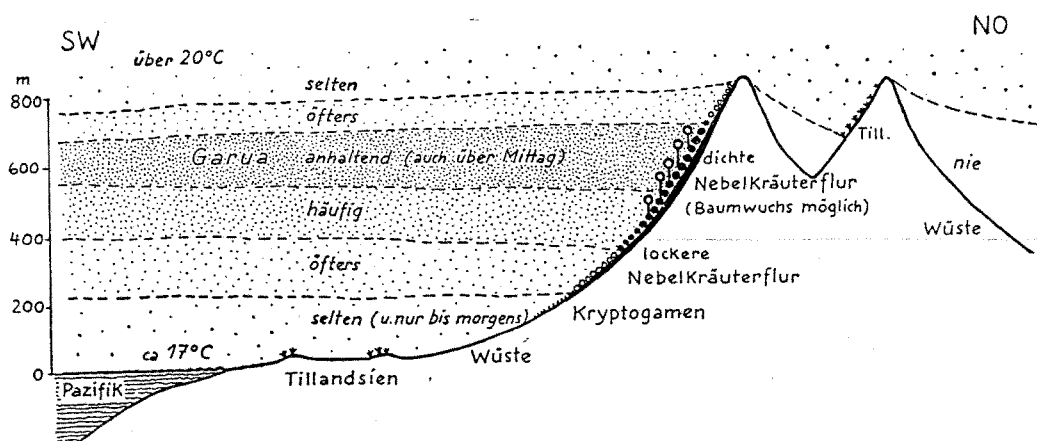


Abb. 1. Schematischer Schnitt durch eine peruanische Küstenloma. Häufigkeit des Hochnebels (garua) und Vegetationsverteilung im Südwinter.

flussbereich des kühlen Perustromes fehlen. Alle diese Pflanzenformationen aber sind vom Grundwasser abhängig, und landeinwärts hinter ihnen folgt zunächst ein mehr oder minder breiter Streifen niemals begrünter Wüste.

Wandert man nun auf eine typische Loma zu, so trifft man in der Regel zunächst Gruppen und Herden von grossen Tillandsien (z.B. *Tillandsia latifolia*, *T. purpurea*, *T. straminea*), die sich stellenweise zu küstenparallelen Streifen ordnen und in Flugsandgebieten nicht selten bis zu etwa 1 m hohe Dünen bilden (Abb. 2). Die Wurzeln dieser Tillandsien dringen nicht in den Boden ein, dienen also weder der Befestigung noch der Wasseraufnahme. Alle „grauen“ Tillandsien sind ganz auf die Versorgung aus der zeitweilig nebelfeuchten Luft angewiesen und nehmen diese „nicht messbaren“ Niederschläge besonders in den Nacht- und Morgenstunden des Südwinters mit ihren bekannten Saugschuppen auf. Tagsüber erwärmen sich ihre Blattoberflächen trotz der Hochnebeldecke bis auf über 30° C. Doch ist ein Wasserverlust erst nach einer Reihe von Trockentagen wägbare. Die Aufnahme der Nebeltröpfchen wird vermutlich durch die dünne hygroskopische Salzkruste beschleunigt, die die Blätter in den Trockenzeiten als abwischbare Staubschicht überzieht.

Tillandsien-Herden leiten nicht in allen Fällen die auf Abb. 1 dargestellte Sequenz der Nebeloasen-Vegetation ein. Sie kommen an der peruanischen Küste stellenweise auch dort vor, wo keine „Loma“ landeinwärts anschliesst. Stets besiedeln sie aber nur einen etliche Hundert Meter breiten Streifen, auf den dann wieder reine Wüste folgt.

Beginnt das Gelände in weniger als einigen Kilometern Entfernung vom Strande allmählich zu einer Loma anzusteigen, so trifft man als Vorboten der für die Nebeloasen charakteristischen kurzlebigen Kräuterfluren zunächst gewöhnlich Kryptogamen-Überzüge. Diese bestehen in den meisten Fällen aus schwärzlichen, bis daumendicken Gallerten von Blaualgen (*Nostoc commune* u.a.), die höchstens ein Drittel der Bodenoberfläche bedecken und im Gegensatz zu den Tillandsien das Überwehen mit Flugsand nicht ertragen. In flachhügeligem Gelände gibt es stellenweise, z.B. südlich von Lima bei Pachacamác, ausgedehnte graue Strauchflechten-Fluren (*Cladonia*-Arten) auf ruhendem Sande, die an die Flechtendünen Nordwest-Europas erinnern, aber neutrales bis alkalisches Substrat besiedeln. Steine findet man in gleicher Entfernung vom Meere mit bunten Krustenflechten überzogen, z.B. am Morro Solar südlich Lima.

Wie die Tillandsien sind die Kryptogamen ausdauernd, aber sehr langsamwüchsig. Sobald weiter hügelaufrwärts die Nebel häufiger und stärker nassen, bringen sie die Samen von phanerogamen Kräutern zum Keimen und zu so kräftiger Entwicklung, dass die bodennahen Kryptogamen überschattet

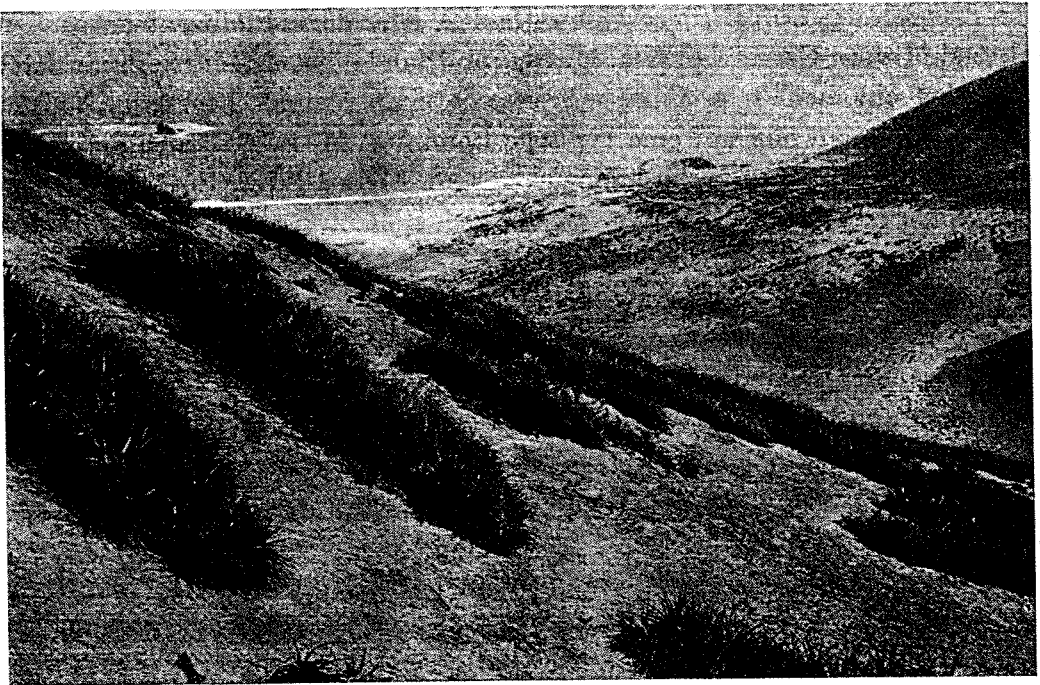


Abb. 2. Aufeinanderfolgende Streifen von *Tillandsia*-Herden am Südfusse des Morro Solar südlich Lima. Im Hintergrund der Stille Ozean.

werden. Selbst wenn die Kräuterfluren sich nur in einigen „nassen“ Jahren üppig entfalten, setzen sie den bescheidenen Cladonien damit eine Grenze, die sie nicht in geschlossenen Herden zu überschreiten vermögen. Auch bodenbewohnende Tillandsien finden hier eine konkurrenzbedingte, obere Feuchtigkeitsgrenze, obwohl sie an und für sich auch in noch nebelfeuchteren Lagen zu gedeihen vermöchten. Dort findet man sie aber nur als Epiphyten, und zwar meist in Arten von kleinerem und an die epiphytische Lebensweise angepasstem Wuchs (z.B. *Tillandsia usneoides*).

Im Randgebiet der „Kräuterlomas“ bleiben die aus zahlreichen kurzlebigen Phanerogamen gebildeten Annuellen-Fluren in den meisten Jahren lückig und niedrig. Hier halten sich mit Vorliebe einige in den Lomas endemische Vertreter der Gattung *Nolana*, deren grosse blassblaue, rosa oder weisse Blüten an Petunien erinnern (Abb. 3). Gräser kommen in dieser Zone gewöhnlich noch nicht vor, und ausdauernde Phanerogamen sind selten.

Diese werden erst im Kerngebiet der Lomas, in den Hochkräuterfluren, häufiger, ohne allerdings die Herrschaft anzutreten. Dominierend bleiben meso- bis hygromorphe, mehr oder weniger grossblättrige, sattgrüne annuelle Kräuter, die sich zu einem bis 60 cm hohen, dichten Mosaik zusammenschliessen. Als charakteristische Gestalten fallen die brennhaarige *Loasa*

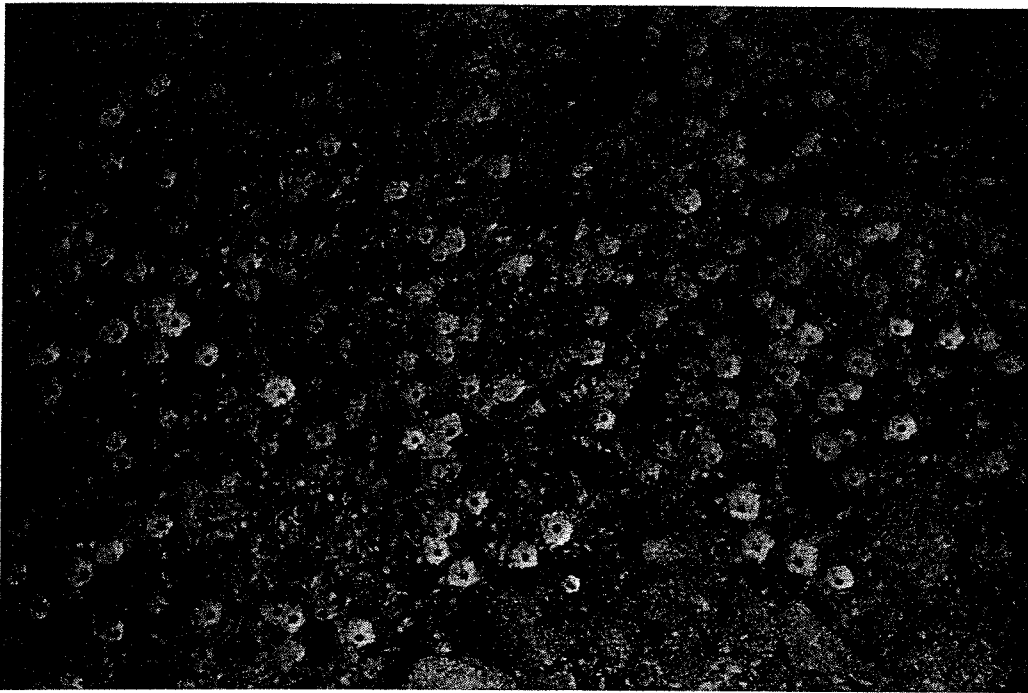


Abb. 3. Lockere Annuellenflur mit *Nolana* spec. nördlich von Chala (Südperu) in der unteren Randzone der Kräuterlomas.

urens mit ihren stark zerteilten Blättern und ihren bizarren gelben Blüten (Abb. 4) oder die blassgelb blühende hochwüchsige *Nicotiana paniculata* auf. *Chenopodium*-Arten, Malvaceen, Verbenaceen, Caryophyllaceen, Brennnesseln (*Urtica*), *Galinsoga*-Arten und sogar *Sonchus oleraceus*, *Stachys arvensis*, *Erodium cicutarium*, *Stellaria media* und andere europäische Ackerunkräuter muten dagegen bekannt an. Neben diesen vorwiegend annuellen Arten gibt es Geophyten, die im gleichen Rhythmus mit ihnen ergrünen, blühen und verdorren, z. B. Iridaceen, Wildkartoffeln (*Solanum*) und *Oxalis*-Arten, aber auch andere, die ihre farbenprächtigen Blüten in der Trockenzeit öffnen (z. B. das orangerote *Stenomesson coccineum*) und nur ihre Blätter in der Nebelluft des Winters entwickeln.

Den meisten dieser Kräuterfluren fehlen Holzgewächse heute ganz. Allenfalls mischen sich niedrige Halbsträucher wie das violett blühende *Heliotropium arborescens* oder die zu den Euphorbiaceen gehörenden *Croton*-Arten (z. B. *C. alnifolius*) unter die annuellen Kräuter. Umso mehr ist man überrascht, in den Lomas von Lachay zahlreiche Bäume zu treffen, namentlich die von Herrn ROESSL gepflanzten immergrünen Exoten *Eucalyptus globulus* und *Casuarina*, die sich als einzige von etwa 50 versuchsweise angepflanzten Holzgewächsen gut entwickelten (Abb. 12). An einigen felsigen

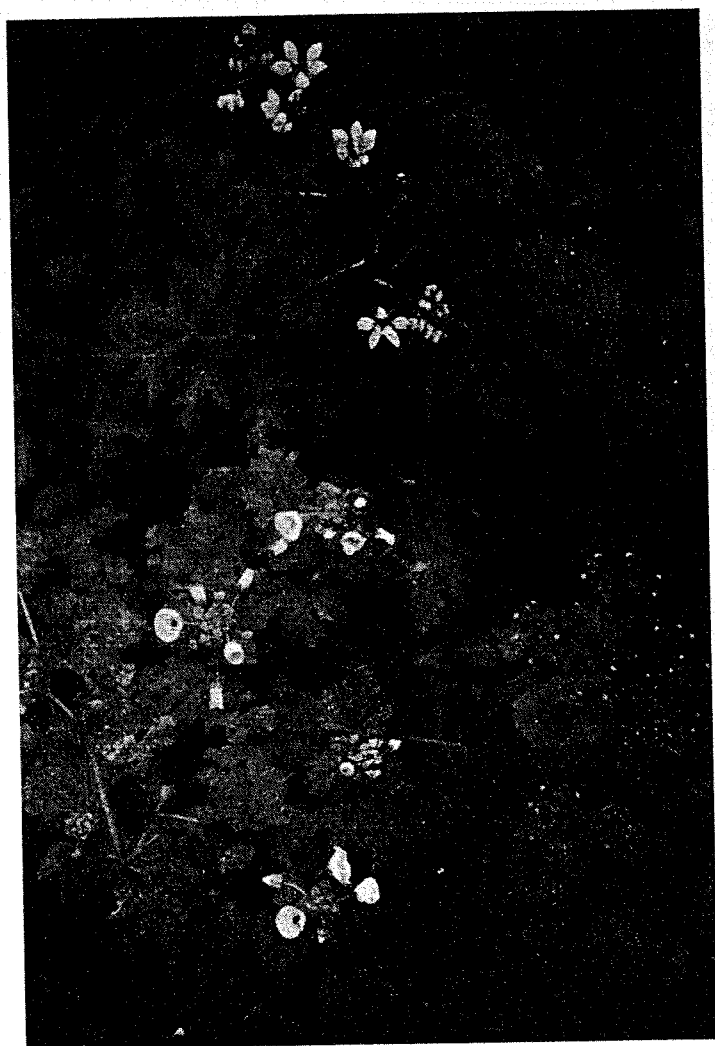


Abb. 4. Hochkräuterflur mit *Loasa urens* (oben), *Malvastrum spec.* (links) und *Galinsoga spec.* (rechts) in den Lomas von Atiquipa.

Stellen der Lomas von Lachay findet man aber auch vereinzelt bodenständige Baumarten, z.B. *Acacia macracantha*, *Carica candicans* und *Caesalpinia tinctoria*. Diese Bäume gedeihen zwar ziemlich kümmerlich, überdauern aber doch die lange Trockenzeit fast alle mit immergrünen Blättern.

Auf ihren Zweigen haben sich zahlreiche Moose und Flechten als Epiphyten angesiedelt. Ja sogar phanerogame Epiphyten kommen vereinzelt vor, namentlich die kleine halbsukkulente *Peperomia crystallina*.

Steigt man an den Hängen von mehr als 1000 m hohen Küstenbergen immer höher hinauf, so sieht man, dass die Kräuterfluren und die allenfalls vorhandenen Baumbestände in etwa 500–700 m Meereshöhe ihre grösste



Abb. 5. Durch Beweidung aufgelockerter Baumbestand* (*Eugenia spec.*) in den Lomas nördl. Chala. Vorn Hochkräuterflur. Die oberen Äste der immergrünen Hartlaub-bäume sind verdorrt.

Üppigkeit entfalten und sich von einer gewissen Höhe ab (meist unterhalb 1000 m) in ähnlicher Weise, wenn auch rascher, auflockern als am Fusse der Lomas. Offensichtlich spielt auch hier die Häufigkeit und Dichte des Wolkennebels eine entscheidende Rolle, der in etwa 800–1000 m Höhe gewöhnlich eine ziemlich scharfe Obergrenze erreicht. Über der Stratusdecke strahlt die helle Tropensonne, von deren Dasein man während des ganzen Anstiegs kaum etwas ahnte.

In der oberen Randzone der Lomavegetation findet man in Südperu meistens wiederum einige Herden bildende und Dünen anhäufende Tillandsien, besonders dort, wo sich vor erneuten Geländeanstiegen zuweilen Wolken

stauen. An manchen windabgewandten Nord- und Osthängen gibt es auch Flechten- und Kakteen-Formationen. Schliesslich aber folgt hinter den Küstenbergen die pflanzenleere Wüste, von der schon eingangs die Rede war. Tatsächlich bilden also die Lomas während des Südwinters grüne Oasen, die rundum von fahlgelben, rötlichen oder braundunklen Wüsten umgeben sind, Oasen, die den Wolkennebeln ihr Dasein verdanken müssen. Denn andere Wasserquellen kommen für sie kaum in Frage.

3. Die Wasserversorgung der Loma-Vegetation

Wenn man die Loma-Vegetation im Südsommer, also etwa in den Monaten Oktober bis Mai besucht, sieht man von der geschilderten Üppigkeit nur noch klägliche Reste. Ja, man meint in einer Wüste zu wandern, wo vor wenigen Monaten noch weidende Herden jene an Alpenhänge erinnernden Viehtreppen austraten, die den Aufstieg auf viele Lomas erleichtern. Bald nach dem Aufhören der andauernden Hochnebel vertrocknen die Kräuter, deren Blätter nicht für ein sparsames Haushalten mit den Wasservorräten des Bodens eingerichtet sind. Erst die Nebel des nächsten Winters wecken die Samen aus ihrer Trockenruhe zu neuem, üppigem Wachstum. Wie aber ist dies möglich?

Niederschläge, die mit den üblichen Regenmessern aufgefangen werden können, fallen während der ganzen Winterszeit so wenig, dass sie als Wasserquelle für die Entwicklung der Loma-Vegetation bei weitem nicht ausreichen würden. Dies mag aus den Messungen der in Tab. 1 zusammengestellten Stationen an der peruanischen Küste hervorgehen. Selbst wenn man bedenkt, dass der Wasserverbrauch der Pflanzen unter der Hochnebeldecke und bei den relativ geringen Temperaturen (Tab. 2) niedrig bleibt, reichen wenige Millimeter Regen nicht aus, um so kräftige Kräuter gedeihen und immergrüne Holzgewächse ihr Leben fristen zu lassen.

Des Rätsels Lösung bringen die von ROESSL unter einem *Eucalyptus*- und einem *Casuarina*-Baum aufgestellten Regenmesser. Obwohl nur etwa 30 bis 50 m von der in Tab. 3 angeführten Freiland-Messtelle in Lachay entfernt, gaben sie ein Vielfaches an messbaren Niederschlägen (Abb. 6). Offenbar kondensiert sich ein beträchtlicher Teil des Nebels an Zweigen und Blättern der Bäume und wird dadurch in tropfenden, mit dem normalen Regenmesser auffangbaren Niederschlag verwandelt.

In welchem Ausmass dies der Fall ist, kann man am besten zu Beginn der winterlichen Nebelzeit beobachten. Während sich rundherum noch nirgends ein Pflänzchen regt, ist der Boden im Tropfbereich der Bäume schon begrünt. Der Vorsprung der Pflanzenentwicklung kann hier nach meinen Beobachtungen 4-6 Wochen betragen, besonders in so nebelarmen Jahren

Tab. 1. Niederschläge an peruanischen Küstenstationen

(Die Zahlen bedeuten Millimeter, nicht Zentimeter!)

Station	Sommer			Wintermonate						Sommer			Jahr
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Chiclayo	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	5
Trujillo	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Paramonga	1	0	0	0	6	1	1	3	2	0	0	0	15
Lima	1	0	1	0	3	5	6	7	6	2	1	1	34
Cañete	0	1	1	0	9	3	4	3	3	1	1	12	40
Pisco	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Lomas	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	3
Tacna	3	2	0	2	4	3	3	7	8	6	3	2	43

Lage der Stationen: Chiclayo 06° 47' S / 79° 50' W, 31 m über N.N. – Trujillo 08° 06' S / 79° 02' W, 26 m – Paramonga 10° 40' S / 77° 49' W, 15 m – Lima 12° 04' S / 77° 02' W, 137 m – Cañete 13° 07' S / 76° 12' W, 36 m – Pisco 13° 45' S / 76° 14' W, 6 m – Lomas 15° 33' S / 74° 56' W, 10 m – Tacna 18° 00' S / 70° 15' W, 457 m.

Beginn der Messreihen: Chiclayo 1944, Trujillo 1952, Paramonga 1938, Lima 1928, Cañete 1936, Pisco 1942, Lomas 1949, Tacna 1937.

(Die Ziffern der Tabelle sind abgerundete Mittelwerte bis einschliesslich 1956).

Alle Angaben der Tabellen 1 bis 4 verdanke ich der freundlichen Vermittlung von Herrn Dr. RUDLOFF – Lima (jetzt Hamburg).

Tab. 2. Temperaturen an peruanischen Küstenstationen (°C)

Station u. Messreihe	Sommer			Wintermonate						Sommer		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lima												
monatl. Max.	28,2	28,4	29,2	26,8	23,9	20,9	19,6	19,8	20,2	21,2	23,4	25,4
Monatsmittel	20,7	21,5	21,2	19,5	17,3	15,6	14,8	14,7	15,0	15,1	17,1	18,9
monatl. Min.	16,8	17,5	17,2	15,1	13,9	12,8	12,3	11,8	12,4	12,8	13,6	14,8
Lomas												
monatl. Max.	27,1	28,4	27,1	26,1	26,2	22,9	22,1	20,8	21,1	21,8	24,3	25,7
Monatsmittel	20,7	21,3	20,2	18,9	17,1	15,8	15,2	15,1	15,5	16,2	17,7	19,3
monatl. Min.	15,4	16,3	15,4	13,7	11,8	11,1	10,4	10,6	11,3	11,9	12,5	14,1

Zur Lage der Stationen vgl. Tab. 1!

wie 1957. Auch meine Untersuchungen der Bodenfeuchtigkeit während des Jahres 1957 sprechen für die Zuverlässigkeit der in Tab. 3 aufgeführten Regenmessungen. Die Feuchtigkeitsswelle drang in den humosen Sandboden unter den Bäumen nicht nur rascher (Abb. 7), sondern auch tiefer (Abb. 6) ein als unter der reinen Kräuterflur oder gar als unter einer künstlich pflanzenfrei gehaltenen Fläche.

Rechnet man die bis September 1957 in den Boden eingedrungene Wassermenge auf Grund von volumenmässigen Feuchtebestimmungen in mm pro Bodenfläche um, so ergeben sich sogar noch höhere Werte, als sie in den Regenmessern festgestellt wurden (Abb. 6). Die im Oberboden am Ende der Nebelperiode 1957 vorhandenen Wasservorräte sind aber sicher geringer als die in ihn eingedrungenen Niederschlagsmengen. Denn ein Teil derselben wird trotz der geringen Transpiration für den Aufbau der Pflanzenkörper verbraucht worden sein. Die berechneten Mengen sind mithin als minimale anzusehen und berechtigen zu dem Schluss, dass nicht nur die über den Regenmessern stehenden Bäume, sondern auch die unter ihnen entwickelten Kräuter tropfbares Wasser aus dem Nebel „ausgekämmt“ haben müssen.

In den Nebeloasen der peruanischen Küste sind es also zu einem beträchtlichen Teil die Pflanzenbestände selber, die sich ihr Niederschlagsklima schaffen. Unbewachsene Flächen bleiben an demselben Standort fast bodentrocken (Abb. 6), an dem Kräuterfluren reichlich Wasser empfangen und immergrüne Bäume dem Boden sogar soviel Regen zuführen, dass sie damit während der Trockenzeit auszukommen vermögen.

Tab. 3. Jährliche Niederschlagssummen in Lachay (mm)

Jahr	Freiland	unter Casuarina	unter Eucalyptus
1944	131	736	675
1945	145	262	252
1946	194	407	392
1947	175	496	444
1948	219	819	997
1949	204	685	1240
1950	148	378	437
1951	159	266	536
1952	159	450	784
1953	197	337	923
1954	121	538	756
Mittel 1944-54	168	488	676
1957 ¹	79	194	195

¹ bis Ende September

Offenbar sind die in den Boden eindringenden Wassermengen in nebelreichen Jahren noch wesentlich grösser als in dem Ausnahmejahr 1957, in dem der Perustrom nicht so kühl wurde wie in normalen Jahren. Jedenfalls fand ich in allen Bodeneinschlägen unterhalb 1 m Tiefe noch einen mehrere Dezimeter mächtigen Horizont mit beträchtlicher Restfeuchtigkeit, die nur aus den Vorjahren stammen konnte. Denn darüber und darunter war der Boden nahezu lufttrocken.

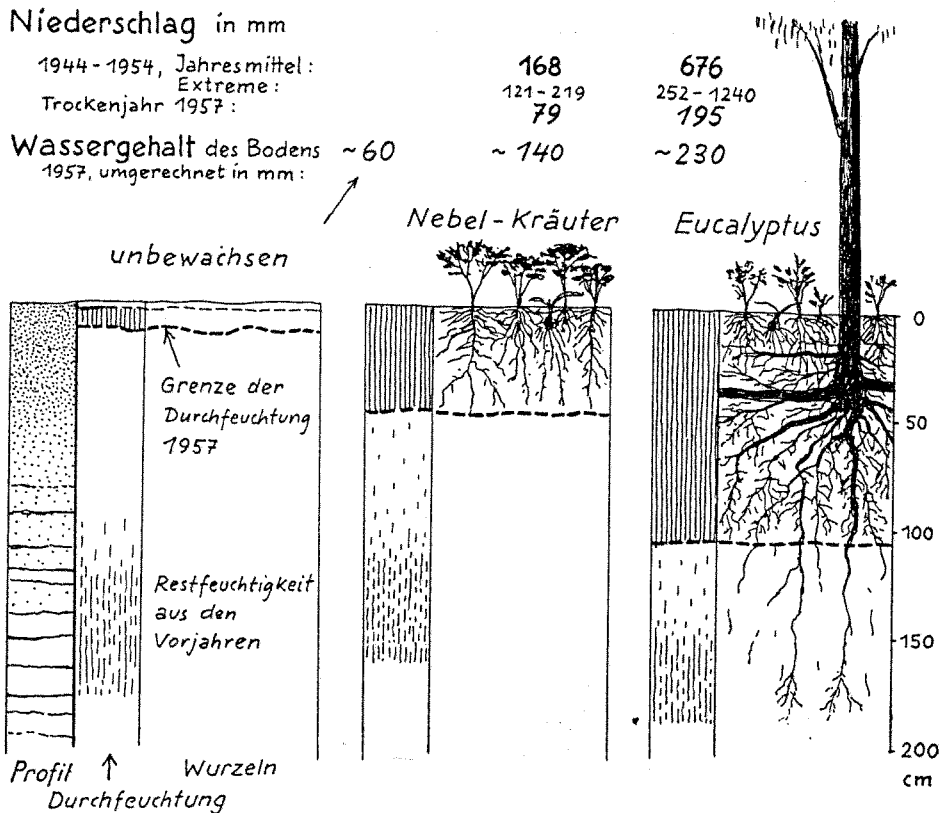


Abb. 6. Schematische Übersicht der Niederschlagshöhe und der Eindringtiefe des Sickerwassers in Sandboden unter verschiedener Vegetation in den Lomas von Lachay.

Obwohl sich die Niederschlags- und Bodenfeuchte-Bestimmungen in Lachay gegenseitig bestätigen, erscheint der Schluss unglaublich, dass während weniger Monate mehrere 100 mm Tropfwasser aus einem nur selten in Sprühregen übergehenden Nebel kondensiert worden sein sollen. Zwar beobachtete MARLOTH schon 1908 auf dem Tafelberg bei Kapstadt, dass sich aus sturmgepeitschtem Wolkennebel erstaunlich grosse Wassermengen an Zweigen und Steinen niederschlagen. Auch die von LINKE (1953) im Taunus

an Waldrändern unter Nadelbäumen aufgestellten Regenmesser wiesen in Nebelzeiten beträchtlich höhere Niederschläge auf als ausserhalb oder tiefer im Walde stehende Geräte. Wie GEIGER (1956) betont, handelt es sich hier aber um eine ausgesprochene „Randwirkung“, die nicht dem ganzen Walde zugute kommt, während das Loma-Phänomen offensichtlich nicht auf den Rand der Kräuterfluren oder Baumbestände beschränkt bleibt. In MARLOTHS (1908) viel zitiertem Beispiel andererseits sowie bei den von GRUNOW'schen Nebelniederschlagsmessern (1952) zusätzlich aufgefangenen Wassermengen war sicher die starke Luftbewegung ausschlaggebend. An der peruanischen Küste bleiben aber die Winde fast immer sehr schwach, wenn sie auch ziemlich stetig landeinwärts wehen.

4. Der Nebel als Wasserquelle der Lomavegetation

Um abzuklären, ob ein beträchtlicher und anhaltender, nicht nur randlich, sondern auch in ausgedehnten Pflanzenbeständen flächenhaft wirksamer Nebelniederschlag unter den Bedingungen der peruanischen Pazifikküste überhaupt denkbar ist, sei die folgende Überlegung gestattet.

Sie geht davon aus, dass (nach HANN-SÜRING, S. 221) in einem Kubikmeter Nebelluft bei normalem Druck und 15°C , d.h. ungefähr bei der in den Lomas herrschenden Temperatur, zwar 12.9 g Wasserdampf, aber nach GEIGER (1956) durchschnittlich nur etwa 0.4 bis 0.8 g (0.01 bis 5 g) Tröpfchenwasser enthalten sind. Der Einfachheit halber sei mit 0.5 g gerechnet. Wenn

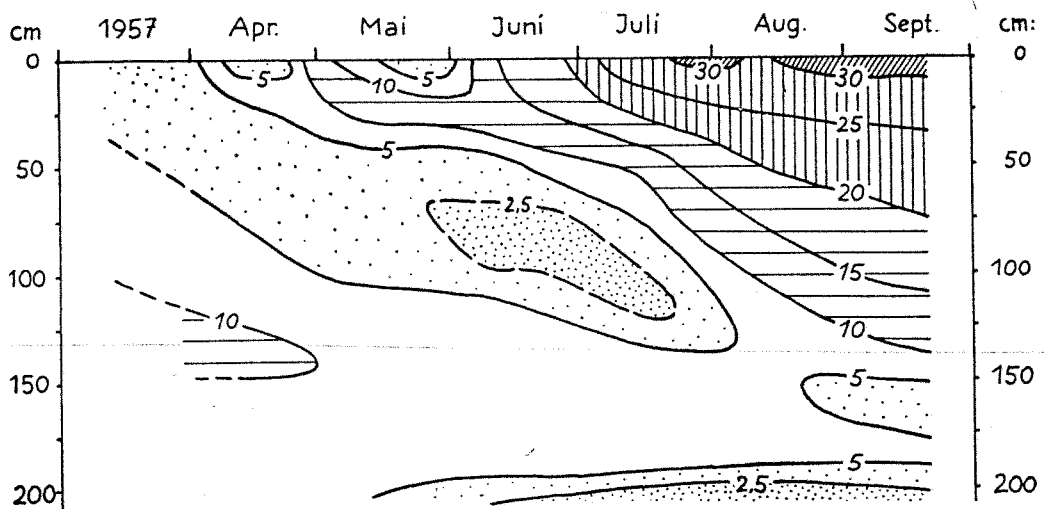


Abb. 7. Änderungen der Bodenfeuchtigkeit unter lockerem *Eucalyptus*-Bestand in den Lomas von Lachay. Im Jahre 1957 begann die nebelreiche Zeit ausnahmsweise erst im Juni.

dieses schwebende Tröpfchenwasser vollständig zu „Regen“ kondensiert werden könnte, ergäbe es nicht mehr als 0.0005 mm Niederschlag. Erst 2000 m³ Luft würden nach dieser Berechnung 1 mm messbaren Niederschlag liefern.

Ruhende Nebelluft kommt also für die Wasserversorgung der Lomavegetation nicht in Frage. Denn selbst wenn auch alles dampfförmige Wasser kondensiert werden könnte (was in Wirklichkeit nicht möglich ist), würden sich aus einem m³ Luft höchstens 0.013 mm Tröpfchenwasser gewinnen lassen. Tatsächlich herrscht nun aber in den Lomas fast immer ein leichter Süd- bis Südwestwind, der allerdings nur selten Geschwindigkeiten über 4 m/sec erreicht (vgl. Tab. 4). Rechnet man mit einem Durchschnittswert von 1 m/sec, der sicher nicht zu hoch angenommen ist, so bewegen sich in einer Stunde 3600 m Luft an einem ruhenden Punkte vorbei. In den Höhenlagen mit dichter Loma-Vegetation, d.h. bei etwa 400–800 m Meereshöhe (vgl. Abb. 1), herrscht während der Wintermonate täglich schätzungsweise 15 bis 20 Stunden lang Nebel. Denn nur in den späten Vormittagsstunden hebt sich die Untergrenze der Stratuswolken bis auf grössere Höhe, um schon im Laufe des Nachmittags wieder bis zur Bodenoberfläche herabzusinken. Rechnet man mit nur 15 Stunden, so können sich also im Laufe eines Tages rund 50 km Nebelluft mit 1 m/sec an festen Hindernissen entlang bewegen. Während der durchschnittlich 120 Nebeltage eines Jahres wären das insgesamt nicht weniger als 6000 km.

Ein 1 m hohes Hindernis könnte in dieser Zeit maximal 3000 mm (6000 : 2, vgl. den zweiten Absatz dieses Kapitels) Tröpfchenwasser abfangen, ein 10 m hohes 30000 mm, ein 10 cm hohes aber nur 300 mm. Aus diesem Zahlenverhältnis wird ohne weiteres klar, dass der Wassergewinn aus bewegtem Nebel entscheidend von der Höhe des Hindernisses abhängt, wenn man in allen Fällen die gleiche, hoch wirksame Dichte voraussetzt. Niederschlagsunterschiede bei ungleich hohem Bewuchs, wie sie in Abb. 6 dargestellt sind, erscheinen also verständlich.

Tab. 4. Mittlere Windgeschwindigkeiten an peruanischen Küstenstationen (m/sec)

Station	Sommer			Wintermonate						Sommer		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lima	2,2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	4,1	2,3	2,4	2,6
Pisco	4,3	4,3	4,3	3,9	3,2	3,1	3,3	3,3	3,7	3,9	4,1	4,3
Lomas	1,1	1,4	1,6	1,8	2,1	2,9	2,9	3,1	2,3	2,1	1,5	1,1

In der Grössenordnung führt unsere Überlegung zu einem Vielfachen der tatsächlich festgestellten Werte. Denn unter dem etwa 9 m hohen *Eucalyptus*-Baum ergab sich eine durchschnittliche Kondensation von rund 500 mm (nämlich 679 — 165, dem im Freiland gemessenen Niederschlag). Unter der etwa 50 cm hohen Kräuterflur dagegen betrug die Kondensation rund 30 mm. Beide Werte sind nur etwa ein Fünfzigstel von den berechneten, die allerdings auf der unwirklichen Voraussetzung beruhen, dass das Tröpfchenwasser restlos aus dem Nebel ausgekämmt werden könne. Auch in nebelreicheren Jahren als 1957 würde jedenfalls die tatsächlich von pflanzlichen Hindernissen abtropfende Kondenswasser-Menge weit unter der maximal möglichen liegen.

Alle bisherigen Überlegungen gelten jedoch nur für den Rand von Pflanzenbeständen. Denn nur dieser käme in den Genuss des aus dem Nebel herausgekämmteten Tröpfchenwassers, falls dieses nicht rasch wieder regeneriert würde. An den Hängen der Lomas besteht nun tatsächlich eine solche Regenerationsmöglichkeit, indem das in der Nebelluft dampfförmig enthaltene Wasser infolge Druckabnahme beim Aufsteigen zur Kondensation gezwungen wird. Diese Dampfdruck-Verminderung ist recht gross, beträgt sie doch nach HANN-SÜRING (S. 229) in Gebirgen etwa 3.5 % auf 100 m Steigung. Bei 15° C müssten demnach aus einem m³ Nebelluft infolge Aufsteigens um 100 m rund 0.45 g (3.5 % von 12.9) Wasserdampf in Tröpfchen übergehen, d. h. ungefähr so viel, wie im Nebel durchschnittlich an Tröpfchenwasser enthalten ist.

An steilen Hängen kommen ausserdem fast alle Pflanzen in den Genuss der „Randwirkung“, weil wenigstens ihre oberen Blätter direkt von der heranströmenden Nebelluft berührt werden. Beide Gründe führen dazu, dass die Umwandlung von windbewegtem Nebel in tropfenden Niederschlag an Berghängen auf viel grösseren Flächen wirksam ist als in ebenem Gelände. Die Gestalt der Lomas ist mithin von entscheidender Bedeutung für das Zustandekommen des „Loma-Phänomens“, und der Unterschied zwischen der wüstenhaften afrikanischen Namib und den kräuterreichen Nebeloasen Perus dürfte in erster Linie durch das Fehlen oder Vorhandensein küstennaher Berge zu erklären sein.

Wie unsere Überlegungen zeigen, machen die ständige Bewegung und das Aufsteigen am Hang eine Tröpfchen-Kondensation aus tropischem Hochnebel möglich, die den in Lachay gemessenen Werten durchaus entspricht. Nur unter diesen Voraussetzungen kann der Nebel zur hauptsächlichen Wasserquelle für die Vegetation werden. Beide Voraussetzungen allein würden aber noch nicht ausreichen, um so raschwüchsige und üppige Pflanzenbestände zu erzeugen, wie sie für die peruanischen Nebeloasen charakteri-

stisch sind. Als dritter Faktor spielt die Lufttemperatur eine wesentliche Rolle, und zwar vor allem als direkt wirkende Umweltsbedingung, aber auch in ihrem Einfluss auf die Wasserversorgung durch den Nebel.

Das Fassungsvermögen der Nebelluft an Wasserdampf und an Tröpfchen ist natürlich stark von ihrer Temperatur abhängig. Bei 760 mm Druck enthält 1 m³ Nebelluft:

bei 30° C	30.7 g Wasserdampf
bei 25° C	23.2 g Wasserdampf
bei 20° C	17.3 g Wasserdampf
bei 15° C	12.9 g Wasserdampf
bei 10° C	9.4 g Wasserdampf
bei 5° C	6.8 g Wasserdampf
bei 0° C	4.9 g Wasserdampf

Demnach ist schon bei 15° C, der mittleren Temperatur in den Lomas, etwa doppelt so viel Wasser nachlieferbar wie bei 5° C, d. h. bei Temperaturen, wie sie den winterlichen Hochnebeln europäischer Gebirge eigen sind.

Ohnehin bleiben diese Hochnebel der gemässigten Zone für das Pflanzenleben ziemlich bedeutungslos, weil sie sich vorwiegend in einer Jahreszeit bilden, deren geringe Wärme eine Vegetationsruhe erzwingt. In Peru dagegen herrschen während des Südwinters bei den denkbar besten Bedingungen für die Wasserversorgung aus dem Nebel und dauernd geringer Wasserabgabe infolge der hohen Luftfeuchtigkeit zugleich recht vorteilhafte Temperaturen für Assimilation und Wachstum. Es handelt sich hier also um eine einzigartig günstige Kombination von Voraussetzungen für das Entstehen von Nebeloasen, die auf der Erde nirgends als an der Küste Perus und Nordchiles gegeben sind.

Der afrikanischen Westküste fehlen sowohl südlich als auch nördlich des Äquators die küstennahen Berge, an denen die Luft wie an den Hängen der Lomas emporsteigen könnte. Der Nebel ist hier deshalb nach WALTER nahezu ohne Einfluss auf die Wasserversorgung der Vegetation.

An der kalifornischen Westküste sind die Temperaturen niedriger, und ausserdem lösen sich die Hochnebel nach BYERS meistens schon vormittags auf, bieten also in den Stunden der stärksten Sonnenstrahlung keinen Verdunstungsschutz. An anderen tropischen und subtropischen Küsten fehlt die kühle Meeresströmung, die das Ausgangsglied der Ursachenkette für das Zustandekommen der peruanischen Lomavegetation ist.

Lediglich an einigen Stellen der Ostküste des Roten Meeres kommt noch einmal eine mit den peruanischen Verhältnissen vergleichbare Konstellation von Bedingungen vor. TROLL (1935) hat sie von Erkowit beschrieben, wo am Rande des Hochlandes von Erythräa üppige Kräuterfluren gedeihen, die im trockenen Sommer wieder verschwinden, und wo auch immergrüne Bäume

wachsen, obwohl die gemessenen Niederschläge 200 bis 300 mm im Jahr nicht übersteigen. Er erwähnt ausserdem, dass sich in den Randzonen dieser Nebeloase der Tropfbereich von Akazien stärker begrünt habe als die Umgebung der Bäume, eine Beobachtung, die man jedes Jahr ebenso in Lachay und anderen peruanischen Lomas machen kann. Es wäre interessant, die Ausdehnung dieser altweltlichen Nebeloasen und ihren Wasserhaushalt näher zu untersuchen und sie mit den heute besser bekannten südamerikanischen Lomas zu vergleichen.

5. Wasserabgabe und Wärmegenuss der Lomapflanzen

Wie günstig und gleichmässig die Wachstumsbedingungen in den tropischen Nebeloasen an der peruanischen Küste während der Winterzeit sind, wird dem Besucher deutlich, wenn er den Gang der Temperaturen sowie der Evaporation und Transpiration vom Tagesminimum bis zum Tagesmaximum verfolgt.

An einem nebelreichen Tage ist mit dem Piche-Evaporimeter keine Verdunstung feststellbar. Es findet im Gegenteil eine starke Tröpfchenkondensation an den aufgestellten Geräten statt. Die Transpiration dürfte ebenfalls gleich Null oder doch sehr gering sein, denn während des ganzen Tages bleiben die Blattspreiten äusserlich feucht, und von ihren Rändern und Spitzen tropft unaufhörlich Wasser herab. Unter solchen Umständen ist es sinnlos, die Transpiration abgeschnittener Blätter oder Sprosse durch kurzfristig wiederholte Wägungen bestimmen zu wollen. Nur die Temperaturen zeigen einen deutlichen Tagesgang, schwanken allerdings sogar an nackten Erdoberflächen nur um wenige Grade (Abb. 8a). Niemals sinkt die Temperatur unter 5°C , geschweige denn unter 0°C . In der Höhenstufe der üppigen Kräuterfluren bleibt die Wärme in der Regel über 10°C , aber unter 20°C , d.h. in einem Bereich, der hohe Assimilationsgewinne zulässt.

Hebt sich tagsüber die Wolkendecke oder reisst sie gar für einige Stunden auf, so macht sich sogleich die starke Einstrahlung tropischer Breiten bemerkbar (Abb. 8b). Die Bodenoberfläche und die unteren Luftschichten erwärmen sich rasch, die Evaporation wird messbar und die Transpiration der Pflanzen steigt an, sobald sie oberflächlich abgetrocknet sind. Allerdings erhält man mit der Methode kurzfristiger Wägungen niemals extreme Werte. Solche Tage mit mehr oder minder grossem Wasserverlust sind in normalen, nebelreichen Jahren und besonders in den höher gelegenen Teilen der Lomas jedoch selten (vgl. Abb. 1).

Um neben der Gunst der Lebensbedingungen im Südwinter auch ihre Ungunst im Sommer zu kennzeichnen, sind in Abb. 8c Messungen aus der Trockenzeit zusammengestellt. Aus ihnen geht hervor, dass die immergrünen

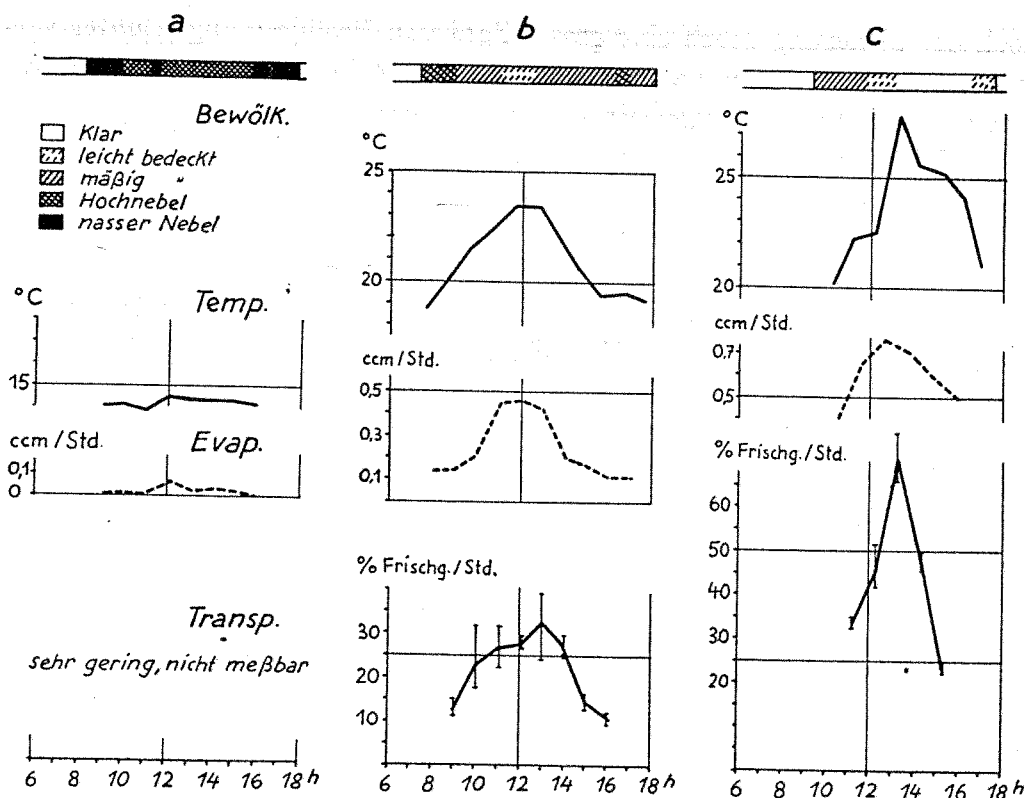


Abb. 8. Temperatur, Evaporation (Piche, grüne Scheiben von 3 cm Durchmesser) und Transpiration (3–4 Sonnenblätter von *Capparis* spec., 2-Minuten-Exposition) in den Lomas von Lachay, und zwar an einem nebligen (a), einem mässig wolkgigen (b) und an einem sonnigen Tage (c) in etwa 2 m Höhe. Andere immergrüne Holzpflanzen, z. B. *Croton*- und *Eucalyptus*-Arten, verhalten sich ähnlich wie *Capparis*.

Sträucher und Bäume trotz hoher Evaporation ihre Transpiration nicht einzuschränken brauchen. Da sich keine mittägliche Depression zeigt, darf den Ergebnissen der kurzfristigen Wägungen hier wohl vertraut werden. Als Tiefwurzler finden die Holzgewächse offenbar auch gegen Ende der Trockenperiode noch genügend Wasser im Boden.

Auffällig ist übrigens, dass grosse Bäume, z. B. die gepflanzten *Eucalyptus* in Lachay, die Hauptmasse ihrer Wurzeln nicht nahe der Bodenoberfläche, sondern erst in etwa 25–50 cm Tiefe ausbreiten (vgl. Abb. 6). In den oberen Dezimetern entziehen ihnen nämlich die zu Beginn der Trockenzeit absterbenden Kräuter mit ihrem dichten Feinwurzelnnetz alles pflanzenaufnehmbare Wasser (Abb. 7). Das weitreichende und tiefreichende Wurzelwerk der Bäume dient also anscheinend in erster Linie der Wasserversorgung während des trockenen Sommers und ist an diese angepasst. Allerdings bedürfen meine wenigen, mehr stichprobenhaften Aufgrabungen in Lachay

noch der Sicherung durch eine grosse Zahl von Profilgrabungen unter verschiedenen Baumarten und in anderen Lomagebieten, bevor dieser einleuchtende Befund verallgemeinert werden könnte.

Auf jeden Fall kann die Tatsache, dass die Transpiration der untersuchten Holzarten noch gegen Ende des trockenen Sommers 1956/57 keine Einschränkungen zeigte, als weiterer Hinweis auf die „Waldfähigkeit“ mancher peruanischer Nebeloasen gelten. Zwar sind alle immergrünen Arten der Lomastandorte mehr oder minder xeromorph und langsamwüchsig. In ihrem Habitus und in ihrem Wasserhaushalt entsprechen sie aber eher den mediterranen Hartlaubebäumen und -sträuchern als den in Halbwüsten vegetierenden Holzgewächsen. Auch in diesem Zusammenhange erweist es sich mithin als berechtigt, von „Nebeloasen“ und nicht von „Nebelwüsten“ oder „Feuchtluftwüsten“ zu sprechen.

6. Die natürliche Bewaldung der Lomas

In den tropisch-subtropischen Nebeloasen schaffen sich Baumbestände das für sie günstige Klima in einem Ausmasse, wie dies unter keinen anderen Umständen auf der Erde vorkommt. Hierfür liefern die teilweise gelungenen Aufforstungen ROESSLS in Lachay, seine Niederschlagsmessungen sowie meine hier dargelegten Untersuchungen einen schlüssigen Beweis. Diese Einsicht führt aber sogleich zu der Frage, ob die heute fast ausnahmslos baumfreien Lomas von Peru nicht früher zu einem grossen Teile bewaldet waren.

Reste einer solchen Bewaldung fand ich nur in den Lomas von Lachay und viel weiter südlich in den Lomas von Atiquipa bzw. nördlich von Chala, auf deren Baumbestände mich Frau Dr. M. KOEPCKE aufmerksam machte. So weit meine Erkundigungen und meine eigenen Beobachtungen reichen, findet man in allen anderen Lomas nur ganz vereinzelt einmal Büsche, aber nirgends mehr über 5 m hohe Bäume.

Die heutige Baumlosigkeit spricht allerdings keineswegs gegen die Ansicht, dass zumindest die nebelreichsten Lomazonen früher bewaldet oder doch bebuscht waren. Denn seit Jahrhunderten suchen die nomadisierenden Hirten nach Brennholz, wenn sie mit ihren Herden monatelang in den Lomas leben. Selbst in den heute völlig gehölzfrei erscheinenden Gebieten fand ich grössere Vorräte von Strauch- und vor allem von Wurzelholz bei ihren Zelten (Abb. 9).

Waren die Holzgewächse erst einmal vernichtet, so konnten sie sich kaum wieder einstellen, weil zugleich die Wasserversorgung geringer wurde und weil das weidende Vieh den sich mühsam emporkämpfenden Jungwuchs immer wieder verbiss. Nur giftige Sträucher, wie die *Croton*-Arten, oder dornbewehrte, wie *Acacia macracantha*, vermochten sich allenfalls wieder

anzusiedeln. Auch die Ausbreitung mancher Kakteen mag durch das Vieh indirekt begünstigt worden sein.

Eine Vorstellung davon, wie der natürliche Lomawald ausgesehen haben dürfte, gibt nur der oben bereits erwähnte Waldrest bei Atiquipa. Er besteht vorwiegend aus einer *Eugenia*-Art, die kleine, immergrüne und sehr harte Blätter besitzt und deren zahlreiche krummen Stämme in etwa 5 bis 8 m Höhe ein dichtes Kronendach bilden. Dieses lässt so wenig Licht auf den



Abb. 9. Zelt von Schaf- und Rinderhirten mit Brennholzvorräten in den Lomas von Lurin südöstl. Lima im August 1957. Die Hirten sind in den Anden ansässig und leben in den Küstenlomas als zeitweilige Nomaden.

Boden gelangen, dass keines der typischen Lomakräuter unter ihm gedeiht und nur einige hygromorphe Schattenfarne hier ihr Dasein fristen (Abb. 11). Die oberen Zweige aller Kronen waren im Jahre 1957 dürr. Sie müssen sich in einer Folge von feuchten Jahren entwickelt haben, dann aber abgestorben sein. Sie bildeten während der Trockenzeit eine etwa 50 cm mächtige windbremsende und strahlungsvermindernde, also transpirationshemmende Schicht, während sich im Winter der Nebel bevorzugt an ihnen kondensierte.

An den Rändern ist dieses ohnehin nur etwa ein Hektar grosse Wäldchen zunehmend aufgelockert und parkartig mit Kräuterfluren durchsetzt (Abb. 5). Viehsteige durchziehen den ganzen Bestand (Abb. 11), der nur noch an einigen steilen und felsigen Stellen völlig geschlossen ist. Alles

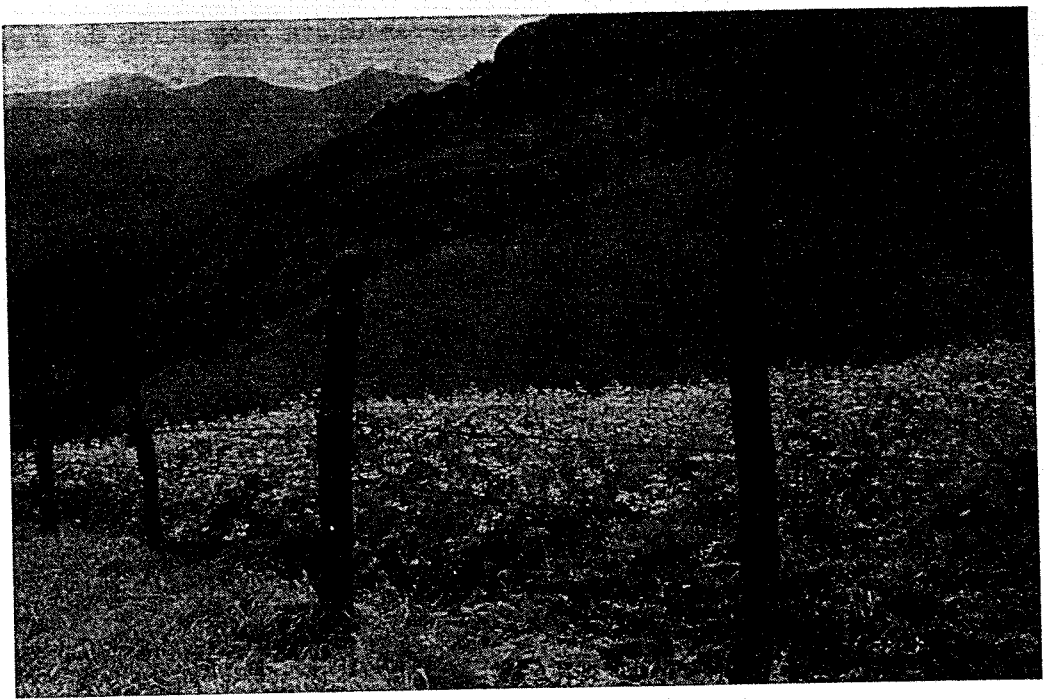


Abb. 10. Weideunkräuter auf stark überbeweideten Lomas bei Lachay. Hinter dem Zaun *Loasa urens*, im Mittelgrund *Croton*-Büsche zwischen Viehsteigen; dahinter Felsgruppen und einzelne Bäume. Vor dem Zaun Hafer, der nur in feuchten Jahren reif wird.

spricht also dafür, dass es sich um einen letzten Rest früher ausgedehnterer Bestände handelt, die der Axt und dem Weidevieh zum Opfer gefallen sind wie wahrscheinlich viele einst vorhandene Lomagehölze.

Wann die Vernichtung der natürlichen Hartlaubgehölze in den Lomas von Peru begonnen hat, lässt sich heute nicht mit Sicherheit mehr feststellen. Jedenfalls wird man in der Nähe der grösseren Flussoasen schon früh das Vieh in die Lomas getrieben haben, weil hier reichlich Futter wuchs, während das ganze Hinterland unter dem winterlichen Regenmangel litt. Sogar Lamas, die man heute im warmen Küstengebiet nur noch ausnahmsweise zu Gesicht bekommt, müssen hier einst in grosser Zahl geweidet haben. Denn man findet (nach КОЕРСКЕ mdl.) noch viele Knochenreste von ihnen. Früher waren ja die Lamas das wichtigste Transportmittel von den er reichen Anden zur Küste. Sehr wahrscheinlich ist es jedoch, dass die Beweidung erst seit der Eroberung Perus durch die Spanier intensiv und regelmässig wurde. Denn diese brachten Rinder, Schafe, Ziegen, Pferde, Maulesel und Esel mit, Viehartens, die es früher in den Andenländern nicht gegeben hat.

Der Holz- und Holzkohlebedarf der grossen Städte muss aber schon in vorspanischer Zeit sehr gross gewesen sein. Nach Vernichtung der leicht zugänglichen Auenwälder wird man auch die Gehölze in den Lomas nicht



Abb. 11. *Eugenia*-Wald nördl. Chala (vgl. Abb. 5), mässig durchweidet (siehe den Viehsteig rechts). Der geschlossene Wald ist sehr dunkel und fast ohne Unterwuchs.

geschont haben. So dürfte es kein Zufall sein, dass nur die oben erwähnten Waldreste in der Umgebung von Lachay und im Hinterland von Atiquipa erhalten blieben, liegen sie doch weit entfernt von grösseren Siedlungen der vorspanischen wie der neueren Zeit.

Möglicherweise stellen die Hartlaubwälder der Lomas Überreste aus der Pluvialzeit dar, deren Erosionsspuren sich überall an den Berghängen, auch in den heute wüstenhaften Teilen des Küstenlandes, nachweisen lassen. Wie die Aufforstungsversuche ROESSLS zeigen, könnten sich Wälder aber auch unter den heutigen Klimabedingungen wieder bilden, und es bedarf nach den obigen Ausführungen keiner Klimaänderung, um ihr Vorhandensein zu erklären.

Die Degradation der Loma-Vegetation, die zunächst üppige Krautfluren an die Stelle ehemaliger Wälder setzte, kann durch übermässige Beweidung sogar noch weiter getrieben werden. In den Lomas von Lachay gibt es nahe der Hacienda des Landwirtschaftsministeriums so oft von Rindern begangene Stellen, dass zwischen den Viehsteigen nur niedrige *Croton*-Büsche und andere „Weideunkräuter“ wachsen (Abb. 10). Die übrigen annuellen Lomakräuter kommen hier nicht mehr zur Fruchtreife, weil sie zu früh und zu stark abgefressen werden, und sind im Laufe der Jahre fast restlos verschwunden.

Waren die Kerngebiete der Lomas nach der hier vorgetragenen Ansicht früher bewaldet, so muss es doch in den weniger feuchten Randzonen stets Kräuterfluren gegeben haben. Aber auch diese standortsbedingten und nicht erst durch Mensch und Vieh geschaffenen Nebelkräuter-Gesellschaften zeigen Spuren menschlicher Beeinflussung. Sie sind auffallend reich an „Weideunkräutern“, d.h. an Arten, die das Vieh wegen ihres schlechten Geschmacks oder ihrer Bewehrung (*Loasa*!) oder aber ihrer Giftigkeit (*Hemerocallis*)



Abb. 12. *Eucalyptus*- und *Casuarina*-Anpflanzungen in den Lomas von Lachay. Am Regenmesser Dr. RUDLOFF und der Ableser. Der Hund hinter diesem verschwindet fast in den hohen Kräutern!

meidet. Wahrscheinlich ist auch die Höhe und Dichte dieser Kräuterfluren durch die Beweidung geringer geworden.

Allgemein darf man sich also die Loma-Vegetation als ehemals dichter und höher vorstellen. Das heisst aber, dass sie früher auch mehr Nebelwasser kondensieren und ein feuchteres Lokalklima erzeugen konnte. M. KOEPCKES Beobachtung, dass sich zahlreiche Reste von typischen Loma-Schnecken in den heute wüstenhaften Randzonen mancher Lomas (z.B. bei Lachay) finden, deutet also ebenso wenig auf eine Änderung des Allgemeinklimas hin wie das Verschwinden mancher Waldbestände.

Von wirtschaftlicher Tragweite ist die Frage, ob man nicht die waldfähigen Teile der Lomas heute wieder aufforsten solle. Das gewagte Experi-

ment ROESSLS in Lachay ermutigt dazu, denn es ist trotz der Wahl standorts-fremder Exoten im wesentlichen als gelungen zu betrachten. Höchstwahrscheinlich wären bodenständige Holzarten, z.B. die hartlaubigen *Capparis*- und *Eugenia*-Arten, noch besser gediehen. Eine forstliche Nutzung wäre bei diesen Baumarten aber wohl weniger ertragreich als bei *Eucalyptus globulus*. Auf jeden Fall sollte man lockere Aufforstungen in den Lomas nicht wegen ihres Holzertrages, sondern wegen der durch sie bewirkten Verbesserung in der Wasserversorgung der darunter wachsenden Kräuterfluren, also aus weidewirtschaftlichen Gründen, vornehmen. Denn wie nirgendwo auf der Erde, sind hier in den Nebeloasen Perus von der Wiederbewaldung Segenswirkungen auf das Lokal- und Kleinklima zu erwarten.

7. Zusammenfassung

Aus der Küstenwüste Perus und Nordchiles ragen niedrige Berge (lomas) auf, die sich im Südwinter mehr oder minder dicht begrünen, im Sommer aber wüstenähnlich aussehen. Da sie ihre Wasserversorgung fast ausschliesslich den Hochnebeln verdanken, die sich im Winter über dem kühlen Perustrom bilden, werden sie hier in Anlehnung an TROLL als «Nebeloasen» bezeichnet.

Entsprechend der vom Meeresspiegel bis in etwa 800 m Höhe zunehmenden Nebelhäufigkeit können sich an einer Loma folgende Vegetationsstufen ausbilden:

- reine Wüste,
- Herden von erdbewohnenden *Tillandsia*-Arten,
- Überzüge von Blaualgen oder Strauchflechten oder lockere Kakteen-Halbwüste
- niedrige und offene Annuellen-Fluren,
- dichte Bestände von mesomorphen Kräutern,
- Kräuterfluren mit Halbsträuchern oder Bäumen (niedriger Waldwuchs möglich),
- rasches Ausklingen oberhalb etwa 1000 m, d.h. an der oberen Wolken-grenze.

Aus dem ständig vom Winde landeinwärts bewegten Nebel kämmen Bäume tropfbaren Niederschlag aus, dessen Menge nach Messungen von ROESSL durchschnittlich 488 bzw. 676 mm und maximal 1240 mm im Jahre betrug, während im Freiland nur 168 (maximal 219) mm fielen. Auch die krautige Vegetation beteiligt sich an der Nebelkondensation, so dass sich am Ende des Winters mehr Wasser im Boden befindet, als in dem über ihr aufgestellten Regenmesser aufgefangen wurde.

Die Möglichkeit und die Auswirkungen einer so ausgiebigen Wasserversorgung aus Nebel werden eingehend erörtert. Das üppige Wachstum der Loma-Vegetation erklärt sich ausserdem aus den günstigen Temperaturen (10–25° C) und den geringen Transpirations-Verlusten während der Nebelzeit.

Immergrüne Holzarten, die den mediterranen Hartlaubebäumen ähneln, und der australische *Eucalyptus globulus* vermögen die sommerliche Trockenperiode zu überdauern, weil genügend Wasservorräte im Boden angesammelt wurden. Da sie als hochragende Hindernisse besonders viel Wasser aus dem Winternebel abfangen, verbessern sie das Lokalklima in sehr wirksamer Weise.

Jahrhundertelange Holznutzung und Beweidung mit Lamas und europäischen Vieharten haben viele einst vorhandene Wälder und Gebüsche zerstört und infolgedessen die Wasserversorgung verschlechtert. Vom Vieh gemiedene *Croton*-Arten und andere unerwünschte Pflanzen breiten sich in den Kräuterebenen aus und mindern den Wert der Weide weiterhin. Aufforstungen und Regelung des Weideganges wären anzuraten.

Resumen

En la parte desértica de la costa peruana y del norte de Chile se elevan lomas en las cercanías del mar, que se ponen más o menos intensamente verdes en el invierno, pero en el verano tienen el aspecto de un verdadero desierto. Apoyándose en el concepto de TROLL, a estas lomas se las llama aquí «Oasis de niebla», debido a que su aprovisionamiento de agua procede, casi exclusivamente, de las nieblas altas que se forman durante el invierno encima de la corriente fría del Perú.

Según la frecuencia y la intensidad de las nieblas a lo largo de la loma, que va aumentando a medida que se asciende desde el nivel del mar hasta alrededor de los 800 metros de altura, se pueden formar en ella los siguientes pisos de vegetación:

Desierto puro

Grupos de especies de *Tillandsia*

Capas de algas o líquenes o semidesiertos de cactáceas esparcidas

Formaciones bajas y abiertas de hierbas anuales

Formaciones densas de hierbas mesomorfas

Formaciones de hierbas con semiarbustos o árboles siempre verdes (posible crecimiento de bosque bajo)

Rápida desaparición, aproximadamente por encima de los 1.000 metros (es decir en el límite superior de las nubes).

Los árboles convierten las nieblas, que son movidas por el viento constantemente hacia el interior del país, en precipitaciones en forma de gotas cuya

cantidad, según medidas de ROESSL, viene a ser debajo de *Eucalyptus globulus* por termino medio 676 milímetros, y como máximo 1.240 milímetros por año, mientras al lado, en la formación de hierbas, cayeron no más que 168 (máximo 219) milímetros. También la vegetación herbosa toma parte en la condensación de la niebla, de tal manera que al final del invierno se encuentra en el suelo mayor cantidad de agua que la que se ha podido recoger en el pluviometro colocado encima de las hierbas.

La posibilidad y los efectos de un aprovisionamiento de agua tan abundante procediendo de la niebla, se discuten detenidamente. El crecimiento lujurioso de la vegetación de las lomas se explica además por las temperaturas favorables (15 a 20 grados centígrados) y pérdidas mínimas de transpiración durante la temporada de niebla.

Las especies leñosas siempre verdes, que se parecen a los árboles mediterráneos, de duro follage, y el *Eucalyptus globulus* de Australia, son capaces de resistir el período veraniego de sequía debido a que se han acumulado suficientes reservas de agua en el suelo. Como estas especies, que son obstáculos altos, retienen particularmente mucho agua de las nieblas de invierno, mejoran el clima local de una manera eficazísima.

El aprovechamiento de la leña, y el pastoreo, durante muchos siglos, de las llamas y del ganado europeo, han estropeado muchos bosques y arbustos, antes existentes, y en consecuencia han empeorado el aprovisionamiento de agua. Las especies de *Croton* no comidas por el ganado y otras plantas poco gratas se extienden en las formaciones de hierbas y continúan bajando el valor del pasto. Se aconseja la repoblación forestal y la reglamentación del pastoreo.

I. Heuer de Mendoza

8. Literatur

- BERNINGER, O., Extreme Ausbildung einer Nebelvegetation in der nordchilenischen Wüste. — Z. Ges. Erdk. **1925** (383), 1925.
- BROCKMANN-JEROSCH, H., Vegetationskarte der Erde im Äquatorialmassstab 1: 20 000 000. — In: H. HAACK, Physikalischer Weltatlas, V. Abt.: Pflanzenverbreitung. 1935.
- BYERS, H. R., Summer sea fogs of the central California coast. — Univ. Calif. Publ. Geogr. **3**, (291–338), 1930.
- Coast redwoods and fog drip. — Ecology **34**, (192–193), 1953.
- CREUTZBURG, N., Klima, Klimatypen und Klimakarten. — Peterm. Mitt. **94**, (56–69), 1950.
- ELLENBERG, H., Wald oder Steppe? Die natürliche Pflanzendecke der Anden Perus. — Umschau **58**, (645–648 u. 679–681), 1958.
- Typen tropischer Urwälder in Peru. — Schweiz. Z. Forstw. **1959** (169–187), 1959.
- FERREYRA, R., Comunidades vegetales de algunas Lomas costaneras del Perú. — Estac. experim. agric. „La Molina“ Bol. **53**, 1953.
- GEIGER, R., Das Wasser in der Atmosphäre als Nebel und Niederschlag. — Handb. Pflanzenphysiol. **3**, (43–63), 1956.
- GRUNOW, J., Nebelniederschlag. — Ber. dtsch. Wetterdienst US-Zone **1952**, (30–34), 1952.

- HANN, J. VON, u. SÜRING, R., Lehrbuch der Meteorologie, 3. Aufl. – Leipzig 1915.
- KNOCHE, W., Zur Bedeutung der Dornen als Wasserkondensatoren. – Verh. dtsch. wiss. Ver. Santiago de Chile, N.F. **1**, 1931.
- Nebel und Garúa in Chile. – Z. Ges. Erdk. Berlin 1931.
- KOEPCKE, H.W. u. M., Die warmen Feuchtluftwüsten Perus. – Bonner zool. Beitr. **4**, (79–146), 1953.
- KOEPCKE, M., Corte ecológico transversal en los Andes del Perú central con especial consideración de las aves I. Mem. Mus. Hist. nat. „Javier Prado“ **3**, (3–119), Lima 1954.
- LAUER, W., Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehungen zu den Vegetationsgürteln. – Bonn. geogr. Abh. **9**, (15–98), 1952.
- LINKE, F., Niederschlagsmessungen unter Bäumen. – Meteorol. Z. **33**, (53–78), 1953.
- MARLOTH, R., Das Kapland. – Jena 1908.
- MUÑOZ y PISANO, Estudio de la vegetación y flora de los parques nacionales de Fray Jorge y Talinay. – Santiago de Chile 1947.
- PHILIPPI, F., A visit to the northernmost forest of Chile. – J. Bot. **22**, 1884.
- RAUH, W., Peru. Landschaften und Menschen. – Umschau **56**, (9–12), 1956.
- Peruanische Vegetationsbilder I. Die grossen Gegensätze: Die Küstenwüste und die Wälder des Ostens. – Umschau **56**, (140–153), 1956.
- Beitrag zur Kenntnis der peruanischen Kakteenvegetation. – Sitzgsber. Heidelberg. Akad. Wiss., math.-nat. Kl. **1958**, 1, (542 S.), 1958.
- REICHE, K., Grundzüge der Pflanzenverbreitung in Chile. – Die Vegetation der Erde **8**. Leipzig 1907.
- SCHMITHÜSEN, J., Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. – Bonn. geogr. Abh. **17**, (1–86), 1956.
- SCHWEIGGER, E., Peru-Guano. – Chemiker-Zeitg. **82**, (213–219), 1958.
- SKOTTSBERG, C., Apuntes sobre la flora y vegetación de Frai Jorge (Coquimbo, Chile). – Medd. Göteborgs bot. Trädg. **13**, (91–184), 1950.
- TROLL, C., Peru. – In: Handb. geogr. Wiss. hrsg. v. F. KLUTE, Bd. Südamerika. Potsdam 1930.
- Wüstensteppen und Nebeloasen im südnubischen Küstengebirge. – Z. Ges. Erdk. Berlin **1935**, (241–281), 1935.
- Der asymmetrische Aufbau der Vegetationszonen und Vegetationsstufen auf der Nord- und Südhalbkugel. – Ber. geobot. Forschungsinst. Rübel Zürich **1947** (46–83), 1948.
- Das Wasser als pflanzengeographischer Faktor. – Handb. Pflanzenphysiol. **3**, (750–786), 1956.
- VELARDE, O., Estudio sobre la vegetación y flora de las lomas de Lurin. – Rev. cient. **454**, (665), 1947.
- WALTER, H., Die ökologischen Verhältnisse in der Namib-Nebelwüste (Südwestafrika). – Jb. wiss. Bot. **84**, (58–222), 1936.
- Grundlagen der Pflanzenverbreitung. Einführung in die Phytologie **3**, Stuttgart 1951.
- WEBERBAUER, A., Die Pflanzenwelt der peruanischen Anden. – In: Die Vegetation der Erde, hrsg. v. A. ENGLER u. O. DRUDE, **12**. Leipzig 1911.
- Pflanzengeographische Studien im südlichen Peru. – Engl. bot. Jb. **43**, Beibl. 107, 1912.
- Die Vegetationskarte der peruanischen Anden zwischen 5° und 17° S. – Peterm. geogr. Mitt. **1922**.
- Mapa fitogeográfico de los Andes peruanos entre los 5 y 17 grados de lat. S. – Lima (Torres Aguirre), 1923.
- La influencia de cambios climáticos y geológicos sobre la flora de la costa peruana. – Act. Acad. nac. cient. Lima **2**, (201–209), 1939.
- El mundo vegetal de los Andes peruanos. – Lima 1945 (776 S.).
- WERDERMANN, E., Die Pflanzenwelt Nord- und Mittelchiles. – In: KARSTEN und SCHENCK, Vegetationsbilder 21. Reihe H. 6/7.