

- SCHMITHÜSEN, JOSEF: Allgemeine Vegetationsgeographie. 3. Auflage Berlin 1968.
- SMITH, JR. EARLE C.: Flora, Tehuacán Valley. In: Fieldiana: Botany. Vol. 31, Nr. 4, 1965. P. 105–143.
- TICHY, FRANZ: Das Hochbecken von Puebla-Tlaxcala und seine Umgebung. Landeskundliche Einführung in das zentrale Arbeitsgebiet. In: Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft I, 1968. S. 6–24.
- TROLL, CARL: Studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge der Erde. Bericht d. 23. Hauptversammlung d. Ges. v. Freunden u. Förderern d. Rhein. Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn. Bonn 1941. S. 49–96. Unveränderter Abdruck in Bonn. Mittl. Heft 21, 1941. 50 S.
- Nachdruck in: Erdkundliches Wissen. Heft 11, 1966. S. 95–126.
- : Forschungen in Zentralmexiko 1954. Die Stellung des Landes im dreidimensionalen Landschaftsaufbau der Erde. In: Deutscher Geographentag Hamburg 1955. Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen. S. 191–213.
- : Die Physiognomie der Gewächse als Ausdruck der ökologischen Lebensbedingungen. In: Deutscher Geographentag Berlin 1959, Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen. S. 97–122. Nachdruck in: Erdkundliches Wissen. Heft 11, 1966. S. 231–264.
- WALTER, HEINRICH und WALTER, ERNA: Das Gesetz der relativen Standortskonstanz, das Wesen der Pflanzengesellschaften. In: Ber. dt. bot. Ges. 66, 1953. S. 227–235.

ERLÄUTERUNGEN ZUR VEGETATIONSKARTE 1:200 000 DES PUEBLA-TLAXCALA-GEBIETES

Beilage XI

HANS-JÜRGEN KLINK, WILHELM LAUER und HARTMUT ERN

In der Vegetationskarte des Puebla-Tlaxcala-Gebietes sind Forschungsergebnisse von H. ERN, H.-J. KLINK und W. LAUER verarbeitet. Während H. ERN die Höhenwälder oberhalb 2500 m untersucht und die Bedingungen an der oberen Waldgrenze studiert hat, hat H.-J. KLINK eine systematisch-flächendeckende Vegetationsaufnahme unterhalb der 2500 m Höhenlinie durchgeführt und dabei den Übergang in die warmtropischen semiariden Gebiete im Süden, den Abfall zur Balsassenke und zum Papaloanbecken, erfaßt, im Ostteil des Untersuchungsgebietes haben H.-J. KLINK und W. LAUER zusammen an der kartographischen Aufnahme der Vegetation gearbeitet. Das konzeptuelle Grundgerüst dieser Karte beruht auf einer Übersichtskarte der physiognomisch-ökologischen Einheiten der Vegetation des gesamten Ostabfalls der Meseta Central im Maßstab 1:1 Mill. (s. Beilage X in diesem Heft). Sie kann ihrerseits als ökologisches Pendant zu dem Konzept der ombrothermischen Klimatypen in dreidimensionaler Anordnung gelten, an deren Entwicklung vor allem W. LAUER gearbeitet hat.

Alle drei Autoren sind zunächst von der Physiognomie der Pflanzendecke ausgegangen, wobei die Erfassung der Holzgewächse und deren anteiliges Verhältnis in den Wäldern im Vordergrund stand. Neben dem Klima, von dem die nachhaltigsten Einflüsse auf die Gliederung der Vegetation ausgehen, sind auch die Auswirkungen der wechselnden Bodenverhältnisse berücksichtigt. Bodenkartierungen haben für das zentrale Becken von Puebla – vom Südrand des Blocks von Tlaxcala bis zum Stadtgebiet von Puebla – H. AEPPLI und E. SCHOENHALS¹⁾ und für die Sierra

Nevada W. KNEIB, G. MIEHLICH und H. W. ZOETTL²⁾ vorgelegt. Insbesondere die bodentypologische Höhenzonierung an der Sierra Nevada, die von den drei zuletzt genannten Autoren herausgearbeitet wurde, läßt Zusammenhänge mit der Vegetationsgliederung erkennen.

Das mit der Vegetationskarte verbundene Anliegen ist im strengen Sinne vegetationsgeographisch, d. h. es sollen Beziehungen zwischen den Pflanzen bzw. Pflanzengemeinschaften und ihrer räumlichen Umwelt aufgedeckt werden. Damit wollen die Autoren einen Beitrag zur möglichst vielseitigen geökologischen Erforschung dieses Raumes leisten.

Das Arbeitsgebiet ist von Natur aus ein Waldland, das unter den Bedingungen eines randtropischen Höhenklimas steht (s. Aufsatz W. LAUER in diesem Heft). Von der Bewaldung ausgenommen sind lediglich die trockenen, versalzten Becken im Ostteil des Kartenausschnittes und – in gewisser Weise – der trockene Matorral mit monokotylen Schopfbblattbäumen und Rosettenpflanzen sowie die Kakteen-Dornbusch-Formation im warmtropischen Süden, vor allem im Tehuacán-Tal und im daran angeschlossenen Papaloapanbecken.

Infolge der seit Jahrtausenden andauernden Waldzerstörung und der infolgedessen eingetretenen, örtlich stark flächenwirksamen Erosion würden sich möglicherweise nicht alle Standorte wiederbewalden. Besonders stark ist die Bodendegradation an den Sierras der semiariden Gebiete, beispielsweise dem Serrijón de

¹⁾ AEPPLI, H. y E. SCHOENHALS: Los suelos en la cuenca de Puebla-Tlaxcala. In: Comunicaciones 7/1973. S. 15–20.

²⁾ KNEIB, W., G. MIEHLICH y H. W. ZOETTL: Clasificación Regional de los Suelos de la Sierra Nevada de México. In: Comunicaciones 7/1973. S. 11–13.

Amozoc, der Sierra de Tecamachalco aber auch am Block von Tlaxcala.

Die Karte ist eine Darstellung der natürlichen bzw. der potentiellen natürlichen Vegetation. Dabei sind jedoch nicht in allen Fällen die Schlußgesellschaften der natürlichen Vegetation eingetragen, worauf im folgenden Text hingewiesen wird. Wegen der als Folge der Waldverwüstung oft auf großen Flächen eingetretenen Erosion würden auf solchen Standorten die ursprünglichen Schlußgesellschaften nicht mehr erreicht werden, sondern die Sukzessionen zeigen dort eine eindeutig absteigende (regressive) Tendenz. Auf anderen benachbarten Standorten wiederum sind progressive Sukzessionen durchaus noch möglich. Die Verschiedenartigkeit der Vegetation ist also durch den Menschen insgesamt größer geworden. Eine Erfassung der potentiellen natürlichen Vegetation fällt deshalb zumeist nicht schwer, weil mit Ausnahme der intensiv genutzten Ackerebenen um die Stadt Puebla fast überall noch naturnahe Vegetationsreste vorhanden sind. Ein wichtiger, wenn auch anthropogen ausgelöster ökologischer Faktor ist das Feuer. Forstgesellschaften entfallen so gut wie ganz, weil mit Ausnahme kleiner Flächen bis zur Gegenwart kaum aufgeforstet worden ist.

Durch schwarzen Überdruck werden außerdem die Kulturpflanzenformationen in den verschiedenen Anbaugebieten und das Bewässerungsland dargestellt. Neben eigenen Erhebungen sind hierbei die Arbeiten von E. SEELE³⁾ berücksichtigt. Insgesamt vermittelt die Karte somit einen Überblick über die potentielle natürliche und die vom Menschen bewirkte Vegetation in ihrer klimatisch, edaphisch und anthropogen bedingten Gliederung.

Durch die Wahl von Farbflächen und Signaturen bzw. den Wechsel von Farbflächen mit aufgesetzten Signaturen zu bloßen Signaturen wird versucht, den unterschiedlichen Deckungsgrad der Vegetation zum Ausdruck zu bringen. Außerdem ist hiermit die Möglichkeit gegeben, Arten, die unter besonderen ökologischen Bedingungen stehen oder gar an Formationsgrenzen wachsen, hervorzuheben, so *Juniperus deppeana*, der am Rande der trockenen, gehölzfreien Salzbecken im Ostteil des Arbeitsgebietes die „untere“ Baumgrenze bildet. Offene Landschaftsräume sind weiß gelassen und mit Signaturen bzw. Rastern versehen. Raster werden außerdem dazu verwandt, in den sehr alten Siedlungsgebieten, wie dem Becken von Puebla, wo die potentiell natürliche Vegetation nicht überall rekonstruierbar ist, Aussagen über die Kulturpflanzenformationen zu machen. Alle Gebiete, in

denen noch Reste einer naturnahen Vegetation vorhanden sind und in denen sich die potentiell natürliche Vegetation noch mit einiger Sicherheit rekonstruieren läßt, sind mit den entsprechenden Farbflächen bzw. Signaturen versehen. Handelt es sich um Anbaugebiete, so sind die Raster für die Kulturpflanzen darüber gelegt.

Bemerkungen zu den Kartierungseinheiten

Generell lassen sich auf der Karte – durch Farben ausgedrückt – zwei großräumige Höhenstufen der Vegetation unterscheiden:

1. Die warmtropische Vegetation ohne nennenswerten Frosteinfluß unterhalb 2000 bzw. 1800 m, dargestellt durch orange bis gelbliche Farbtöne.
2. Die Stufe der vorwiegend boreal-nearktischen Vegetation, die zweigegliedert ist.

- a) Im tieferen Bereich unterhalb 2700 m dominieren vorwiegend laubwerfende Eichen, gemischt mit Kiefern, Baumwacholder (*Juniperus deppeana*, *J. flaccida*), Madroño (*Arbutus glandulosa*, *A. xalapensis*) sowie anderen Laubbäumen, insgesamt dargestellt durch grünliche Farbtöne.
- b) Im höheren Bereich oberhalb 2700 m dominieren Nadelgehölze, vor allem Kiefern und die mexikanische Tanne (*Abies religiosa*), gemischt mit immergrünen Eichen, die bis 3300 m reichen, insgesamt dargestellt durch bläuliche bis violette Farbtöne.

Eine weitere Differenzierung der Vegetation bewirkt der hygrische Klimaehaushalt. So beruht die Gliederung innerhalb der warmtropischen Trockenvegetation in TROPISCHE BERG-FALLAUBWÄLDER und KAKTEEN-DORNBUSCH-GESELLSCHAFTEN auf den hygrischen Bedingungen. Im Blattbereich gehen die tropischen Berg-Fallaubwälder südwärts mit zunehmender Trockenheit in die Kakteen-Dornbusch-Formation über. Dieser Wechsel vollzieht sich vor allem im Tehuacántal und im daran angeschlossenen Papaloapanbecken mit weniger als 400 mm Jahresniederschlag bei 4–3 humiden Monaten.

Die innere vegetationsräumliche Gliederung hängt von den edaphischen Eigenschaften ab, für die einerseits das Bodenfeuchteregime und andererseits der Nährstoffgehalt – insbesondere der an CaCO_3 – große Bedeutung haben. Eine auslesende Wirkung auf die Vegetation übt in den Trockengebieten außerdem der Versalzungsgrad des Bodens aus. Versalzung verstärkt die physiologische Trockenheit. Auf den feinmaterialreichen Tal- und Beckenböden, die zu stärkerer Versalzung neigen, wächst natürlicherweise der IMMERGRÜNE MEZQUITE, *Prosopis juliflora*. Er entwickelt ein sehr tiefreichendes Wurzelsystem und kann damit auch tiefsitzendes Grundwasser noch nutzen, was die zwar microphyllie aber immergrüne Belaubung erklärt.

Edaphisch gesteuert ist auch die innere Differenzie-

³⁾ SEELE, E.: Die Agrarlandschaften des Beckens von Puebla-Tlaxcala. In: Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft I. Wiesbaden 1968. S. 153–169.

– : Jüngere Wandlungen der Agrarlandschaft im Hochland von Mexiko. In: Deutscher Geographentag Kiel 1969. Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen. Wiesbaden 1970. S. 563–568.

rung der KAKTEEN-DORNBUSCH-FORMATION des Papaloapanbeckens, wobei vor allem der Carbonatgehalt der Bodensubstrate eine entscheidende Rolle zu spielen scheint. Eine besonders trockene Formation bildet eine Pflanzengemeinschaft aus *Yucca periculosa* (Liliaceae), *Beaucarnea gracilis* (Amaryllidaceae), *Fouquieria formosa*, *Pseudosmodium* und verschiedenen großen Kakteen auf den Sinterterrassen des Tehuacántals. Die klimatische Trockenheit wird hier durch die unterirdische Entwässerung im Kalk noch edaphisch verstärkt.

Der burserareiche TROPISCHE BERG-FALLAUBWALD wächst auf kalkreichen Bodensubstraten in hängiger Lage, häufig auf Böden vom Rendzinatyp. In einer feuchteren Ausbildung, die vor allem zwischen Atlixco und Izúcar de Matamoros sowie im Gebiet von Huehuetlán im Süden der Cordillera Tentzo, an den Talflanken vorkommt, bestimmt die hochwüchsige, unbedornete Caesalpiniacee *Conzattia multiflora*, gemischt mit *Burseras*, den Aspekt des tropischen Berg-Fallaubwaldes. An wärmeren Südhängen und Talflanken mit ausgeglicheneren thermischen Verhältnissen wird der tropische Berg-Fallaubwald, der hauptsächlich aus *Anacardiaceen*, *Burseraceen* und *Leguminosen* besteht, von hochwüchsigen Kakteen, insbesondere der schlanken Säulenkaktee *Neobuxbaumia mezcalensis*, durchragt. Das Vorkommen dieser Kakteen ist im Blattbereich stark geländeklimatisch bestimmt, was sich aus der Anordnung der betroffenen Pflanzengemeinschaften an südexponierten Hängen und an den Flanken warmer Täler erkennen läßt. Die aus dem Balsasgebiet und dem Papaloapanbecken kommenden Kakteen gelangen hier an die Nordgrenze ihrer Verbreitung.

Weiter südwärts im Kakteen-Dornbusch-Gebiet hingegen nimmt die Artenzahl der Kakteen zu und wachsen hochwüchsige Kakteen in allen Expositionen.

Die Wuchsformen des warmtropisch-semiariden Vegetationsgebietes sind zum großen Teil xeromorph. Dabei ist eine deutliche Zunahme xeromorpher Merkmale wie microphyllie Belaubung, Bedornung, Ausbildung von Xylopodien, zur Wasserspeicherung verdickte Stämme, Farbstoffeinlagerung unter der Rinde und schließlich Sukkulenz mit Annäherung an das Trockengebiet, vor allem des Papaloapanbeckens, unverkennbar. Der trockene Kern des Papaloapanbeckens, das etwa 565 m hoch gelegene Gebiet um Cuicatlán, hat eine Jahresmitteltemperatur von 24,5 °C bei nur 300 mm Niederschlag (außerhalb der Karte).

Auch im boreal bestimmten Vegetationsgebiet lassen sich Pflanzengemeinschaften unterscheiden, die vom klimatisch gesteuerten Wasserhaushalt abhängen.

1. Die SEMIHUMIDEN KIEFERN-EICHEN-MISCHWÄLDER auf den Luvseiten der Erhebungen im östlichen Blattbereich, wo ein advektiver Bewölkungstyp vor-

herrscht, sowie an den Abhängen der Großvulkane, wo sich regelmäßig eine konvektive Bewölkung ausbildet, und die SEMIARIDEN KIEFERN-EICHEN-MISCHWÄLDER auf den Leeseiten sowie in den trockenen Becken.

2. Die SUBHUMIDEN KIEFERN-TANNEN-WÄLDER auf den West- bzw. Südseiten der Großvulkane und die SEMIHUMIDEN KIEFERN-MISCHWÄLDER in den übrigen Expositionen zwischen 2700 und 3200 m.

Eichen-Kiefern-Wälder sind die natürliche Vegetation eines großen Teils der als tierra fría bezeichneten Höhenstufe zwischen 1800 und 3200 m. Bis ungefähr 2700 m bilden KIEFERN-EICHEN-MISCHWÄLDER die natürliche Vegetation, darüber ist eine starke Zunahme der Nadelgehölze – vor allem der Kiefern – und zum Teil auch der mexikanischen Tanne zu verzeichnen, die hier von halbimmergrünen und immergrünen Eichen und Erlen begleitet werden. Die Kiefern-Eichen-Mischwälder unterhalb 2700 m sind seit langem größtenteils gerodet, da sie auf landwirtschaftlich leicht nutzbaren Böden unterhalb der Höhengrenze des Mais- und Getreideanbaus stocken, die hier bei 3000 m liegt. Lediglich an den unteren, aus mächtigen Tuffen gebildeten und z. T. von tiefen Barrancas zerfurchten Abhängen der Großvulkane, an verschiedenen kleinen Vulkankuppen, am Rande des Blocks von Tlaxcala und an seiner Vorstaffel gibt es heute noch Reste dieser Wälder. Am Rande der zahlreichen Barrancas, die vor allem von der Malinche herunterkommen, wachsen – wahrscheinlich aus dem natürlichen, bewaldeten Zustand – laubwerfende Eichen, wie *Quercus crassipes/mexicana*, *Q. castanea*, *Q. centralis*, *Q. hartwegii*, *Q. obtusata* u. a. Auf den tiefgründigen Barroböden und Rhegosolen der zumeist nur schwach geneigten Riedelflächen zwischen den Barrancas und auf tuffbedeckten Lavaströmen finden sich hingegen vor allem Kiefern wie *Pinus leiophylla*, *P. teocote*, *P. oaxacana* und, mehr auf trockenen Kuppen, *P. rudis*. Niedrige, laubwerfende Eichen stehen hauptsächlich im Unterwuchs. Neben Kiefern und laubwerfenden Eichen kommen in diesen Wäldern häufig noch der Madroño, *Arbutus glandulosa*, regional auch *A. xalapensis* und Laubbäume der Gattungen *Prunus*, *Crataegus*, *Cornus* und *Ilex* vor. Begleitende Sträucher, die in der aktuellen Vegetation hauptsächlich an den Rändern von Barrancas wachsen, sind *Buddleia spec.*, *Arctostaphylos*, *Amelanchier*, *Senecio salicifolius* u. a.

Steile, flachgründige Bergflanken innerhalb dieser Höhenstufe wie am Cerro Pinal-Piñon sind mit EICHEN-MISCHWÄLDERN bestanden, denen die Kiefern weitgehend fehlen. Sie stellen sich erst am Unterhang und auf Hangabsätzen mit tiefergründigen Böden ein. Zum Teil trägt auch die Niederwaldwirtschaft zur Begünstigung der rasch austreibenden Eichen bei.

Innerhalb der KIEFERN-EICHEN-MISCHWÄLDER der kühlen Gebirgsstufe läßt sich eine Differenzierung nach der Humidität feststellen. Im östlichen

Teil des Kartenausschnittes, wo die größeren Erhebungen noch unter dem Einfluß des Passats und der winterlichen Nortes stehen, herrschen ausgeprägte Luv- und Leewirkungen, die zunächst in der Bewölkung ihren Ausdruck finden. Die unterschiedliche Humidität hat Auswirkungen auf die Artenverteilung und die damit verbundenen morphologischen Merkmale der Pflanzen. So wachsen an den stärker befeuchteten Hängen die Kiefern *Pinus montezumae*, *P. teocote* und, in höheren Lagen, *Pinus pseudo-strobus* in der Nominatform, die mesomorphe Merkmale hat, außerdem, neben laubwerfenden, halbbimmergrüne und immergrüne Eichen, wie *Quercus crassifolia*, *Q. rugosa* und *Q. laurina*, die auch in den feuchteren Bergwäldern und am Ostabfall vertreten sind. Dieser Vegetationstyp wird auf der Karte als SEMIHUMIDER KIEFERN-EICHEN-MISCHWALD bezeichnet.

Auf den Leeseiten hingegen sind vor allem Kiefern mit xerophytischen Merkmalen verbreitet, wie *Pinus oaxacana*, *Pinus cembroides* und an trockenen Kuppen und Oberhängen *Pinus rudis*. Daneben kommen laubwerfende Eichen vor. Dieser Typ wird als SEMIARIDER KIEFERN-EICHEN-MISCHWALD bezeichnet. *Pinus cembroides* besetzt stets die trockensten Kiefernstandorte an südlich exponierten Hängen und am Rande der trockenen, baumlosen Becken, ehe die Kiefern-Eichenwälder gänzlich von *Juniperus deppeana*-Gehölzen abgelöst werden. Eichen fehlen hier.

Am Rande des Beckens von Puebla werden die Reste des SEMIARIDEN KIEFERN-EICHEN-WALDES zumeist von *Pinus leiophylla* gebildet, die hier *Pinus oaxacana*, *P. rudis* und die anderen mehr xerophytischen Kiefern weitgehend ersetzt. Jedoch dürfte dies eine Folge des Menschen sein, der diese Pionierkiefer stark gefördert hat, eignet sie sich doch besonders für Neuaufforstungen.

Auf den feinmaterialreicheren, stärker zur Versalzung neigenden Böden in ebener bis schwach hängiger Lage hingegen ist der Baumwacholder *Juniperus deppeana* verbreitet. Er schließt sich am Rande der baumlosen Becken im Ostteil des Kartenblattes zu lichten Gehölzfluren zusammen und bildet hier eine untere Baumgrenze gegen die trockenen, versalzten Becken der tierra fría. Die angrenzende baumlose HALOPHYTENVEGETATION wächst in den abflußlosen Becken auf Feinmaterialböden, die aus dem Grunde ehemaliger Seen hervorgegangen sind. *Juniperus deppeana* kommt außerdem am Ostrand des Hochlandes in trockenen Tälern innerhalb der borealen Waldstufe vor, wie in dem Valle de Zautla. *Juniperus deppeana* ist aber auch im SEMIARIDEN EICHEN-KIEFERN-WALD vertreten und kann geradezu als dessen Trennart gelten. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, daß dieser Baumwacholder als Lichtholzart infolge der Waldverwüstung seine Wuchsureale ausdehnen konnte und heute in den offenen bzw. halboffenen Landschaften überrepräsentiert ist.

Der SEMIHUMIDE KIEFERN-EICHEN-MISCHWALD ist

auch an den unteren Abhängen der Großvulkane des Hochlandes verbreitet. Hier herrscht ein konvektiver Bewölkungstyp vor. Bereits in den Vormittagsstunden des Tages entwickeln sich an den Großvulkanen Wolkenkränze und später eine Cumulusbewölkung, aus der dann in den Nachmittagsstunden oft heftige Niederschläge fallen. Am Popocatepetl zieht die Bewölkung ziemlich häufig von der Südseite auf, was sich durch das Ansaugen warmer Luft aus dem Gebiet der Balsassenke erklären läßt. Auch dieses Phänomen hat Rückwirkungen auf die Vegetation, wie das Übergreifen des KIEFERN-TANNEN-WALDES aus *Pinus pseudo-strobus* und *Abies religiosa* auf die Südflanke des Popocatepetl zeigt. Den Leeseiten der Erhebungen und den Tälern und Becken fehlt währenddessen die verdunstungshemmende Wolkendecke. Auch werden sie sehr viel seltener von den Gewitterniederschlägen erfaßt, die an den Großvulkanen entstehen. Sie sind infolgedessen weniger humid.

Laubwerfende EICHEN-MISCHWÄLDER auf trockenen Standorten sind ein weitverbreiteter Vegetationstyp des semiariden Klimagebietes am Übergang zu den WARMTROPISCHEN BERG-FALLAUBWÄLDERN. Solche Eichen-Mischwälder finden sich am Serrijón de Amozoc und an der Cordillera Tentzo. Neben Anacardiaceen der Gattung *Rhus* (*R. mollis*) stellen sich vor allem bei stärkerer Auflichtung *Juniperus flaccida*, *Yucca filifera*, die niederwüchsige Fächerpalme *Brahea dulcis forma humilis* sowie Agaven in diesen Wäldern ein. Sie stocken stets auf flachgründigen und damit in ihrem Feuchteregime starken Schwankungen unterworfenen Böden, häufig vom Rendzinatyp. Kiefern können sich hier wegen ihrer höheren Ansprüche an den Bodenwasserhaushalt nicht mehr behaupten.

Oberhalb 2700 m ändern sich sowohl an den Großvulkanen als auch an den größeren Erhebungen im Ostteil des Kartenausschnittes die Vegetationsverhältnisse. Es tritt eine deutliche anteilmäßige Zunahme der Nadelhölzer ein, und die laubwerfenden Eichen werden vollständig von immergrünen abgelöst. Die immergrüne *Quercus laurina* kommt dabei bis 3300 m vor und ist die am höchsten wachsende Eiche des Untersuchungsgebietes.

An den Großvulkanen mit vorherrschendem konvektivem Bewölkungstyp besteht ein bemerkenswerter Unterschied zwischen den West- und Ostflanken: An den Westflanken wachsen geschlossene KIEFERN-TANNEN-WÄLDER aus den mesophytischen Coniferen *Pinus pseudo-strobus* und *Abies religiosa*. *Abies religiosa* bildet dabei auch an den Hangflächen zwischen bergabwärts ziehenden Schluchten zumeist ziemlich reine Bestände. Beigemischt sind allenfalls vereinzelte immergrüne Eichen, vor allem *Quercus laurina*. In feuchten Schluchten der Süd- und Westflanke der Sierra Nevada folgt unter dem KIEFERN-TANNEN-WALD von 3000 m an abwärts und bei 2700 m dann voll entwickelt ein sehr artenreicher MESOPHYTISCHER BERGWALD, in dem außer laubwerfenden und immer-

grünen Eichen u. a. tropisch-montane bzw. antarktische neben weniger ausschließlich tropischen Gattungen gedeihen, wie *Clethra*, *Cornus*, *Citharexylum*, *Garrya*, *Ilex*, *Oreopanax* und *Prunus*. Besonders typisch für die mesophytischen Eichen-Mischwälder des Popocatepetl ist *Coriaria thymifolia*. *Abies religiosa*, *Pinus pseudostrobus* und *Cupressus lindleyi* spielen hier unterhalb 3000 m nur noch die Rolle von Begleitarten. Auch diese MESOPHILEN BERGWÄLDER sind Ausdruck der stärkeren Humidität der westlichen und südlichen Flanke der Sierra Nevada, zugleich aber auch der wärmeren Temperaturen.

Die Ostflanken hingegen sind oberhalb 2700 m von KIEFERN-MISCHWÄLDERN aus *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. teocote* und *P. michoacana* bedeckt, denen sich vor allem immergrüne Eichen wie *Quercus crassifolia*, *Q. cf. dysophylla* und *Q. laurina* sowie außerdem die dickrindige und dadurch ziemlich brandresistente Erle *Alnus firmifolia* beigesellen. Unter den Sträuchern sind stetige Vertreter dieser Wälder die Compositen *Senecio cinerarioides* (oberhalb 3000 m), *Senecio salicifolius* (unterhalb 3000 m) und *Baccharis conferta*. Die stark mesophytische *Abies religiosa* zieht sich an den Osthängen gemäß der ‚Regel der relativen Standortkonstanz‘ auf die bodenfeuchten Schluchten zurück, wo sie besonders im unteren Teil von der ausgesprochen mesophytischen Kiefer *Pinus ayacahuite* ersetzt wird. Sie reicht bis ca. 2500 m herunter.

Die beschriebenen Wälder, der SUBHUMIDE KIEFERN-TANNEN-WALD an den West- bzw. Südflanken und der SEMIHUMIDE KIEFERN-MISCHWALD in den übrigen Expositionen der Großvulkane des Hochlandes, wachsen in der Zone etwas erhöhter Niederschläge zwischen 2700 und 3200 m (s. LAUER in diesem Heft). Der KIEFERN-TANNEN-WALD ist ohne Zweifel der feuchtere Waldtyp innerhalb dieser Höhenstufe. Das Phänomen wird erklärt durch die in den Vormittagsstunden sich entwickelnde konvektive Bewölkung und die daraus folgende unterschiedliche Verdunstung an den Ost- und Westflanken (C. TROLL⁴) u. H. ERN⁵)).

Eine subhumide Kiefern-Tannen-

stufe ist auch an den vulkanischen Kuppen im Ostteil der Karte ausgebildet, so am Cerro Pinal, an den Derrumbadas und an der Sierra de Tlaxco. Auch hier befinden sich diese Wälder im Niveau der aufsteigenden Wolken.

Oberhalb 3200 m, von wo aus die Niederschläge wieder abnehmen, setzt an den Großvulkanen ein HOCHGEBIRGSKIEFERNWALD aus *Pinus hartwegii* ein, der bis an die obere Waldgrenze reicht. Sie liegt an der Malinche bei 3900 m und am Pico de Orizaba bei 4100 m. Während ihm im unteren Teil auf feuchteren Standorten noch *Abies religiosa* beigemischt ist, besteht ab 3600 m die zumeist lichte Baumschicht aus einem Reinbestand der heliophilen, wenig kälteempfindlichen Kiefer *Pinus hartwegii*, die entsprechend den ökologischen Bedingungen durch mehr xerophytische Merkmale gekennzeichnet ist. Den Unterwuchs bilden Horstgräser, vor allem *Festuca tolucensis*. Da auch ein Großteil dieser Waldstufe noch regelmäßig gebrannt und anschließend als Viehweide genutzt wird, kommt im *Pinus hartwegii*-Wald häufig kaum Jungwuchs auf, und es besteht weithin die Gefahr einer Vergreisung der Bestände. Inwieweit die obere Waldgrenze durch Einwirkung des Menschen herabgedrückt ist, kann nicht mit Sicherheit entschieden werden, jedoch ist damit zu rechnen.

Oberhalb der Waldgrenze sind geschlossene GRAS- UND KRÄUTERFLUREN vom Typ einer microthermen Graspuna ausgebildet. Die Niederschläge betragen hier auf jeden Fall weniger als 800 mm jährlich. Die Böden bestehen häufig aus lockerem Tuff- und Verwitterungsmaterial. Während unterhalb 4300 m eine aus den Horstgräsern *Festuca tolucensis* und *Calamagrostis tolucensis* bestehende Gesellschaft wächst (BEAMAN⁶)), ist oberhalb dieses Bereichs eine mehr oder weniger geschlossene *Festuca livida*-*Arenaria bryoides*-Gesellschaft entwickelt. Begleitend treten in diesen Hochgebirgsgrasfluren *Senecio*-, *Lupinus*-, *Draba*-, *Oreomyrrhis*-, *Eryngium*-, *Cirsium* und *Plantago*-Arten auf. Von etwa 4500 m an aufwärts bilden saxicole und arenicole Polstergewächse sowie Flechten das pflanzliche Leben. Wollte man die klimatische Schneegrenze unbedingt festlegen, was wegen der großen Unterschiede zwischen Regen- und Trockenzeit und dem starken Wechsel in den verschiedenen Expositionen auf Schwierigkeiten stößt, so müßte man ihren Verlauf etwas unterhalb 5000 m ansetzen.

⁴) TROLL, C.: Studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge der Erde. Nachdruck in: Ökologische Landschaftsforschung und vergleichende Hochgebirgsforschung. = Erdkundliches Wissen H. 11. Wiesbaden 1966. S. 95–126.

⁵) ERN, H.: Vegetationsstudien im östlichen Zentralmexiko, unter besonderer Berücksichtigung der Gebirgswälder im Gebiet des Puebla-Tlaxcala-Projektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Vervielfältigtes Manuskript für die Mitglieder des Mexiko-Arbeitskreises, Konstanz 1972.

⁶) BEAMAN, J. H.: A preliminary ecological study of the alpine flora of Popocatepetl and Iztaccíhuatl. In: Boletín de la Sociedad Botánica de México. Num. 29, 1965. S. 63–75.