

Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Erlangen 1974.

GEOÖKOLOGIE – ZIELSETZUNG, METHODEN UND BEISPIELE

H.-J. KLINK

Abstract

Geocology means the investigation of life as it is bound up in the flow of matter and energy in the different zones of the earth. The central interest of 'Geo-Ecology' lies in the abiotic bases of life: the ecologically significant influences of geological substrata, relief, soils, soil water balance and climate. Life communities are examined above all with regard to their properties as indicators of the varying quality of landscape regions. Finally geocological questions are presented by means of examples from the central European Alpine foreland (sub-Alpine zone) and the Mexican highlands.

Das Wort „Geoökologie“ wurde von CARL TROLL (1968 und 1970) eingeführt, nachdem er 1939 in einem sehr bekannt gewordenen Aufsatz über „Luftbildplan und ökologische Bodenforschung“ den Begriff „Landschaftsökologie“ geprägt hatte. TROLL leitete diesen Begriff aus der geographischen Luftbildforschung in tropischen Naturlandschaften her und verstand darunter eine synoptische Betrachtungsweise der natürlichen Gegebenheiten eines Landschaftsraumes: Relief, Gesteine, Böden, Grund-, Boden- und Oberflächenwasser, Klima, Vegetation und Tierwelt. So wie das Luftbild die Bestandteile eines Landschaftsraumes in ihren Verflechtungen darbietet, so sollte der Geograph die verschiedenen Komponenten und Kräfte zusammenschauend erforschen und deuten. Aus Gründen der leichteren Übersetzbarkeit in fremde Sprachen wurde der Begriff Landschaftsökologie später in **Geoökologie** abgewandelt (englisch Geocology, C. TROLL 1968; 1970; 1971) und fand so Eingang in die internationale wissenschaftliche Terminologie.

Selten hat sich ein wissenschaftlicher Begriff so rasch eingebürgert und verbreitet wie der Begriff **Geoökologie**. Ja, ähnlich wie beim Wort „Ökologie“ besteht gegenwärtig die Gefahr eines vorschnellen Verbrauchs durch allzu häufige und nach Sinn und Inhalt unsachgemäße Verwendung. In den letzten Jahren ist eine ganze Reihe von Lehrstühlen mit Schwerpunkt Geoökologie im Rahmen des Faches Geographie eingerichtet worden und selbst in den Geographielehrplänen der Höheren Schulen hat die Geoökologie Eingang gefunden. Man kann sich jedoch bisweilen dem Eindruck nicht entziehen, daß Geoökologie heute teilweise für herkömmliche Inhalte der physischen Geographie, wie Geomorphologie, Klimatologie und Hydrologie gesetzt wird. Vor Vertretern von Bio-Wissenschaften braucht jedoch kaum betont zu werden, daß eine Behandlung von Verwitterungs- und Abtragungsprozessen, von thermischen und hygrischen Fragen nach Sinn und Inhalt noch keine Ökologie ist. Dies hatten wohl auch SCHMITHÜSEN & NETZEL (1962) im Auge, wenn sie darauf hinweisen, daß die geosphärische Substanz ihrem Wesen nach „synergisch“ gestaltet ist. D.h. auch in ihren Teilkomplexen bildet sie Wirkungsgefüge. Aber ein Wirkungsgefüge im anorganischen Bereich ist noch kein ökologisches.

Geoökologie ist die Wissenschaft von den Wechselbeziehungen zwischen dem

Leben und den Gegebenheiten seiner räumlichen Umwelt. Sie ist die Ökologie der Landschaftsräume verschiedener Dimensionsstufen; ihr Untersuchungsgegenstand sind die Ökosysteme von Ökotope über die Landschaftsräume verschiedener Größenordnung, die vor allem klimatisch geprägten Landschaftszonen bis hin zur Erde als Ganzer. Die räumliche Ausdehnung der Geo-Ökosysteme und die vielfältigen Zusammenhänge innerhalb der Geosphäre bringen es mit sich, daß Geoökologie zu meist substantiell umfassender ist als spezielle Pflanzen- und Tier-Ökologie. Das führt jedoch nicht daran vorbei, daß auch in der Geoökologie das Leben den Bezug zu bilden hat. Wir können demgemäß formulieren: Forschungsgegenstand der Geoökologie ist das Leben in seiner Einbindung in die Stoff- und Energieflüsse der verschiedenen Erdräume.

Die Erforschung des Stoff- und Energiehaushaltes geographischer Räume wird auf drei Ebenen vorgenommen: 1. Auf der Ebene der Beziehungen und Integrations Schritte der Physiosysteme, die durch physikalisch-chemische Prozesse bestimmt werden und für die der Vegetation vielfältige Indikatoreigenschaften zukommen. Die kleinste Darstellungseinheit bildet der Physiotop. 2. Auf der Ebene der Ökosysteme, deren Integration sich durch ökophysiologische Prozesse vollzieht. Die Ökosysteme erfahren durch das Eingehen von Fremdmetaboliten aus der Tätigkeit des Menschen eine zunehmende Komplizierung. Die kleinste Darstellungseinheit dieser geoökologischen Forschungsebene bildet der Ökotope. 3. Auf der Ebene der gesamten regionalen Struktur in den Kulturlandschaften. Hier treten über die beiden zuerstgenannten hinaus und sich mit ihnen teilweise auseinandersetzend, die gestaltenden Kräfte des Menschen und der menschlichen Gesellschaften in den Vordergrund.

Strittig ist, ob die Aktivität des Menschen in den Kulturlandschaften mit in das Untersuchungsfeld der Geoökologie einbezogen werden soll oder nicht. Da die reinen Naturökosysteme auf der Erde jedoch im Schwinden begriffen sind und sich der Ökologe zunehmend mit Ökosystemen auseinanderzusetzen hat, die durch den Menschen beeinflußt sind, — ja seine Aufgabe heute vielfach geradezu darin besteht, die schädigenden Einflüsse des Menschen aufzuzeigen — ist der Mensch meines Erachtens in das Konzept der Geoökologie aufzunehmen. Nur so läßt sich den realen Verhältnissen in den sich ständig ausweitenden Kulturlandschaften gerecht werden und lassen sich praktikable Lösungsvorschläge für Raumplanung und Entwicklungshilfe-Projekte unterbreiten. Die Erde befindet sich heute leider nicht mehr — und das gilt auch und insbesondere für viele der sog. Entwicklungsländer — in einem naturökologischen Gleichgewicht. Es ist aber eine brennend wichtige Aufgabe der Geoökologie zur Entwicklung funktionsfähiger ökologischer Regelkreise in neu entstehenden oder infolge des wachsenden Bevölkerungsdruckes immer stärker belasteten Agrarlandschaften oder in gemischt agrar- und industriewirtschaftlich genutzten Räumen beizutragen. Daß solche Aufgaben mit Erfolg in Angriff genommen werden können, zeigt etwa das Saarprojekt des Geographischen Institutes der Universität des Saarlandes.

Die analytische Erforschung des Geo-Ökokomplexes hat bei den Komponenten einzusetzen, die an seinem Wirkungssystem beteiligt sind. Entsprechend werden geologische, bodenkundliche, geomorphologische, klimatologische, pflanzen- und tierökologische sowie humanökologische Untersuchungen vorgenommen. Die hierzu nötige Methodenvielfalt macht die Geoökologie zu einem weiten Feld interdisziplinärer Zusammenarbeit. Entscheidend ist, daß die analytische Untersuchung sich mit

den jeweiligen geökologischen Hauptmerkmalen beschäftigt, die einerseits eine Art integraler Aussagefähigkeit über das jeweilige Geosystem besitzen und andererseits auch die Schwächeglieder des Systems enthalten. Solche geökologischen Schlüsselkriterien sind Boden, Bodenwasserhaushalt, thermisches und hygrisches Klimaregime sowie die natürliche Pflanzendecke und Tierwelt, der wichtige Indikatoreigenschaften für die Vorhergenannten zukommen. Geoökologie ist stets Systemforschung. Die Systeme aber haben regionalspezifische Wirkungsweisen, d.h. die in ihnen enthaltenen Parameter ändern sich von Ort zu Ort. Auf keinen Fall genügt es geologische Karten, Boden- und Klimakarten aufeinanderzulegen und daraus verallgemeinernde ökologische Schlüsse zu ziehen. Dies gilt auch für mittlere und kleine Kartenmaßstäbe. Zwar erfordert die Darstellung im kleinen Maßstab ein Zurückgehen auf typische, vereinfachte Systemzusammenhänge, wie sie zwischen Klima und Bodenentwicklung bzw. zwischen Klima und Vegetation bestehen, wobei regional wirksame Einflüsse, die sich in kleinräumigen Verteilungsmustern äußern, vernachlässigt werden. Jedoch bleibt auch hierbei der für typisch gehaltene Systemzusammenhang im einzelnen zu erweisen. – Welche Fragestellungen im Rahmen der erdwissenschaftlichen Teildisziplinen sind geoökologisch erheblich?

Die **Geologie** gibt Aufschluß über die Gesteine als Ausgangsmaterialien für die Bodenbildung sowie über die hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes. Die wichtigen ökologischen Größen Nährstoff- und Wasserversorgung hängen im hohen Maße vom Ausgangsgestein und der Beschaffenheit des Untergrundes ab. Außerdem spielt die Gesteinsoberfläche eine wichtige Rolle beim Strahlungsumsatz.

Die **Geomorphologie** steht im Rahmen der Geoökologie niemals isoliert, sondern das Relief und seine Genese werden in Verbindung mit bodenkundlichen, hydrologischen, geländeklimatologischen und geobiologischen Fragestellungen untersucht. Die Erforschung der Reliefentwicklung dient dabei zur Beurteilung des aktuellen Wirkungsgefüges. So haben vorzeitliche Bildungen wie Solifluktionsschuttdecken oder überwachsene Blockhalden über dichtem Gestein, die insbesondere in Mittelgebirgen aber auch im Hochgebirge immer wieder vorkommen, Bedeutung als Substrat für die Bodenbildung sowie als Stau- und Bewegungsraum des Bodenwassers. Sie ermöglichen vielfach erst tiefergründige Bodenbildungen. Befindet sich der Schutt auch gegenwärtig in langsamer hangabwärts gerichteter Bewegung (Schuttgriech), so übt er eine unmittelbare mechanische Wirkung auf die Vegetation aus. Bekannt ist der Säbelwuchs auf derartigen Standorten.

Materialbeschaffenheit (hauptsächlich Bodenart, Bodengefüge) und Geländeneigung haben Einfluß auf die Wasserbewegung im Boden sowie auf den Wasser-Luft-Haushalt. Auch Nährstoffabfuhr und -zufuhr an einem Vegetationsstandort hängen damit zusammen (Verarmungs- und Anreicherungsstandorte). Materialverlagerung am Hang bewirkt ferner die Bildung von Bodencatänen, denen sich auf Grund der unterschiedlichen Wasser- und Nährstoff-Versorgung „ökologische Catänen“ zuordnen.

Abtragungsprozesse, die zur Bildung von Erosionsformen auf der einen Seite und Akkumulationsformen auf der anderen Seite führen, haben große Bedeutung für den Nährstoffhaushalt und die Wasserkapazität der Böden. Ein bekanntes Beispiel ist die Bildung der Auenlehmedecken auf den spät- und postglazialen Schotterfluren unserer Flüsse, die die hohe Bodenfruchtbarkeit und intensive Nutzungsfähigkeit der Talauen erst ermöglicht haben. Andererseits ist im Berg- und Hügelland durch die Abtragung der Lößdecken eine Minderung der Bodenqualität zu verzeichnen.

Reliefform, Hangneigung, Exposition, Gesteins- und Bodenfarbe sowie Bodenfeuchte und Bewuchs nehmen Einfluß auf Besonnung und Strahlungsumsatz; sie tragen damit zur Ausbildung von Geländeklimaten bei. Außerdem vollziehen sich die Abkühlung bei fehlender Einstrahlung und der Austausch zwischen benachbarten Luftkörpern in Anlehnung an das Relief. Das ist vor allem für Stadtklimate von Wichtigkeit und muß bei Städten in inversionsbegünstigten Kessellagen bei der Bauleitplanung berücksichtigt werden, wenn nicht mit dem rapiden Städtewachstum in manchen Städten bei bestimmten Wetterlagen vollends unerträgliche Bedingungen geschaffen werden sollen.

Die **Hydrologie** hat Fragen der Wasserbereitstellung und des Bodenwasserhaushaltes zu beantworten. Ökologische Bedeutung haben sowohl Grund- und Quellwasser als auch die herrschenden Bodenfeuchteregime. Das Bodenfeuchteregime gehört zusammen mit den klimatischen Parametern Temperatur und Niederschlag, Boden und Lebensgemeinschaft zu den ökologischen Hauptmerkmalen eines Erdraumes. Auf die physiologische Bedeutung des Wassers braucht an dieser Stelle nicht weiter eingegangen zu werden.

Die Klassifizierung der Wasserhaushalte kann nach folgenden Gesichtspunkten vorgenommen werden: nach dem Filtergerüst in grob-, mittel- und feinporig, wovon u.a. das Wasserhaltevermögen des Bodens abhängt, nach Grund-, Sicker-, Hang- und Stauwasser sowie nach der ökologisch wichtigen Variabilität des Wasserhaushaltes im Jahresgang. Sie äußert sich in der Spannweite der Feuchteschwankungen zwischen Trocken- und Vernässungsperioden. Ökologisch von großer Wichtigkeit ist außerdem der Mineralgehalt des Wassers. Stark salzhaltige Wässer schließlich führen zu einer Besiedlung der von ihnen beeinflussten Standorte durch eine spezielle Halophytenvegetation.

Das **Klima**, speziell das Meso- und Mikroklima, ist von großer Bedeutung für die Geoökologie. Strahlung, Temperatur und Feuchte sind physiologisch direkte wirkungsvolle Faktoren. Der Wasserumsatz wird in starkem Maße durch den Wind beeinflusst, der überdies mechanisch auf das Leben einwirkt (Windschur, Winddeformationen usw.). Zu den geoökologischen Kenndaten einer Örtlichkeit gehören deshalb: der theoretisch mögliche und der tatsächliche Strahlungsgenuß, Temperaturwerte für den Tages- und Jahresgang (Maxima und Minima), eine Bewertung der Frostgefährdung, Niederschlags- und Verdunstungswerte sowie eine Darstellung der Windverhältnisse. Es sei angemerkt, daß die amtlich bisher verfügbaren Wetter- und Klimadaten ökologisch oft wenig aussagekräftig sind. Weiterführend wären Betrachtungen der Energieumsätze, die in der Untersuchungsmethodik jedoch noch gewisse Schwierigkeiten bereiten.

Umsatzbetrachtungen wären sowohl für die Strahlungsenergie, das Wasser und – über den hydro-meteorologischen Bereich hinaus – für den Umsatz anorganischer Substanzen in gelöstem und gasförmigen Zustand, den Umsatz organischer Substanz sowie den Stoff- und Energieumsatz bei biologischen Prozessen insgesamt von Bedeutung.

Im Hinblick auf die **Geomedizin** wird eine Kenntnis des Klimas und seiner Elemente in bebauten Gebieten, insbesondere städtischen Verdichtungsräumen, zunehmend wichtiger. Sie erfordert eine Statistik der Wetterlagenhäufigkeit, Aufschluß über die Strahlungsverhältnisse, Temperaturen, Inversions-, Nebel- und Schwülebildungen, denn hier bestehen wichtige Verbindungen zur möglichen Immissionsbelastung der Luft. Weiterhin bedeutungsvoll für Verdichtungsräume im reliefierten Gelände ist

die Erforschung der Zugbahnen des nächtlichen Luftaustausches bei fehlender vertikaler Durchmischung der Atmosphäre. Stadtklimaforschung und die Auswirkung stadtklimatischer Eigenheiten auf den Menschen sind heute wichtige Aufgabenstellungen der Geoökologie.

Ähnlich wie das Wasser unterliegt auch die Atmosphäre in weiten Bereichen der Erde einer zunehmenden Beeinflussung durch Fremdmetabolite aus der Tätigkeit des Menschen. Da sie auf das Leben schädliche Auswirkungen haben, muß sich die Geoökologie mit ihnen beschäftigen.

Der **Boden** ist ein besonders wichtiger und zentraler geoökologischer Faktor. Alle stofflichen Umwandlungen an der Erdoberfläche gehen bekanntlich über die Bodendecke vor sich. Außerdem bildet der Boden die dünne das gesamte festländische Leben tragende Schicht. Er ist innerhalb des Landschaftshaushaltes ein stark integrierender Bestandteil und damit ein geeignetes Schlüsselkriterium. Als Ergebnis klimagesteuerter Verwitterungs- und Stoffumwandlungs-Prozesse an der Erdoberfläche bringt er sowohl petrische, als auch klimatische und biologische Einflüsse sowie Einflüsse des Menschen zur Geltung. Ökologisch von besonderer Bedeutung ist der Wasser- und Nährstoff-Haushalt des Bodens. Der Wasserhaushalt steht in enger Beziehung zu den hygro-thermischen Klimaverhältnissen, ist vom Untergrund, vom Relief und von der Vegetationsdecke abhängig und wird außerdem von bodeneigenen Faktoren (Bodenart, Humusform, Porenvolumen, Bodengefüge, u.a.) gesteuert. Der Nährstoffhaushalt ist nicht nur eine Frage des Mineralbestandes im Ausgangsgestein sondern auch der sorptionsfähigen Verwitterungsneubildungen (sekundäre Tonminerale und Huminstoffe).

Speziell die Bildung der Tonminerale wiederum ist hochgradig klimaabhängig, worin eine komplizierte geoökologische Relation zu sehen ist. Diese knappen Ausführungen mögen die zentrale Stellung des Bodens im geoökologischen Faktorenggefüge angedeutet haben.

Die hier anzuwendenden Untersuchungsmethoden sind bodenkundliche und werden im Rahmen interdisziplinärer Forschungsprojekte, wie dem Mexiko-Schwerpunkt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, zweckmäßig von Bodenkundlern durchgeführt.

Darüber hinaus gibt es immer wieder mit den Besonderheiten des Raumes zusammenhängende bodenkundliche Fragestellungen von großer geoökologischer Relevanz. So trifft man im zentralen Hochland von Mexiko verbreitet auf Bodenprofile, die eine allocthone humusreiche Deckschicht aufweisen. Diese Deckschicht ist das Ergebnis von Staubstürmen, insbesondere Tromben, die in den Trockenperioden regelmäßig auftreten. Die Bildung der Tromben ist durch die vom Menschen im Laufe der Jahrtausende herbeigeführte Entwaldung erheblich gefördert worden. Die Deckschicht kann Mächtigkeiten bis zu $\frac{1}{2}$ m erreichen und verbessert im allgemeinen die Böden. In ausgesprochenen Deflationsgebieten hingegen ist eine starke Minderung der Bodenqualität zu verzeichnen.

Die **Lebensgemeinschaft** aus Pflanzen und Tieren unterliegt den bekannten soziologischen und ökologischen Untersuchungsmethoden. Auf die vielfältigen Indikatoreigenschaften der Pflanzen und Tiere für die Physiosysteme wurde wiederholt hingewiesen. Entscheidend erscheint, daß zunehmend mehr Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten zwischen dem physiologischen Verhalten von Pflanzen und Tieren und den herrschenden Außenbedingungen erkannt werden. Vielfach lassen sich Zusammenhänge zwischen bestimmten Außenbedingungen zwar vermuten,

aber der exakte Nachweis fehlt. Hier wäre eine engere Zusammenarbeit zwischen Physiologen und Ökologen wünschenswert.

Der Wert pflanzensoziologischer Untersuchungen im Rahmen geökologischer Forschungen ist gelegentlich bestritten worden (K.H. PAFFEN 1951). Wenn jedoch der Zweck nicht in gesellschaftssystematischen Problemen gesucht wird, sondern das Mosaik der Pflanzenvergesellschaftungen vor allem hinsichtlich seiner ökologischen Aussagefähigkeit betrachtet wird, haben pflanzen- und tiersoziologische Untersuchungen im Rahmen der Geoökologie einen hohen Stellenwert. Die Forderung hat deshalb nach ökologischer Pflanzen- und Tiersoziologie zu lauten. Wichtig ist, daß bei der Beurteilung der Vegetation als standörtlichem Indikator eine saubere Trennung zwischen aktueller Vegetation, potentieller natürlicher Vegetation und Nutzungsformen vorgenommen wird.

Ökosysteme haben eine **räumliche Ausdehnung** und es ist eine wichtige Aufgabe der Geoökologie diese Ausdehnungen zu ermitteln. Ein wesentliches Problem besteht deshalb darin, die zumeist punktuell durchgeführte geökologische Analyse auf den Raum zu übertragen. Dies wird mittels der Naturräumlichen Gliederung, einer hierarchisch gestuften geökologischen Regionalisierung, erreicht, die zunächst wesentliche Anstöße aus der forstlichen Standortlehre bezogen hat (C. TROLL 1950, J. SCHMITHÜSEN 1953). Die hierarchisch gestuften Gliederungseinheiten (E. NEEF 1963, H.-J. KLINK 1967) sind mit wachsender Größenordnung durch zunehmende geökologische Heterogenität gekennzeichnet. In den geökologischen Systemzusammenhängen besteht das Problem darin, von der Vielfalt der Beziehungen mehr und mehr zu abstrahieren und die räumlichen Wirkungsgefüge auf einen vereinfachten, typischen Nenner zu bringen, so wie dies in der Bodenkartierung bei den zonalen Böden oder in der Geobotanik bei den klimatisch bedingten Vegetationszonen geschieht.

Die **Beispiele** sind zum einen Mitteleuropa entnommen, wo vor allem Bodenfaktoren entscheidend für das geökologische Raummuster sind, und zum anderen dem östlichen Hochland von Mexiko und seinem golfseitigen Abhang, wo die infolge des ausgeprägten Reliefs kleinräumig wechselnden hygro-thermischen Klimaregime ausschlaggebend für die geökologische Raumlagerung sind.

Ein didaktisch geeignetes Beispiel für geökologische Veränderlichkeit sind Deltabildungen in Flußmündungsgebieten. Ein mit etwa 3 km² Fläche verhältnismäßig kleines und dadurch gut überschaubares Delta bildet die Tiroler Ache bei ihrer Einmündung in den Chiemsee. Vier großmaßstäbige Luftbilder aus den Jahren 1923, 50, 60 und 70 boten mir die Möglichkeit, den Prozeß der Deltaschüttung im einzelnen zu verfolgen. Hinsichtlich der Angaben zur Vegetationsgliederung im Deltabereich und auf den rückwärtig sich anschließenden Schötterfluren, die die südlichen Chiemseemoore teilen, kann auf die gründliche Untersuchung von J. PFADENHAUER (1969) über „Edellaubholzreiche Wälder im Jungmoränengebiet des bayerischen Alpenmoorlandes und in den bayerischen Alpen“ hingewiesen werden.

Die Deltabildung ist in diesem Beispiel besonders gut zu verfolgen, weil sie an ihrer heutigen Stelle erst nach einem künstlichen Durchstich im Zuge der Regulierungsarbeiten im Jahr 1876 eingesetzt hat. Vorher hatte sich das Delta wiederholt auf natürliche Weise verlagert und zunächst westlich und später östlich der heutigen Deltabildung gelegen. Hinter dem Delta beginnt der zwischen Leitdämmen gefaßte Fluß. Seit der Verbauung der Tiroler Ache kommen im Auewaldgebiet auf der

Schotterflur kaum noch Überschwemmungen vor, mit Ausnahme eines mehr oder weniger starken Durchstaus, der sich vor allem an den Altwässern bemerkbar macht.

Die Luftbilder zeigen, daß sich das Delta insgesamt dadurch weiterbildet, daß sich vor jeder Mündungsrinne des sich auf dem Delta verzweigenden Flusses ein Mündungsschwemfächer bildet. Die Akkumulations- und Erosionsprozesse führen zu einer gelegentlichen Verlegung der Mündungsrinnen. Das Delta wächst somit mosaikartig. Der Prozeß der Deltaschüttung wird durch Abdämmen von Mündungsrinnen und Öffnen anderer bis zum gewissen Grade künstlich gesteuert, denn man strebt eine möglichst gleichmäßige, breitflächige Schüttung an und versucht die Bildung labiler Mündungssporne und Buchten, in denen sich Schweb absetzen und dann eine verstärkte biogene Verlandung eintreten kann, möglichst zu verhindern.

Nahezu der gesamte 945 km² große Einzugsbereich der Ache liegt in den Alpen, teilweise in den Kitzbühler Schieferalpen und zum größeren Teil in den nördlichen Kalkalpen. Hinsichtlich ihrer Wasserführung und ihres Stofftransportes ist die Ache ein typischer Alpenfluß. Aus Messungen der Bayerischen Landesanstalt für Gewässerkunde und Berechnungen des Geophysikers JEAN BURZ (1956) ergeben sich folgende quantitative Angaben: Die Ache als stärkster Zufluß des Chiemsees führt ihm durchschnittlich 34,6 m³ Wasser pro sec. zu. Bei Hochwasser, wie es hauptsächlich in den Monaten Juni-Juli auftritt, kann die Wasserführung bis 140 m³ pro sec anschwellen. Besonders bei Hochwasser besteht eine starke Stoffbelastung. Nach den Berechnungen von BURZ (1956) transportiert die Ache im jährlichen Durchschnitt in den Chiemsee:

Gerölle und Sande	Schwebstoffe	gelöstes Gesteinsmaterial (Ca, Na usw.)	Summe
100 000 m ³	177 000 m ³	55 000 m ³	332 000 m ³

Während die Gerölle und Sande zum größten Teil im Delta abgelagert werden, gelangen von den Schwebstoffen (Korngröße < 0,2 mm) 122 000 m³ jährlich über das Delta hinaus in den See und werden dort sedimentiert. Der See wirkt mithin als eine Art Klärbecken. Auch die gelösten Gesteine schlagen sich zu einem großen Teil als Seekreide im Seebecken nieder. BURZ hat die Seekreidesicht unter den Deltaablagerungen als Marke zur Berechnung des Deltavolumens benutzt. Nur ein geringer Teil des Schwebs und der gelösten Stoffe werden durch den flachen Alzabfluß im Norden des Chiemsees abgeführt.

Aus Abb. 1 geht die Vergrößerung des Achedeltas vom Beginn der Regulierungsarbeiten im Jahre 1869 (alte Uferlinie) bis zum Jahre 1950 hervor. Durch Planimetrierung der Luftbilder habe ich ermittelt, daß sich die über den mittleren Seespiegel aufragende Landoberfläche des Deltas von 1923-1960 um rd 310 000 m² oder knapp 1/3 km² vergrößert hat. BURZ hat übrigens berechnet, daß das heutige Chiemseebecken bei einer gleichbleibenden Deltaschüttung wie sie im Beobachtungszeitraum der letzten Jahrzehnte geherrscht hat, in rd. 7 000 Jahren zugeschüttet sein wird. Voraussetzungen hierzu sind allerdings, daß das Klima und damit die Intensität der Verwitterungs- und Abtragungsprozesse gleichbleiben und daß die Bodennutzung so bleibt, wie sie augenblicklich ist. Beides ist ziemlich unwahrscheinlich. Es bedarf jedoch wohl keiner Erläuterung, daß derartige zunächst geomorphologische

Prozesse und Veränderungen, wie sie hier beschrieben werden, für die landschafts-ökologischen Verhältnisse des Alpenvorlandes insbesondere auf längere Sicht von großer Bedeutung sind. Erinnerung sei daran, daß seit dem Ende der Würmeiszeit schon mehrere große Seen von den Alpenflüssen zugefüllt worden bzw. leergelaufen sind. Die bekanntesten Beispiele sind der See im Rosenheimer- und der See im Salzach-Becken.

Mit dem fortschreitenden geomorphologischen Prozess der Deltabildung sind laufende ökologische Veränderungen verbunden. Sie bestehen in der fortschreitenden Bodenbildung und einer bestimmten Vegetationssukzession. Entsprechend dem hohen Anteil von carbonatischem Ausgangsmaterial und dem bicarbonatreichen Grundwasser sind es Laubwaldgesellschaften, die für basische Böden kennzeichnend sind. Sie stehen in krassem Gegensatz zu den bodensauren Moor-Kiefern- und Moor-Fichten-Wäldern der umgebenden Moorböden (Übergangsmoore).

Die standortsökologische Gliederung der Vegetation hängt einerseits von der flußaufwärts zunehmenden Bodenentwicklung und andererseits vom Abstand des Grundwassers von der Bodenoberfläche ab. So stockt auf den häufig überfluteten Schlamm- und Uferbänken ein Silberweiden-Auewald. Dahinter schließt sich auf junger, zeitweilig überschwemmter Kalkpaternia die Grauerlenaue (*Alnetum incanae*) an, die die häufigste Waldgesellschaft der Uferbänke rasch fließender Alpeenge-

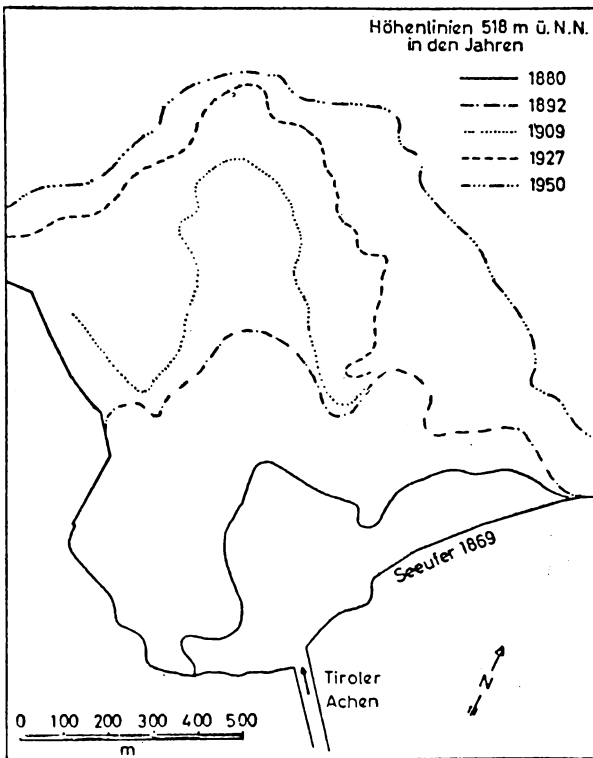


Abb. 1. Verlagerung der Uferlinie im Mündungsbereich der Tiroler Ache (aus: BURZ, 1956).

wässer bildet und von den Zentralalpen bis in Donaunähe vorkommt. Ähnlich wie die anderen Waldgesellschaften kommt die Grauerlenaue im Auewald der Tiroler Ache in mehreren Ausbildungen vor, die Ausdruck standörtlicher Varianten innerhalb dieses Ökotoyps sind.

PFADENHAUER (1969) stellt folgende Ausbildungen heraus: Das Alnetum *incanae* in der *Salix alba*-Ausbildung: Sie wächst auf junger, häufig überschwemmter Kalkpaternia und leitet ökologisch zur Silberweidenaue über. — Das Alnetum *incanae* in der *Thyphoides arundinacea*-Ausbildung: Sie gedeiht auf wechsellässigen, tonigen Böden vom Typ einer vergleyten Kalkpaternia und vermittelt zum *Pruno-Fraxinetum caricetosum acutiformis*. — Das Alnetum *incanae* in der *Aegopodium podagraria*-Ausbildung: Sie besiedelt entwickeltere Böden vom Typ der Kalkpaternia und leitet mit den Arten *Aegopodium podagraria*, *Sambucus nigra* und *Galium aparine* zum *Aceri-Fraxinetum* über.

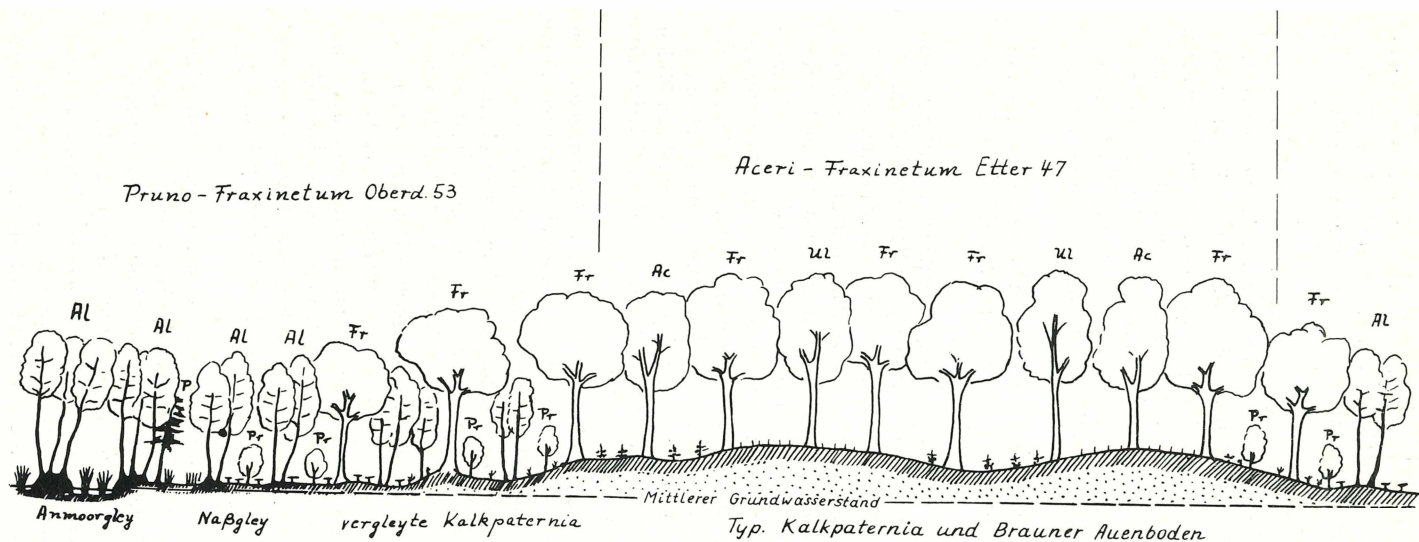
Die weitere standortsökologische Gliederung des edellaubholzreichen Auewaldes geht aus der unter Verwendung von PFADENHAUER (1969) entwickelten Abb. 2 hervor.

Auf grundwasserferneren Böden vom Typ einer gut entwickelten Kalkpaternia und Braunen Auenböden ohne Grundwasseranschluß wächst Eschen-Bergahorn-Wald (*Aceri-Fraxinetum* ETTER 1947) in verschiedenen Subassoziationen und Varianten. Diese Ökotope sind hauptsächlich auf junge Aufschüttungen längs den Altläufen und einmündenden Seitenbächen zurückzuführen. Zwischen und hinter diesen Aufschüttungen wachsen in grundwassernäheren Randmulden Erlen-Eschen-Wälder (*Pruno-Fraxinetum* OBERD. 53) in je nach Bodenfeuchte und Bewegungsform des Wassers verschiedenen Subassoziationen. Insgesamt nimmt das *Pruno-Fraxinetum* im Auewald der Tiroler Ache oberhalb ihrer Mündung große Flächen ein. Innerhalb des *Pruno-Fraxinetum calthetosum* tritt gelegentlich auf quelligen Böden und längs davon ausgehenden kleinen Rinnsalen Bach-Eschen-Wald mit *Caltha palustris* (*Carici remotae-Fraxinetum calthetosum*) auf.

Insgesamt besteht eine klare standortsökologische Ordnung in Abhängigkeit von der Bodenentwicklung und den Bodenwasserverhältnissen, speziell dem Abstand des Grundwassers von der Bodenoberfläche und der Bewegungsform des Wassers.

Das Beispiel des östlichen Hochlandes von Mexiko kann hier aus Raumgründen nicht weiter ausgeführt werden. Hinsichtlich der Einzelheiten sei auf die Arbeiten von KLINK, LAUER, ERN; LAUER; KLINK (alle *Erdkunde* 27, 1973, 3) verwiesen. Insgesamt besteht eine klare Zuordnung der ökologischen Raumgliederung zu den hygro-thermischen Klimaregimen, die vor allem von Lauer herausgearbeitet worden sind. Wichtige Größen sind die Frostgrenze, welche die meisten warmtropischen Arten am Vordringen gegen die in den Höhenstufen verbreiteten borealen Eichen-Kiefern-Wälder hindert sowie die hygri-schen Verhältnisse, wobei neben der absoluten Höhe der Niederschläge die Andauer der humiden Jahreszeit bedeutungsvoll ist.

Der borealen Vegetation in den Höhenstufen haben die sich seit der Unterkreide heraushebenden nordamerikanischen Cordilleren günstige Wanderungsbedingungen bis in die Tropen geboten. In den Höhenstufen oberhalb 1800 m, am feuchten Ostabhang auch bereits darunter, beherrschen die Baumschicht der natürlichen Wälder boreale Gattungen, wie *Pinus*, *Abies*, *Cupressus*, *Quercus*, *Alnus*, *Fraxinus*, *Fagus*, *Ulmus* u.a., während die tropisch-montanen hauptsächlich im Unterwuchs auftreten und sich gegenüber den borealen nicht bestandsbildend durchsetzen kön-



AL *Alnus glutinosa*
u. *Alnus incana*
P *Picea abies*
Pr *Prunus padus*
Fr *Fraxinus excelsior*
Ac *Acer pseudoplatanus*
Ul *Ulmus glabra*

▼▼▼ *Carex acutiformis*
TT *Caltha palustris*
∨ *Carex remota*
‡ *Stachys silvatica*
‡ *Impatiens noli tangere*
||| *Carex alba*

Eschen - Bergahornwald
Trockener Flügel
Aceri-Fraxinetum caricetosum albae
Frisch
Aceri-Fraxinetum typicum
Feuchter Flügel
Aceri-Fraxinetum stadyetosum

Erlen - Eschenwald
Trockener Flügel
Pruno-Fraxinetum typicum
Feucht
Pruno-Fraxinetum calthetosum
Nasser Flügel
Pruno-Fraxinetum caricetosum acutiformis

Abb. 2. Schema der standörtlichen Gliederung der Auenwälder auf den jungen Schotterfluren des Jungmoränen Alpenvorlandes und der nördlichen Kalkalpen.

nen. Dies obwohl das Klima nach seiner Struktur als randtropisches Höhenklima zu bezeichnen ist: geringfügiges Vorwalten der Tagesschwankungen der Temperatur gegenüber den Jahresschwankungen, ausgeprägte Regenzeit im Sommer. In den Höhenstufen oberhalb 2700 m sind neben borealen Sippen vor allem antarktische und alpine vertreten.

Eindeutig hygrisch bestimmt ist die Grenze der weit verbreiteten Gattung *Quercus* gegen die warmtropische Trockenvegetation, wobei die glaziale und postglaziale Klimageschichte und die dadurch bedingten Florenwanderungen zu berücksichtigen sind. So vermutet LAUER (1973) in den *Quercus oleoides*-Wäldern, die vor allem auf zähen tonigen Böden des warmtropischen Golf-Küstentieflandes stocken, Glazialrelikte.

Selbstverständlich gibt es über die stark vom Relief bestimmten Klimaeinflüsse auf die Vegetation hinaus eine in Bodeneigenschaften begründete standörtliche Gliederung. So sind im Kakteen-Dornbusch des warmtropischen Trockengebietes die hochwüchsigen Säulenkakteen *Neobuxbaumia mezcalaensis*, *Neobuxbaumia tetetzo*; *Cephalocereus hoppenstedtii* u.a. nur auf carbonatreichen und in der Regel flachgründigen Böden verbreitet (u.a. sicher eine Frage der Wasserkapazität hauptsächlich aber des Carbonatgehaltes). Auf carbonatfreien, tiefergründigen Substraten, wie den Schwemmschuttkörpern am östlichen Rande des Papaloapanbeckens fehlen diese Säulenkakteen; hier wachsen z.T. stark verzweigte Kandelaberkakteen wie besonders *Escontria chiotilla*, außerdem *Polaskia chichipe*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Stenocereus weberi*, *St. dumortieri*, und *St. stellatus*, hauptsächlich vergesellschaftet mit dörngehölzen. Auch die artenteiche Gattung *Bursera* ist vorwiegend auf carbonatreiche, zumeist flachgründige Böden beschränkt und vergesellschaftet sich zum Teil mit den großen Säulenkakteen. Grundwasserstandorte, bei denen das Wasser oft erst in mehreren Metern Tiefe angetroffen wird, sind vom Mezquite- *Prosopis juliflora*, *P. laevigata*, häufig begleitet von *Pithecollobium dulce* – bestockt. Auch H.W. KOEPCKE (1961) bezeichnete in seinen synökologischen Studien auf der Westseite der peruanischen Anden die Mezquitales aus *Prosopis juliflora* als grundwasserabhängig.

Sieht man von den Bewässerungen ab, so setzen die hygro-thermischen Klimaregime auch der Landnutzung einen ziemlich engen Spielraum, wie ebenfalls aus den Karten zu den Arbeiten von LAUER & KLING (Erdkunde 1973,3) zu ersehen ist.

In vielen Fällen ist es wichtig, sich mit den Schwächegliedern der geoökologischen Systeme zu beschäftigen, weil sie eine Inwertsetzung der Räume durch den Menschen oft sehr behindern. Setzt sich der Mensch andererseits über sie hinweg, können irreparable Schäden auftreten, die eine Entwicklung zu stabilen, leistungsfähigen Kulturlandschaften nicht mehr zulassen. In beispielgebender Weise haben dies SIOLI, KLINGE, FITTKAU u.a. für die amazonische Hylaea aufgezeigt, wo die teilweise sehr armen Böden und die damit verbundenen geochemischen Verhältnisse der Gewässer derartige Schranken setzen.

Im zentralen Hochland von Mexiko bedürfen diejenigen Böden besonders pflegerischer Behandlung, in denen sich Verfestigungshorizonte (sogenannter Tepetate) bilden. Sie wirken als lokale Denudationsbasen und geben zu flächenhafter Boden-erosion Anlaß. Es sind die aus Aschen hervorgegangenen Böden in den Hochbecken der Cordillera Neovolcánica, die reich an vulkanischen Gläsern sind. Wie bereits H. AEPPLI (1973) gezeigt hat, kommt es in ihnen unter den Bedingungen des wechselfeuchten randtropischen Höhenklimas zu einer Mobilisation, Verlagerung

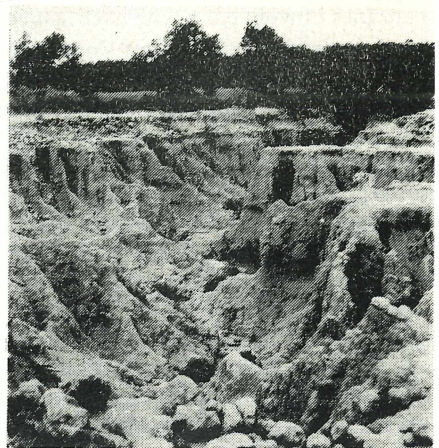
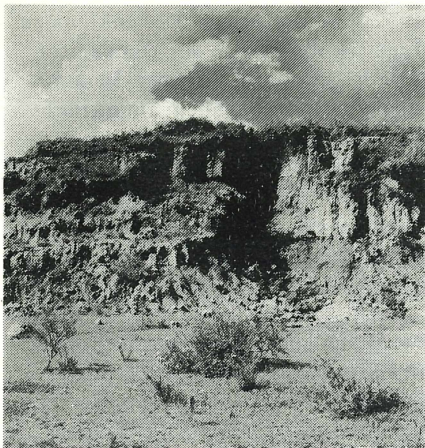


Abb. 3a, b. Tepetatebildung und flächenwirksame Erosion in tepetatebildenden Bodenschichten des östlichen Hochlandes von Mexiko (Aufnahme KLINK 73).

und Wiederausfällung von Kieselsäure in tieferen Bodenschichten. Werden die über den Tepetatehorizonten liegenden lehmigen „Barroböden“ und vertisolähnlichen Böden infolge von Entwaldung und unsachgemäßer Bodennutzung durch Starkregen erodiert und die Tepetatehorizonte freigelegt (Abb. 3 a, b), kommt es anschließend zu einer starken Verfestigung des freigespülten Tepetate. Sie kann soweit gehen, daß eine Nutzung mit den derzeitigen Bewirtschaftungsmethoden unmöglich wird. Tausenden von Hektar ursprünglich fruchtbaren Landes sind auf diese Weise im Hochland von Mexiko bereits aus der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung ausgeschieden und liegen weithin vegetationslos da. Das bedeutet in einem Lande mit derzeit 3,5% jährlichem Bevölkerungswachstum eine erhebliche Minderung der agraren Tragfähigkeit.

LITERATUR

- AEPPLI, H. (1973): Barroböden und Tepetate. Diss.- Gießen.
- BURZ, J. (1956): Deltabildung im Ammersee und Chiemsee. Mitteilung aus dem Arbeitsbereich der Bayerischen Landesanstalt für Gewässerkunde. München.
- ELLENBERG, H. (1973): Ziele und Stand der Ökosystemforschung. In: Ökosystemforschung (Hrsg. H. ELLENBERG). Berlin. Heidelberg, New York, 1–31.
- KLINK, H.-J. (1967): Die Naturräumliche Gliederung als ein Forschungsgegenstand der Landeskunde. In: Institut für Landeskunde, 25 Jahre amtliche Landeskunde, Bad Godesberg, 195–219. Zugleich in: Wege der Forschung Bd. 49. Darmstadt: Wissenschaftl. Buchges. 1973.
- KLINK, H.-J. (1973): Die natürliche Vegetation und ihre räumliche Ordnung im Puebla-Tlaxcala-Gebiet (Mexiko). In: Erdkunde XXVII, 3: 213–224.
- KLINK, H.-J., W. LAUER und H. ERN (1973): Erläuterungen zur Vegetationskarte 1:200 000 des Puebla-Tlaxcala-Gebietes Beilage XI. In: Erdkunde XXVII, 3: 225–229.
- KLINK, H.-J. (1974): Geoecology and Natural Regionalization — Bases for Environmental Research — In: Applied Sciences and Development, Vol. 4. Tübingen, 48–74.
- KOEPCKE, H.-W. (1961): Synökologische Studien an der Westseite der peruanischen Anden. Bonner Geogr. Abhandlungen H.29. Bonn.

- LAUER, W. (1973): Zusammenhänge zwischen Klima und Vegetation am Ostabfall der mexikanischen Meseta. In: *Erdkunde* XXVII, 3: 192–212.
- LAUER, W. & E. STIEHL (1973): Hygrothermische Klimatypen im Raum Puebla-Tlaxaca (Mexiko). In: *Erdkunde* XXVII, 3: 230–234.
- NEEF, E. (1963): Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung. In: *Petermanns Geogr. Mittn.* 107: 249–259.
- PAFFEN, K.H. (1951): Geographische Vegetationskunde und Pflanzensoziologie. In: *Erdkunde* 5: 196–203.
- PFADENHAUER, J. (1968): Edellaubholzreiche Wälder im Jungmoränengebiet des Bayerischen Alpenvorlandes und in den Bayerischen Alpen. *Dissertationes Botanicae*, Bd. 3. 3301 Lehre: Verlag von J. Cramer.
- SCHMITHÜSEN, J. (1953): Grundsätzliches und Methodisches. Einleitung zum Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands, Bd. 1, Bad Godesberg, 1–44. Zugleich: Arbeiten aus dem geogr. Inst. d. Univ. d. Saarlandes, 18, Saarbrücken 1974.
- SCHMITHÜSEN, J. & E. NETZEL (1962/63): Vorschlag zu einer internationalen Terminologie geographischer Begriffe auf der Grundlage des geosphärischen Synergismus. In: *Geographisches Taschenbuch*, 283–286.
- TROLL, C. (1939): Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. In: *Z.d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, 241–298. Zugleich in: *Erdkundl. Wissen*, 12 (1966) 1–69.
- TROLL, C. (1966): Die Geographische Landschaft und ihre Erforschung. In: *Studium Generale*, 3, 1950, S. 163–181. Zugleich in: *Erdkundl. Wissen*, 11: 14–51.
- TROLL, C. (Ed.) (1968): Geo-ecology of the Mountainous Regions of the Tropical Americas. (Discurso de introduccion, CARL TROLL). *Colloquium Geographicum*, Bd. 9. Bonn.
- TROLL, C. (1970): Landschaftsökologie (Geocology) und Biogeocoenologie. Eine terminologische Studie. In: *Revue Roumaine de Géologie, Géophysique et Géographie, Serie de Géographie*, 14: 9–18. Englische Übersetzung in: *Geoforum* 8, 1971: 43–48.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. H.-J. KLINK, Geographische Institute der Universität Bonn, 53 Bonn, Franziskanerstr. 2.