

## DIE ROLLE DER BÖDEN IN DEN HOCHALPINEN ÖKOSYSTEMEN

H. FRANZ

### *Abstract*

The climat conditions of the high-mountain regions influence in a high degree the physical, chemical and biological characteristics of the soil.

The characteristics were discussed first for soils of the European Alps and then also for soils of high-mountains in the tropical and subtropical region. The influence of these qualities on the high-mountain environments is discussed.

Seitdem DOKUTSCHAJEW in dem weiten Raum der russischen Tafel nachgewiesen hat, daß sich auf dem gleichen geologischen Substrat in verschiedenen Klimabereichen verschiedene Böden bilden, wissen wir, daß die Bodenbildung und -entwicklung klimaabhängig vor sich geht. Es handelt sich um einen komplexen Prozeßablauf, der parallel zur Entwicklung der Biozönosen einem klimabedingten Endstadium zustrebt, das wir als Klimaxstadium bezeichnen. Diese Tatsache — es gibt darüber hinaus noch viele andere— läßt erkennen, daß die Böden innerhalb der Ökosysteme Teilbereiche darstellen, die mit den anderen Teilbereichen in enger Wechselbeziehung stehen und daher bei der Ökosystemforschung nicht vernachlässigt werden dürfen. Da ich von der Biologie und Ökologie her zur Bodenforschung gekommen bin, sind mir diese Wechselbeziehungen in besonderem Maße bewußt und es liegt mir daher ihre Erforschung auch besonders am Herzen. Die folgenden Ausführungen haben zum Ziele, die Rolle der Böden in den Ökosystemen für den Hochgebirgsbereich darzustellen. Dabei muß ich allerdings von der Bodendynamik im allgemeinen ausgehen.

Böden entstehen aus Gesteinen durch Verwitterung, wobei das Klima nicht bloß die Geschwindigkeit des Verwitterungsablaufes sondern auch die dabei entstehenden Endprodukte maßgebend bestimmt. Ausmaß und Art der Abfuhr von Verwitterungsprodukten, Menge und Art der Verwitterungsneubildungen, man denke etwa an die sekundären Tonminerale, beeinflussen die Qualität des entstehenden Bodens und haben dadurch Einfluß auf die im Boden lebenden Organismen und auf die Vegetation. Die Pflanzen entnehmen dem Boden Wasser und Mineralnährstoffe, sie geben ihrerseits Bestandsabfall an den Boden zurück, der von den Bodenorganismen teils mineralisiert, teils humifiziert wird. Der Anteil der organischen Substanz, die in Humus verwandelt wird, und die Qualität der gebildeten humosen Stoffe sind klimaabhängig, sie üben ihrerseits einen starken Einfluß auf die gesamte Bodendynamik aus. Das Hauptagens der Stoffbewegung im Boden ist das Wasser, daneben spielen aber biologische Prozesse eine Rolle, so der Stoffkreislauf zwischen Boden und Pflanze, die mechanische Bodendurchmischung durch Tiere und in allen Kulturböden menschliche Eingriffe. Im Zuge der Bodenbildung treten die festen Bodenteilchen zu Aggregaten zusammen, es bildet sich eine Bodenstruktur. Ob dabei phy-

sikalisch-chemischen oder biologischen Prozessen eine dominierende Rolle zukommt, ist milieubedingt.

Die extremen Umweltbedingungen des Hochgebirges begünstigen den eben geschilderten Ablauf der Bodenbildung nicht.

Niedere Temperatur und langandauernde Vegetationsruhe verlangsamen die Bodenbildung. Verstärkte Erosion wirkt der Bildung reifer Bodenprofile entgegen bis schließlich an der Obergrenze der geschlossenen Vegetation, aber stellenweise auch schon unter dieser, die Bodenentwicklung über das Rohbodenstadium nicht mehr hinausgeht. Zugleich nimmt die Mächtigkeit der Bodenbildung im Durchschnitt mit der Seehöhe ab und damit auch die Speicherleistung für Niederschlagswasser sowie für Mineralnährstoffe.

Wie überall unter extremen Umweltbedingungen so überwiegen auch in den Hochgebirgsböden bei der Bodenentwicklung die physikalischen über die chemischen und biologischen Prozesse, bis sie schließlich in den Kältewüsten der höchsten Gebirgslagen absolut vorherrschen. Als die wichtigsten von ihnen sind Frost- und Temperaturverwitterung, Solifluktion, Verwehung von Flugstaub und alle Formen der Hangabspülung zu nennen.

Die Folge des Vorherrschens der physikalischen Verwitterung, der Erosion und Akkumulation ist die Anhäufung von Schutt bestehend aus Gesteinstrümmern und wenig verwitterten Primärmineralen, es entstehen daher grobskelettreiche Böden, die auf eine hohe Wasserdurchlässigkeit und starke Auswaschung schließen lassen.

Eingehendere Untersuchungen zeigen allerdings, daß man diesen Schluß nicht ohne weiteres verallgemeinern kann. Glimmerreiche Substrate liefern auch im Gebirge Böden mit erstaunlich geringer Wasserdurchlässigkeit, da sich die Glimmerplättchen horizontal anordnen und bei hohem Glimmeranteil abdichtend wirken. Das Material von Grundmoränen wird sehr oft äußerst fein zermahlen und erreicht auch dadurch einen hohen Impermeabilitätsgrad. Wir haben bei Hochgebirgsböden, besonders im Bereich der in jüngster Zeit von den Gletschern freigegebenen Vorfeldareale, mit Erstaunen außerordentlich hohe Alkaliegehalte und eine hierdurch bedingte alkalische Reaktion festgestellt.

Ein anderer die Permeabilität der Böden beeinträchtigender Faktor ist der Bodenfrost. Die Böden tauen bei Eintritt wärmerer Witterung von der Oberfläche her auf und bleiben in tieferen Schichten viel länger gefroren. Das Schmelzwasser staut dann in ebener und selbst in mäßig geneigter Lage über dem gefrorenen Untergrund und der zeitweilige Tagwasserstau erzeugt einen besonderen Subtypus von Pseudogleyen, den ich alpine Pseudogleye genannt habe (Franz 1960). Diesen fehlt ein perennierender Staukörper, weshalb es auch zu einer erheblichen Verlagerung des unter anäroben Bedingungen gelösten Eisens in tiefere Bodenschichten kommen kann. Der zeitweilige Tagwasserstau hat starke Auswirkungen auf das Pflanzen- und Tierleben, vor allem auch auf das Bodenleben. Wahrscheinlich ist die von Holdhaus beschriebene Petrophilie vieler Hochgebirgsinsekten auf die bessere Dränung der auf festem Gestein auflagernden seichtgründigen Böden zurückzuführen.

Ein besonderes Phänomen der Hochgebirgsböden gemäßigter Breiten ist ihr Humusreichtum. Es entsteht eine in feuchtem Zustand schmierige, intensiv gefärbte Humusform, die KUBIENA Pechmoder genannt hat. Die extremsten Pechmoderbildungen findet man auf reinen Kalken, die der Lösungsverwitterung unterliegen und bei denen fast keine Lösungsrückstände im Bodenprofil zurückbleiben. In den sogenannten Pechrendsinen hat F. SOLAR (1960) auf der Rax bis über 80% organi-

sche Substanz festgestellt, das ist ein Wert, der sonst nur Moorböden zukommt.

Der Humus des Pechmoders, der vorwiegend aus Exkrementen kleiner Bodentiere besteht, hat überwiegend kolloidale Beschaffenheit und ist sehr quellfähig. Beim Gefrieren erfährt das Hydratwasser eine starke Volumsvermehrung, die zum Auspressen der Steine aus dem Feinboden und zur Bildung von Frostmusterböden führt.

An Hängen entstehen durch Solifluktion und Nivation Treppen und Girlandenböden, in denen einander oft mehrere Humushorizonte überlagern. Man hat begonnen, deren Alter nach der  $C^{14}$ -Methode zu bestimmen und es scheint, daß sich einzelne fossile Humushorizonte zeitlich bestimmten Klimaschwankungen zuordnen lassen.

Ein für die Dynamik der Hochgebirgsböden und darüber hinaus für die gesamten Hochgebirgsökosysteme bedeutsamer Vorgang ist die Bodenverstaubung. Sie ist im wesentlichen auf waldfreies Gelände beschränkt und spielt daher vor allem oberhalb der alpinen Waldgrenze eine Rolle. Heute herrscht Flugstaubverwehung auf kurze Distanz vor, weshalb rezente Flugstaubdecken vor allem in unmittelbarer Nähe leicht verwitternder Gesteine entstehen. Ein klassisches Beispiel, das erstmalig von FRIEDEL eingehend beschrieben wurde, ist die Gamsgrube an der Pasterze im Glocknergebiet, ein windgeschütztes Kar, in dem Flugstaub von den umliegenden Kalkphyllithängen akkumuliert wird. Mein Schüler F. GRUBER hat kürzlich eine Akkumulation von 1 mm Staub pro Jahr gemessen, an günstigen Stellen haben die Flugstaubprofile bis über 2 m Mächtigkeit, wobei die Bodenentwicklung auch unter geschlossenem Rasen das Rohbodenstadium kaum überschreitet.

Die starke, fast ausschließlich aus Kalkphyllitteilchen bestehende Staubeinwehung bedingt, daß die Böden der Gamsgrube kalkhaltig sind, allerdings haben Profiluntersuchungen ergeben, daß sich in etwa 1 m Tiefe eine scharfe Grenze feststellen läßt, unterhalb welcher das Material stärker rostfarbig und entkalkt ist. Die stärker verwitterten entkalkten Schichten deuten auf wärmere Klimaverhältnisse und verringerte Einwehung hin. Der Flugstaub wird allerdings auch heute noch angewittert eingeweht, da von dem zutage liegenden Fels stets die schon angewitterte Oberflächenschicht durch Frost abgeblättert und anschließend vom Winde verweht wird.

Die Böden mit starker rezenter Flugstaubakkumulation sind die wasserdurchlässigsten, trockensten Böden, die, um so mehr als es sich um windgeschützte, meist auch der Sonneneinstrahlung stark ausgesetzte Stellen handelt – starke Insolation begünstigt ja die Frostverwitterung – bevorzugte Standorte wärmebedürftiger Pflanzen und Tiere sind.

Im Spätglazial, bevor nach dem Rückzug der Gletscher die Wiederbewaldung einsetzte, kam es zu Flugstaubverwehungen großen Umfanges und auf weite Distanz. Die dabei gebildeten Flugstaubdecken haben in den Kalkalpen Mächtigkeiten von über einem Meter erlangt und wurden von KUBIENA als Terra fusca bezeichnet. Sie bestehen aus Silikatmineralen und weisen z.B. in hochalpinen Lagen auf der Rax und am Schneeberg einen sehr geringen Verwitterungsgrad auf, ihre Herkunftsgebiete sind die kristallinen Gebirgsstöcke der südlich angrenzenden steirischen Alpen. Die Terra fusca ist kalkfrei, versauert leicht und wird von azidiphilen Urgebirgspflanzen besiedelt, die Terra fusca-Standorte stehen daher zu den Kalkstandorten in scharfem ökologischen Gegensatz. Da die rezente Einwehung auf den Kalkplateaus gering ist, unterliegen die Terra fusca-Decken allmählicher Abtragung, wobei es auch zu Mischbodenbildung kommt, indem sich auf dem freigelegten Kalkfels Rendsinen

bilden, in die durch Regenwürmer die in Spalten noch vorhandenen Terra fusca-Reste eingemengt werden. Die Abtragung der Terra fusca-Decken in den Kalkalpen beeinflusst deren Wasserhaushalt tiefgreifend. Dolinen dienen, so lange sie mit Terra fusca wasserdicht ausgekleidet waren, als Sammelbecken für Regen- und Schmelzwasser und damit als Tränke für gealptes Vieh. Bricht die Terra fusca-Decke durch allmähliche Einwaschung der Terra fusca in die Klüfte des darunter lagernden Kalles durch, so kann das Niederschlagswasser sofort versickern, das gealpte Vieh findet kein Wasser mehr, die Almen müssen aufgegeben werden. Mit dem Abtrag der Terra fusca in den Kalkalpen vollzieht sich somit ein rezenter Verkarstungsprozeß, der durch Betritt von Tieren und Menschen gefördert wird.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß wir in den Kalkhochalpen mehrere Generationen von Terra fusca festgestellt haben, deren jede einer Kalkzeit entspricht. Die älteren Terra fusca-Decken haben sich auf den eiszeitlich wenig vergletscherten Randgipfeln der Alpen erhalten, auf den eiszeitlich intensiv vergletscherten Kalkgebirgen sind sie bis auf geringe, in Spalten erhaltene Reste der glazialen Denudation zum Opfer gefallen. Dies gilt auch für alle anderen älteren Böden, so daß wir in den eiszeitlich von Firn und Gletschern überdeckten Alpen nur junge, postglaziale Bodenbildungen vorfinden.

Auf den Kalkhochalpen haben sich aus dem Tertiär wohlgerundete Quarzschotter erhalten, die z.T. auch in die Höhlen eingewaschen wurden. Sie stammen aus einer Zeit, in der die nördlichen Kalkalpen noch Mittelgebirgscharakter hatten und ihre heute hoch über den Tälern gelegenen Plateaus von aus dem Urgebirge kommenden Bächen überflossen wurden. F. SOLAR (1960) hat am Raxplateau eine Stelle entdeckt, an der ein mächtiges Silikatschotterprofil von Rotlehm überlagert ist. Dieser stellt den Rest einer tertiären Bodendecke dar, was bezeugt, daß noch im Jungtertiär, die Augensteinsedimente werden dem Miozän zugeschrieben, in den Kalkhochalpen keine hochalpinen Ökosysteme bestanden haben.

Auch die postglazialen Klimaschwankungen haben in der Bodendecke der Hochalpen Spuren hinterlassen. Auf der Vorexkursion zu dieser Tagung konnten im Vorfeld der Pasterze Podsole gezeigt werden, die unter der Fernaustrirnmoräne, die um 1620 aufgeschüttet wurde, begraben sind.

Es sind Böden, die sich im Pasterzenvorfeld in der späten Wärmezeit unter Wald gebildet haben. Zwischen dem Fernauvorstoß und dem Gletschervorstoß des Jahres 1856 haben sich noch Braunerden gebildet, und es hat sich subalpiner Wald angesiedelt, was durch Funde von Lärchenstämmen bezeugt ist. Podsole finden sich zwar auch noch oberhalb der wärmezeitlichen Waldgrenze, es sind aber alpine Zwergpodsole von wesentlich geringerer Mächtigkeit als die im Pasterzenvorland entwickelten. Ähnlich mächtige Podsole finden sich in den Ostalpen auf vielen Gipfeln in Bereichen, die heute über der anthropogen herabgerückten Waldgrenze liegen. Sie sind im Gipfelbereich der Millstätter Alm, auf der Koralpe usw. stark erodiert, so daß vielfach nur der Sesquioxidanreicherungs-horizont übrig geblieben ist. Nach Beseitigung der Waldvegetation konnten sie der Erosion nicht mehr widerstehen und verfielen dem Abtrag.

Wie sehr sich die Zerstörung der Waldvegetation auf die Bodenentwicklung auswirkt, mag noch ein zweites Beispiel beleuchten. Auf der Millstätter Alm gibt es an der Waldgrenze einzelne kleine Hochmoore. Bei Grabungen in einem solchen in der Nähe einer Alm stießen wir unter Hochmoortorf auf Legföhrenholz, das in dem Humushorizont eines Landbodens wurzelte und das mit einem Werkzeug hergestellt

te scharfe Schnittflächen aufwies. Die Schnittflächen waren wie die Oberfläche der Legföhrenstämme durch den späteren Verrottungsprozeß schwarz gefärbt, demnach alt, was übrigens auch die darauf lagernden Hochmooschichten bewiesen. Aus einem anderen Moor der Millstätter Alm wurden von meinem leider früh verstorbenen Schüler ALBL Proben zur pollenanalytischen Untersuchung entnommen. Sie enthielten zu unserer Überraschung bis zur Basis des Moores Getreidepollen. Sie beweist, daß sich das Moor erst in einer Zeit bildete, als in tieferen Lagen bereits Getreidebau betrieben wurde. Die Waldrodung im Zuge der menschlichen Besiedlung der höheren Berglagen in den Alpen hat zur Vernässung von Flächen geführt, die früher infolge des stärkeren Wasserverbrauches der Waldvegetation einen ausgeglichenen Wasserhaushalt aufgewiesen hatten. Es kam an solchen Stellen zur Bildung von Mooren, die heute einen durchaus natürlichen Aspekt haben.

Ein großer Teil der Hochgebirgsböden weist einen geringen Reifungsgrad auf. Unterhalb der Obergrenze geschlossener Vegetation ist die geringe Bodenreife eine Folge starker Erosion durch Hangabspülung, Solifluktion, also Bodenfließen auf gefrorenem Untergrund, oder Nivation, Schurf durch die langsam sich hangabwärts bewegende Schneedecke. Dort wo das Gelände noch durch postglazial vorrückende Gletscher zeitweilig überdeckt war, ist die Bodendecke jünger als der letzte Gletschervorstoß, nur selten hat sie sich seit dem Rückzug der Gletscher des Spätglazials, kontinuierlich bis zur Gegenwart entwickelt und erhalten. Nur wo dies mindestens seit der Spätwärmezeit der Fall war, haben die Böden ihr Klimaxstadium erreichen können. Dies zu beurteilen ist auch deshalb schwierig, weil die zur Entwicklung eines reifen Bodenprofils erforderliche Zeit nicht nur von der Seehöhe abhängt sondern auch vom Relief und der Exposition. Trotzdem kann man sagen, daß die Profilentwicklung der Hochgebirgsböden den Höhenstufen der Vegetation in gewissen Grenzen parallel geht. Über der Grenze des geschlossenen Rasens, in der Polsterpflanzenstufe, die nur noch eine offene Pioniervegetation aufweist, finden sich nur noch alpine Rohböden ohne ausgeprägte Horizontierung. Sie weisen in dem an die Grasheidenstufe anschließenden Bereich eine dünne „Elefantenhaut“ auf, die offenbar aus einem dünnen Algenüberzug besteht und den Boden in beachtlichem Ausmaße gegen Abspülung schützt. Humus ist an ihrer Oberfläche nur unter den Polsterpflanzen in geringem Umfange angereichert. Ihre Besiedlung mit Bodentieren ist gering, Regenwürmer fehlen in ihnen, wie mir erst kürzlich A. Zicsi bestätigt hat, vollkommen. Eine biologische Bodendurchmischung findet nicht statt. Im obersten Bereich der alpinen Grasheidenstufe, die an warmen SW-Hängen in den Hohen Tauern über 2500 m Höhe emporreicht, sind vielfach nur AC-Böden vorhanden, das heißt, es liegt ein oft nur wenige Zentimeter mächtiger humoser Mineralbodenhorizont über höchstens physikalisch verwittertem Muttergestein. Hangabwärts gehen diese AC-Böden, auf Silikatgesteinen handelt es sich um alpine Ranker, zumeist in alpine Rasenbraunerden mit einem A-B-C-Profil über, das heißt, der humose Mineralbodenhorizont wird durch einen wenige Zentimeter bis einige Dezimeter mächtigen braunen Verwitterungshorizont unterlagert. An genügend geneigten Hängen, die von der Sonne bestrahlt werden und mehr oder weniger starker Solifluktion ausgesetzt sind, treten Profilüberlappungen auf, die zu stockwerkartiger Überlagerung mit ein bis zwei fossilen A-Horizonten führen. Vor allem an kühlen Nordhängen und auf sauren Gesteinen kann die Entwicklung aber auch vom Ranker unmittelbar zum Podsol führen, wobei schon die Ranker durch blanke Quarzkörner und eine sehr saure Reaktion die podsolige Dynamik erkennen lassen. Die Podsole unter alpiner

Grasheide haben oft nur eine Mächtigkeit von kaum einem Dezimeter, es sind Zwergpodsole, die den Nanopodsolen der skandinavischen Fjelde sehr ähnlich sind. Schon in der Zwergstrauchstufe, die weithin die höchste postglaziale Lage der Waldgrenze anzeigt, treten die Podsole neben Braunerden mit Einlagerung von Holzkohlen, die frühere Waldbrände bezeugen.

Ab der oberen Rasengrenze sind die Böden von Regenwürmern besiedelt, zunächst allerdings nur spärlich und von kleinen Individuen mit relativ geringer Leistung bei der Bodendurchmischung. Auch die übrige Bodenfauna wird arten- und individuenreicher. Es war für uns sehr überraschend festzustellen, daß der Individuenbesatz zumindest bei gewissen Tiergruppen selbst im niederschlagsreichen Hochgebirgsklima mehr von der Bodenfeuchtigkeit als von der Bodenwärme abhängt. Für die Enchytraeiden, die in der Dynamik der Hochgebirgsböden eine große Rolle spielen, hat dies kürzlich NURMINEN im Glocknergebiet eindeutig festgestellt. Wenn man beobachtet hat, in welchem Ausmaße die Böden unter alpinen Grasheiden in trockenen Sommern austrocknen können, wird dies allerdings verständlich. Trotzdem gibt es auch in der hochalpinen Grasheidenstufe ausgeprägt wärmebedürftige Bodentiere. Zu ihnen gehören die Ameisen, die nur wenig über die alpine Zwergstrauchstufe nach oben vordringen. Wo sie vorkommen, finden sich meist zahlreiche Kolonien, die nicht zu übersehen sind, so daß sich die Obergrenze der Ameisenverbreitung leicht kartieren läßt. Ökologisch spielen sie in den Bodenbiozösen eine große, um nicht zu sagen, dominierende Rolle. Ich habe deshalb (FRANZ 1943), als ich im Glocknergebiet die Bodenfauna erforschte, im Pasterzenvorfeld die Ameisengrenze kartiert. Sie reichte an den Südwesthängen im Jahr 1937 bis über 2300 m Höhe empor, an den Nordosthängen am orographisch rechten Möllufer dagegen kaum bis 2000 m. Die Hänge beiderseits der Pasterze waren vom Freiwanddeck aufwärts nicht von Ameisen besiedelt. Als ich dann einige Jahre später die obere Ameisengrenze neuerlich kartierte, stellte ich fest, daß sie stellenweise um mehr als 100 m in die Höhe gerückt war, bei einer dritten Aufnahme nach dem 2. Weltkrieg war sie aber weiter abgesenkt als bei der 1. Kartierung. Es unterliegt keinem Zweifel, daß sie in Abhängigkeit vom Witterungscharakter der einzelnen Jahre ständig schwankt und das ist leicht verständlich, wenn man bedenkt, daß befruchtete Ameisenweibchen hoch über die Obergrenze der Ameisenkolonien emporfliegen, so daß man sie häufig auf Gletschern und Schneefeldern findet. Ist der Witterungsverlauf im Sommer günstig, so kommt es zur Eiablage und Koloniengründung, ist der Sommer kalt, sterben die Tiere vor der Eiablage ab oder die Eier kommen nicht zur Entwicklung. In ähnlicher Weise schwankt auch die Obergrenze der Verbreitung eines heliophilen Ohrwurms, *Anechura bipunctata*, der nur auf der Südseite der Hohen Tauern an besonnten Hängen vorkommt und dort etwa ebenso hoch emporsteigt, wie die Ameisen. Die angeführten Beispiele zeigen, daß an der oberen Verbreitungsgrenze expansiver Arten ein ständiger Kampf um neuen Lebensraum stattfindet, dem die extremen Umweltbedingungen immer wieder Einhalt gebieten. Das gilt in gleicher Weise für die Pflanzen, etwa für die Baumarten, die bis zur Baumgrenze vorstoßen, und für den geschlossenen Rasen an der oberen Rasengrenze. Viele Organismen des hochalpinen Areals sind allerdings gegenwärtig nicht expansiv, ihre Areale sind räumlich beschränkt, sie haben Reliktcharakter. So reichen viele hochalpine Arten nicht in den Zwergstrauchgürtel herab oder wenn, dann nur auf Felsrippen, die nie einen geschlossenen Baum- oder Strauchbestand tragen konnten. An solchen seit der waldlosen Zeit des Hochglazials aus edaphischen Grün-

den waldfreien Standorten steigen einige von ihnen aber tief unter die Waldgrenze herab, und finden sich dort auf eng begrenztem Raum noch in tiefen Lagen, einige noch auf den Felsen der Weizklamm östlich von Graz in nur 450 m Seehöhe (Franz 1951).

Im Vergleich mit den migratorischen Tier- und Pflanzenarten, die jede kleine Klimaschwankung anzeigen, vollzieht sich die Anpassung der Böden langsam. Trotzdem unterliegen auch sie dem Einfluß des sich ständig wandelndem Klimas, in dem die Bodendecke in ungünstigen Klimaperioden fortschreitender Erosion unterliegt, in einer längeren Folge günstiger Jahre aber wieder zur Ausdehnung auf vorher dem Abtrag unterlegene Stellen tendiert.

Es bleibt mir nur wenig Zeit, um noch auf die Hochgebirgsböden in anderen Erdteilen einzugehen und ich möchte mich deshalb auf einige besonders markante Erscheinungen beschränken.

Eine von diesen ist das Auftreten von Trockenwüsten in den Hochgebirgen der Trockenzone der Erde. Hier treten Hochgebirgswüstenböden auf, die stellenweise, wie im Norte Grande Chiles, ohne Unterbrechung in die Trockenwüstenböden der Atacamawüste übergehen. Auch dort wo sie eine schütterere Vegetation tragen, wie die Horstgrasbestände des Pajonal oder die Zwergstrauchflächen des Tolar, ist die Bodendynamik nahezu ausschließlich auf physikalische Verwitterung und Materialverlagerung durch Wind beschränkt. Der in kurzen Perioden des Jahres fallende Schnee verdunstet, ohne den Boden zu befeuchten, das Bodenleben ist äußerst dürftig.

Nur die großen, steinharten *Azorella*-Polster, es handelt sich um eine an die extremen Umweltbedingungen hoch angepaßte Umbellifere, zeigen frisches Grün und stehen zu ihrer Umgebung in auffälligem Kontrast. Unter ihnen kann sich ein wenig Humus ansammeln und etwas Feuchtigkeit halten. In dieser Nische leben, offensichtlich als Relikte einer feuchteren Klimaperiode, einige hochalpine Bodentiere. Man findet auf nahe benachbarten Bergen vikariierende Arten, was für eine lange andauerne Isolierung spricht.

Auch an den trockenen Westflanken der ostafrikanischen Hochgebirgsvulkane finden sich ähnliche Hochwüsten. Zwischen sie und die trockenen Savannen des ostafrikanischen Hochlandes schiebt sich aber eine feuchte Zone mit Nebelwäldern und über diesen in 3000 bis 3500 m einer „Paramo-Zone“ mit den Riesen-Senecien und nach unten anschließend einem Ericaceengürtel an. Die Zone ist durch mächtige schwarze Böden ausgezeichnet, die sich aus vulkanischer Asche gebildet haben und ein reiches Bodenleben aufweisen. Sie besitzen am Kilimanjaro eine Mächtigkeit von über 50 cm und werden von den dort endemischen Blindratten der Gattung *Tachyoryctes* durchwühlt. Ich war sehr beeindruckt als ich in diesem Jahre in den Hochanden Ecuadors in 3500 bis über 4000 m ähnliche schwarze Böden, aber in bedeutend größerer Mächtigkeit vorfand. Der stellenweise über 2 m messende humose Mineralboden ist auch hier intensiv schwarz gefärbt und liegt auf einem hellen, lößartigen Feinsediment, das kein Grobskelett enthält. Diese schwarzen Böden sind Tschernosemen im Profilaufbau sehr ähnlich, finden sich nur oberhalb der Baumgrenze und gehen nach oben an der Grenze der geschlossenen Vegetation in Rohböden über.

Sie entstehen in einem Klima, das von dem der gemäßigten Breiten sehr verschieden ist. Die tropischen Hochgebirge kennen, wie C. TROLL immer wieder betont hat, keine so ausgeprägte Jahreszeitenperiodizität wie die gemäßigten Breiten. Die Temperaturgegensätze zwischen Winter und Sommer sind in Äquatornähe gering, an ihre Stelle tritt eine sehr ausgeprägte Tagesperiodizität. Tagsüber wird es unter dem

Einfluß der intensiven Strahlung der Tropensonne sehr heiß, in der Nacht aber unter dem Einfluß der in großen Höhen sehr starken Ausstrahlung sehr kalt. Besonderes groß sind die Temperaturgegensätze auf den Hochplateaus am Rande der Tropen. Hier kann sich die Luft vor oder nach der Regenzeit auf 30°C und darüber erhitzen, bei Nacht sinkt sie dann auf - 10°C und noch tiefer ab. So entstehen Tagesschwankungen der Temperatur von mehr als 40°. Am Kilimanjaro hatten wir im Zeltlager in 3100 m in der Zone der schwarzen Böden jeden Morgen Frost. HEDBERG (1957) hat das Temperaturklima der tropischen Hochgebirge treffend mit den Worten charakterisiert „Winter every night and summer every day“. Große tägliche Temperaturkontraste sind aber auch für die Wüsten und Steppen kennzeichnend, so gesehen ist das Milieu in dem die tiefgründigen schwarzen Böden in den tropischen Hochgebirgen entstanden sind, von dem, das zur Bildung von Tschernosemen führt, doch nicht so verschieden.

## LITERATUR

- FRANZ, H. (1943): Die Landtierwelt der mittleren Hohen Tauern. *Denkschr. Akad. Wiss. Wien* 107: 1-552, 10 Karten, 12 Tafeln
- FRANZ, H. (1951): Der „hochalpine“ Charakter der Felsenheidenfauna in den Ostalpen. *Biol. Gen.* 19: 299-311
- FRANZ, H. (1960): *Feldbodenkunde*. Wien, G. Fromme
- FRIEDEL, H. (1936): Ein bodenkundlicher Ausflug in die Sandsteppe der Gamsgrube. *Mitt. D. Ö. Alpenverein* 9: 220-222
- HEDBERG, O. (1957): Afro-Alpine Vascular Plants. *Symb. bot. Upsal.* 15 (1): 1-411
- KUBIENA, W. (1950): *Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas*. Stuttgart, Ferd. Enke
- SOLAR, F. (1960): Zur Kenntnis der Böden auf dem Raxplateau. *Mitt. österr. bodenk. Ges.* 8: 1-72.
- TROLL, C. (1941): Studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge der Erde. *Bonner Mitt.* 21.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Ing. H. FRANZ, Institut für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur, A-1180 Wien XVIII, Gregor-Mendel Str. 33.