

Beiträge in: Erdkunde, H. 2/1964 (Report on the Symposium of the Karst Commission of the IGU)  
 HERNANDEZ-PACHECO u. a. (1957): El cuaternario de la region cantábrica. Exkursionsführer Nr. 2, INQUA Madrid-Barcelona 1957.  
 LLOPIS-LLADO, N (1957): La plataforma costera de la costa asturiana... INQUA 1957, Res. des Communications, S. 112.

LAUTENSACH, H. (1951): Die Niederschlagshöhen auf der Iberischen Halbinsel, Pet. Mitt., 95. Jg., S. 145—160, Karten.  
 LAUTENSACH, H., u. MAYER, E. (1960): Humidität und Aridität insbesondere auf der Iberischen Halbinsel, Pet. Mitt. 104. Jg., S. 249—270, Karten und Diagramme.  
 MENSCHING, H. (1961): Die Rias der galicisch-asturischen Küste Spaniens. Erdkunde, H. 3, S. 210—224.

## BEOBACHTUNGEN UND GEDANKEN ZU GEOMORPHOLOGISCHEN KONVERGENZEN IN POLAR- UND WÄRMEWÜSTEN

Mit 1 Abb. und 6 Bildern

WOLFGANG MECKELEIN

*Summary: Observations and reflexions on geomorphological convergences (similarities) in polar and hot desserts.*

The paper reports and evaluates observations from Western Spitsbergen in relation to the structure of the polar Hammada, rock weathering, foliation and formation of salt crusts, the role played by fine grain material and relative stability of geomorphological features. These convergences (similarities) of minor landforms and geomorphological processes are not simply the outcome of comparable conditions of aridity. Similarities of forms are not necessarily brought about by identical causes. It can be shown that in the complex of geomorphologically effective climatic elements some factors are interchangeable without influencing the final geomorphological outcome. Especially in denudation processes climate frequently acts merely indirectly. It gives rise to certain soil characteristics which in turn influence the type of denudation. The effect of fluvial processes always exceeds that of wind; this is so in polar desserts as well as in the desserts and extreme desserts of the global dry belt. For a true appreciation of interrelationships between climate and landforms detailed micro-geomorphological and micro-climatic investigations play an important role.

### I. Problemstellung

Geomorphologische Konvergenzerscheinungen in Wärme- und Kältewüsten sind nicht unbekannt. Aus den letzteren sind solche Analogien von verschiedener Seite (Auswahl im Lit.-Verzeichnis) und besonders für hochpolare Gebiete beschrieben worden. Die möglichen Ursachen für diese Phänomene hat u. a. MORTENSEN (1930) diskutiert. Er betrachtete dabei im wesentlichen die Ähnlichkeiten in der Formungstendenz und glaubte, daß gewisse vergleichbare Verhältnisse z. B. durch die spezifischen Abflußbedingungen in den beiden Zonen gegeben seien. Damit trat der klimageomorphologische Gesichtspunkt stärker hervor, der heute dazu geführt hat, auf Grund bestimmter Merkmale auch im polaren Bereich von ariden Klimaten — wenn auch in gewisser Sonderstellung — zu sprechen (vgl. etwa TROLL 1953, S. 11). Für die subpolaren Schneegrenzkimate schließt man eine solche Zuordnung verständlicherweise im allgemeinen aus.

Es ist klimageomorphologisch sehr verlockend, zwischen ganz verschiedenen Zonen über den Faktor Aridität Zusammenhänge zu suchen, zumal damit Parallelerscheinungen im Formenschatz und im Formungsstil recht einleuchtend werden. Wie problematisch das aber ist, wurde auf einer Fahrt nach Westspitzbergen im Sommer 1960 deutlich. Ich konnte dort — in einem subpolar-ozeanischen Gebiet — verschiedene unerwartete Beobachtungen über Konvergenzen geomorphologischer Vorgänge und Kleinformen im Vergleich zur planetarischen Wüstenzone machen. Sie wiesen erneut darauf hin, daß die Zusammenhänge zwischen Klima und Oberflächenformung keineswegs so eindeutig sind, wie es manchmal scheinen mag. Dabei steht die Frage, welche Klimaelemente oder welche Kombinationen entscheidend sind und auf welchem Weg (oder Umweg) sie einwirken, im Vordergrund. Als ein Beitrag zur Beantwortung dieser Frage möchten die folgenden Ausführungen aufgefaßt sein. Für die Auswertung der Beobachtungen wurden die Ergebnisse von Labor-Untersuchungen an mitgebrachten Boden- und Gesteinsproben ebenso herangezogen wie Vergleiche mit den aus der Sahara (1954/55) und jüngst (1964) durch Beobachtungen in der Libyschen und Arabischen Wüste Ägyptens sowie im Negev gewonnenen Erfahrungen.

### II. Die Beobachtungen und Untersuchungen

Bei den Beobachtungen in Westspitzbergen fielen zunächst die polaren Hammadas (Felswüsten) auf, die im Gebiet nördlich des Tempelfjords bei Bjonahamna, östlich des Billefjords bei Ansorvika und Ekholmavika sowie im Raum des Kongsfjords bei Ny-Ålesund und auf Blomstrandhalvöya näher untersucht wurden (zu allen Ortsangaben vgl. Abb. 1). Wie in der Sahara finden sie sich stets in Abtragungsgebieten und bilden sich in den verschiedensten Gesteinen aus (in der Reihenfolge der untersuchten Gebiete: oberkar-

bone Kalke, Basalte, unterkarbone Sandsteine, altpaläozoische Kalksteine und Dolomite). Außerlich unterscheidet sich eine solche Hammada kaum von einer solchen im Trockengürtel. Vegetationslosigkeit verbindet sich mit einem groben Steinpflaster, das aus scharfkantigem Gesteinsschutt als Ergebnis der Verwitterung in situ besteht. Ebenso typisch ist der Mangel bzw. das Zurücktreten von Feinmaterial. Erstaunlicherweise war es auch hier wie in vollarden Wüsten zumeist etwas in sich verfestigt oder verkrustet. In den Randzonen der Hammadaflächen, z. B. in der Basalthammada bei Ansorvika, ließ sich wie in der Sahara und im Negev stets ein Übergang in eine ausgesprochene „rauhe“ Hammada feststellen. Es tritt also auch hier die Abtragungsbelebung infolge Exposition — hier Steilabfall zu tiefer gelegenen Strandterrassen — auf (vgl. MECKELEIN 1959, S. 46). (vgl. Bild 1 und 2).

Die Beobachtungen zur Gesteinsverwitterung selbst zeigten, daß nicht nur die

bei der Hammadabildung typische Zerlegung durch Sprünge oder Risse, bei homogenem Material in häufig ziemlich gleich große, längsparallele Gesteinsscherben, auftritt. Große Gesteinsblöcke, aus dem Anstehenden herausragend oder hangabwärts gestürzt, wiesen eine Art Abgrusung auf, wie sie bei vergleichbaren Objekten in den Wärmewüsten typisch sind. Auch bleibt der Feinschutt in beiden Fällen am Fuße des Blockes liegen (vgl. Bild 3 und 4). Im übrigen zeigte die Oberfläche der Gesteine, soweit es sich um Kalke handelt — wie etwa bei der Hammada auf Blomstrandhalvöya — stets deutliche Verwitterungsspuren in Form von kleinen und kleinsten Lösungspfannen und Rillen, den in Kalkhammadas des Trockengürtels zu beobachtenden Taurillen etc. absolut vergleichbar.

Besonderes Interesse beanspruchen weiterhin die häufigen Rindbildungen an Gesteinen. Einmal sind sie im Vorfeld der Gletscher zu finden, wie man dies ja auch z. B. in den Alpen kennt. Besonders gut konnten diese Erscheinungen im Vorfeld des Penckgletschers im Gebiet südlich des Van Keulenfjords beobachtet werden. Sie betreffen kleinere Steine ebenso wie große Blöcke in den Stirn- und Seitenmoränen. Es handelt sich um dünne Überzüge (bis zu 1 mm Stärke) an den der Luft ausgesetzten Gesteinsoberflächen. Oft sind es nur entgegen der Farbe des frisch angeschlagenen Gesteins braungelbliche, braune bis rotbraune Oberflächenverfärbungen. Im Gegensatz dazu fanden sich echte Gesteinsrinden aber auch abseits der heutigen Gletscher in den nicht vereisten Teilen Westspitzbergens. Nähere Untersuchungen dazu wurden auf Bröggerhalvöya südlich des Kongsfjords im Raum Ny-Ålesund gemacht. Hier steht eisenreicher Kulm-Sandstein an, dessen Schichten treppenförmig nach Osten heraustreten. Aus dem Anstehenden herausgeschlagene Stücke zeigten eine 0,5 bis 1,5 cm dicke braune bis dunkelbraune, nicht glänzende Rinde. Sie war gegen das weißliche Innere deutlich abgesetzt, wies aber gleichzeitig einen Übergang der Verfärbungsintensität von innen nach außen auf. Die Rindenbildung zog sich auch entlang breiterer Klüfte in die Gesteinsschichten hinein. Die mineralogische Analyse ergab, daß es sich hier um einen Sandstein mit Pyrit handelt. Die inneren Gesteinspartien zeigten Verarmung, die Oberfläche hingegen Anreicherung. Hier war der Pyrit zu Brauneisenstein umgewandelt<sup>1)</sup>. Es dürfte daher eine Lösungswanderung von innen nach außen stattgefunden haben, wie sie in großem Maßstab z. B. bei den Sandsteinen der Nubischen Serie (jungpaläozoisch bis mitt-

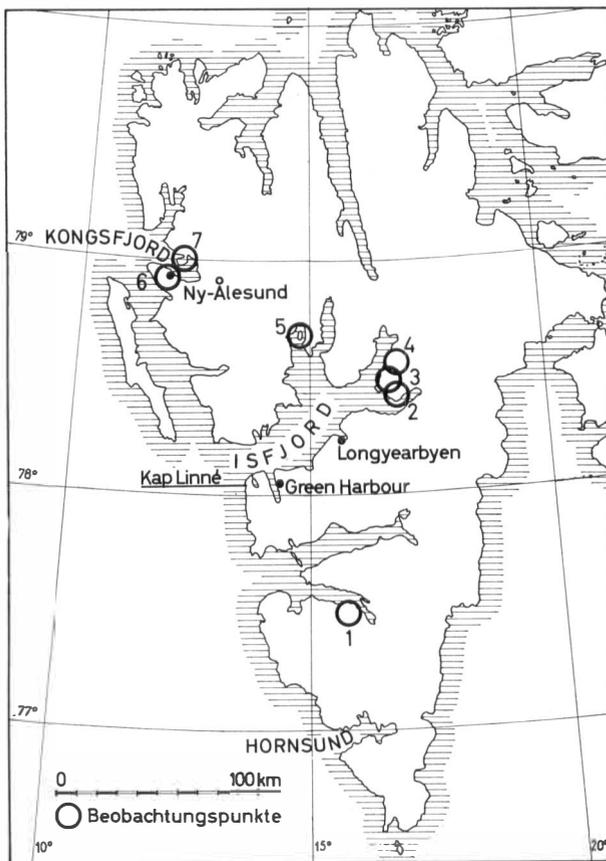


Abb. 1: Westspitzbergen

Nummern der Beobachtungspunkte: 1 Umgebung des Penckgletschers am Van Keulenfjord — 2 Bjonahamna und Tempelberggebiet (am Tempelfjord) — 3 Ansorvika (Billefjord) — 4 Ekholmvik (Billefjord) — 5 Choraholmen (Ekmanfjord) — 6 Bröggerhalvöya und Ny-Ålesund (am Kongsfjord) — 7 Blomstrandhalvöya (Kongsfjord).

<sup>1)</sup> Die Untersuchungsergebnisse verdanke ich dem Institut für Mineralogie und Kristallchemie der Technischen Hochschule Stuttgart (Herrn Prof. Dr. J. E. HILLER und Herrn Doz. Dr. K. WALENTA).



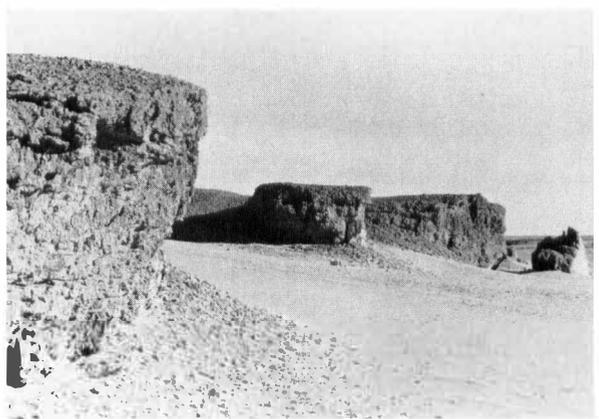
1



2



3



4



5



6

*Bild 1:* Basalt-Hammada bei Ansorvika (Billefjord, zentrales Westspitzbergen).

*Bild 2:* Basalt-Hammada des Djebel es-Soda (Nordsahara).

*Bild 3:* Abgrusungserscheinungen an oberkarbonem Kalksteinblock (Westspitzbergen).

*Bild 4:* Abgrusung an tertiärem Kalkstein in Wadi Nähe Umm el-Araneb/El-Bder (zentrale Sahara).

*Bild 5:* Salzausblühungen auf Feinerdematerial (mit Solifluktionerscheinungen) im Vorfeld des Penckgletschers (am Van Keulenfjord, südliches Westspitzbergen). Länge des Maßstabes im Vordergrund 1 m.

*Bild 6:* Sprungspuren herabgestürzter Blöcke auf gehobener Strandterrasse unterhalb der Südwand des Tempelberges (Bjonahamna, zentrales Westspitzbergen). Blick vom Schuttkegel an der unteren Partie der Felswand abwärts.

leres Mesozoikum) im Innern der Sahara festzustellen ist.

In den Bereich dieser Lösungswanderung gehören nun weitere Beobachtungen über Krustenbildungen in Westspitzbergen. Im alten, etwas abseits vom heutigen Gletscherrande liegenden Moränenschutt des Penckgletschers waren größere Feinerdeflächen zu bemerken, z. T. gemustert oder mit Solifluktionsspuren, die von einer dünnen, weißlichen Kruste überzogen waren (s. Bild 5). Eine Analyse der mitgebrachten Bodenproben ergab einen hohen Anteil an löslichen Salzen, besonders Gips, Magnesiumsulfat und Natriumchlorid<sup>2)</sup>. Auf gehobenen Strandterrassen an der Nordküste des Tempelfjords sind weiterhin ausgesprochene Gipskrusten an verschiedenen Stellen verbreitet, desgleichen solche bei Ekholmviķa an der Ostküste des Billefjords. Die Mächtigkeit der Krusten schwankt zwischen 2 und 5 cm. Die Struktur ist unterschiedlich. Teilweise ist sie laminar und dicht, d. h. es sind sehr feste Bildungen, die auch eine relativ geschlossene Oberfläche haben; teilweise ist aber ebenso ein zelliger, lockerer Aufbau charakteristisch, und die Oberfläche ist dann ganz unregelmäßig und von einer Vielzahl kleiner Unebenheiten in Form von kugeligen bis stengeligen Gips- und z. T. auch anderen Salzabscheidungen durchsetzt. Die Herkunft der Salze läßt sich — wenigstens für die beiden letztgenannten Gebiete — aus dem Vorkommen von Anhydrit- und Gipslagen in der oberkarbonen Schichtserie der Umgebung erklären. Die Bildung von Krusten muß jedoch ein klimatisch bedingter Vorgang sein.

Bei der Untersuchung der Böden im Gelände wie bei den späteren Laboranalysen fiel die Häufigkeit sehr feinkörnigen Bodenmaterials auf. In vielen Fällen waren überwiegend die Korngrößenfraktionen Feinsand, besonders aber Schluff und Ton vertreten. Das Material ist teilweise an der Oberfläche, z. T. aber auch nur im Unterboden<sup>3)</sup> auf Ebenen, an sanften Hangfußpartien und in flachen Becken mit von wenigen Zentimetern bis maximal ca. 50 cm wechselnder Mächtigkeit verbreitet. Manchmal konnte man eine feine Schichtung erkennen. Meist tritt es — bei den gegebenen Feuchtigkeitsverhältnissen — in tonig-plastischer Konsistenz auf, wo der Boden aber trocken war, in krümeliger Form und staubt bei mechanischer Berührung auf. Das erinnert stark an die Staubböden in der Sahara, zumal das Auftreten auch unter der Bodenoberfläche. Es kann sich also hier wie dort nicht um Material äolischer Herkunft

handeln. Zur gleichen Auffassung kam übrigens auch HERZ (1964, S. 46) bei seinen jüngsten Untersuchungen im Kongsfjord-Gebiet Westspitzbergens.

Schließlich sei noch auf das Faktum erstaunlicher, relativer Formenruhe auf bestimmten, auch äußerlich den heißen und trockenen Wüsten sehr ähnlichen Standorten hingewiesen. Freilich sind diese Räume begrenzt. Das beste Beispiel bieten wohl die großen Schutt- und Schotterflächen (gehobene Strandterrassen) von Bjonahamna am Tempelfjord. Hier liegen auf der der Wand des Tempelberges zugewandten Seite große Steinblöcke, die von dort abgestürzt sind. Die Phänomene sind schon unter anderer Fragestellung beschrieben worden (RAPP 1960; TIDTEN 1962). Hier interessiert, daß die Absturz- und Sprungspuren noch sehr deutlich zu verfolgen und so gut erhalten sind, daß sie ganz frisch wirken (s. Bild 6). Dabei müssen die Vorgänge — nachweisbar an älteren Photographien (vgl. RAPP 1960, S. 75 und Bildanhang) — mindestens bis in die Zeit von 1924 bis 1936 zurückdatiert werden. — Übrigens ist auch sonst den in Spitzbergen schon länger arbeitenden Wissenschaftlern wohlbekannt, daß man an den verschiedensten Stellen noch nach einem Jahrzehnt und mehr recht gut z. B. die Löcher einst aufgestellter Vermessungsgeräte (und manchmal sogar Tritts Spuren) früherer Expeditionen erkennen kann<sup>4)</sup>. Alle diese Tatsachen sprechen für eine ungewöhnliche Erhaltungstendenz von Formen, wie sie in gleicher Weise von mir in Südlibyen beobachtet wurde, als z. B. die Autosspuren der Expedition des Majors TORELLI von 1930 entdeckt wurden, die im Gelände eines sandigen Serirs ganz „frisch“ erhalten waren (vgl. MECKE-LEIN 1959, S. 111).

### III. Diskussion der Konvergenzerscheinungen

Dem Versuch der richtigen Einordnung der Beobachtungen wird zunächst eine kurze Betrachtung der klimatischen Verhältnisse in Westspitzbergen vorangehen müssen. Leider sind die bisherigen Kenntnisse im einzelnen durch den Mangel an meteorologischen (Dauer-)Stationen und die meist nur relativ kurzfristigen Beobachtungsreihen recht unvollkommen. Auch heute noch legt man am besten die Werte der ehemaligen Station Green Harbour aus den Jahren 1912—1927 zugrunde, die durch Dauerbeobachtungen und Lage des Ortes aussagekräftiger sind als die von Longyearbyen oder gar Isfjord Radio (auf Kap Linné), ergänzt durch einige Meßreihen jüngerer Expedi-

<sup>2)</sup> Diese und die folgenden Analysenergebnisse verdanke ich Herrn Prof. Dr. R. GANSSSEN und Herrn Dr. MOL, Institut für Bodenkunde der Universität Freiburg/Br.

<sup>3)</sup> Unter „Boden“ werden hier auch Regolithe verstanden.

<sup>4)</sup> Freundliche mündliche Mitteilung von Herrn ROLF W. FEYLINGHANSEN, norwegischer Staatsgeologe, Oslo, 29. 7. 1960.

tionen<sup>5)</sup>. Demnach liegt der Jahresniederschlag — mit einem winterlichen Maximum — bei 300 mm. An der Westküste und besonders im Süden sind die Werte sicher höher, wenn auch wechselnd; die polnische Spitzbergen-Expedition maß im Hornsundgebiet allein im August—September 1957: 268,9 mm, von Juni bis Mitte August 1958: 117,7 mm und 1959 von Ende Juni bis Mitte August sogar 331 mm! Die relative Luftfeuchte weist Monatsmittel mit einer Schwankung zwischen 77,0—83,1 % auf; die mittleren Extreme erreichen 72 % als Minimalwert, 88 % maximal sowohl im Laufe eines Jahres als auch allein in den Sommermonaten. Der Monatsdurchschnitt der Temperatur liegt nur von Juni bis September über 0°C. Wärmster Monat ist der Juli mit 5,4°C Mitteltemperatur (absolutes Extrem 15,8°), kältester der Februar mit —18,6°C (absolutes Extrem im März —49,2°C). Der überall verbreitete Dauerfrostboden von 300 bis maximal 450 m Mächtigkeit taut nur bis höchstens etwa 1—2 m Tiefe auf. 24 Stunden Sonnenscheindauer erstreckt sich auf 127 Tage im Jahr, dazu 126 Tages-Sonnentage und 112 Tage Polarnacht (für 78° nördl. Breite). Die 59 Frostwechseltage (in Bodennähe sicher mehr) entfallen überwiegend auf die Monate Mai—Juni und September. Die täglichen Amplituden sind in diesen Tagen recht gering, höchstens 5,5°C (im Mai). — Insgesamt erscheint nach den bisher bekannten Daten das Klima Westspitzbergens im Vergleich zu dem anderer polarer Gebiete als gemäßigte und relativ feuchte Variante.

Mit diesem Klimabild stehen die geläufigen Vorstellungen über Verwitterung und Abtragung in subnivalen Gebieten im Zusammenhang. Andererseits fügen sich die geschilderten Beobachtungen hier nur schwer oder gar nicht ein. Selbst die Bildungsbedingungen für eine polare *Hammada* erscheinen nicht mehr so eindeutig. 59 Tage mit Frostwechsel sind z. B. gegenüber 120 Tagen auf den Kerguelen (im subantarktischen Schneegrenzklima, s. TROLL 1953, S. 10) recht wenig, zumal der Spaltenfrost im Mai bis Anfang/Mitte Juni an vielen Standorten wegen der noch vorhandenen Schneedecke gar nicht wirksam werden kann. Man könnte dafür auf die lange Sonnenscheindauer während des morphologisch aktiven Teils des Jahres verweisen und eine Mitwirkung der Insolation herausstellen. Die Insolationstheorie selbst ist heute jedoch — zumindest in ihrer bisherigen Form als reine Temperaturverwitterung — nicht mehr haltbar (vgl. WILHELMY 1958, S. 185 ff.). Daher muß man an die Beteiligung gewisser, wohl gleichzeitig physikalisch und chemisch

ablaufender Gesteinsintegrationen denken (Hydratation<sup>6)</sup>). BÜDEL (1960, S. 46—47) erwähnt auch rein chemische Verwitterung auf Grund seiner Untersuchungen in Ostspitzbergen. Während in den warmen Wüsten der Feuchtigkeitsmangel diese Vorgänge verlangsamt, ist es in Spitzbergen der Wärmemangel. Er schließt aber diese Vorgänge hier nicht etwa aus — wie ja auch in den heißen Wüsten nicht die Millimeterzahl des Niederschlags entscheidend ist — zumal nicht die Temperaturen der Luft, sondern die an der Bodenoberfläche hierfür wichtig sind. Diese können bekanntermaßen ziemlich hoch liegen. Am 30. 7. 1960, 16.15 Uhr, maß ich im Rahmen einer morphologischen Temperaturmeßreihe im Moränengelände von Choraholmen als Bodenoberflächentemperatur 19,7°C (Luft 11,1°C), RAPP (1960, S. 20) an Felsoberflächen im Tempelberggebiet sogar 28°C!

Die Hammadisierung von Gesteinsoberflächen ist also jedenfalls für die eine Komponente in warmen und polaren Wüsten im Prinzip gleich. Die andere Komponente — hier Spaltenfrost, dort Salzsprengung — unterscheidet sich wenigstens hinsichtlich ihres Wirkungsmechanismus nicht (Sprengung von Gesteinspartien durch Volumenvergrößerung infiltrierten Materials). Daraus dürfte auch die frappierende Übereinstimmung der Abtragung bei großen Blöcken in der Sahara und Westspitzbergen abzuleiten sein. Einzelheiten der Verwitterung sind auch in anderer Hinsicht noch außerordentlich konvergent. Die gleichen Mikroformen am Gestein von Kalkhammadas in Westspitzbergen fand ich kürzlich in den Kalkhammadas des zentralen Negev wieder. Die Proben sind nur durch die unterschiedliche Gesteinsfarbe auseinanderzuhalten. In den warmen Wüsten handelt es sich um Folgen von Tauwasser oder des seltenen Niederschlags mit der entsprechenden Lösungswirkung bei hohen Temperaturen; in Westspitzbergen fällt diese Rolle den relativ höheren Niederschlägen und dem Schmelzwasser bei vergleichsweise niedrigeren Temperaturen zu. Schließlich kann auch auf andere Erscheinungen wie die sowohl in der planetarischen Trockenzone als auch in der Arktis und Antarktis beobachteten Tafoni-Bildungen (vgl. u. a. WILHELMY 1958) in diesem Zusammenhang hingewiesen werden.

Die Parallelen lassen sich für die *Abtragung* g weiterführen. Das durch die Verwitterung entstehende Feinmaterial wird offensichtlich — wie

<sup>5)</sup> Es wurden die Unterlagen von KNOTHE 1931 (für Green Harbour), RAPP 1960 (Tempelberg-Gebiet) und der *Polish I. G. Y. Spitsbergen Expeditions* in 1957, 1958, and 1959. 1960 (Hornsund) benutzt.

<sup>6)</sup> Für die Wüste im planetarischen Trockengürtel scheint mir dies durch meine Beobachtungen z. B. in der Arabischen Wüste (bei Assuan) bestätigt. Die Verwitterung von Gesteinsblöcken war im allgemeinen nicht auf der südexponierten, sondern auf der Seite einer — aus welchen Gründen auch immer — besonderen Feuchtigkeitsexposition stärker. Das stimmt auch mit den Ergebnissen SCHATTNERS (1961) im Negev überein.

in den warmen Wüsten — mehr durch Wasser als durch Wind abtransportiert. Zwar fehlen in Westspitzbergen Stürme nicht, die gelegentlich Fremdkörper mittragen, doch ist die Luft überwiegend — auch bei heftigen Winden — frei von Sand und Staub. Übrigens lassen ja auch die erwähnten Gesteinsrinden mit ihrer matten Oberfläche ein Polieren durch vom Wind mitgeführte Bestandteile vermissen. Die Ursache liegt in der früher erwähnten relativen Verfestigung des Feinmaterials, die auch HERZ (1964, S. 46) bemerkte. Er erklärt sie aus der durch die Gefrierprozesse erworbenen Festigkeit, die auch im Sommer noch wirksam ist. Vielleicht spielt aber auch eine gewisse Verklebung eine Rolle, womöglich durch Anwesenheit von Salzen gefördert (s. u.), was damit z. B. den in den Sandmeeren der Sahara beobachteten Verhältnissen entsprechen würde. Auf jeden Fall muß die Abtragung weitgehend durch flächenhaft fließendes Wasser bedingt, d. h. eine Abspülung sein. Die randliche Denudations-Verstärkung der Hammada-Flächen, von der oben berichtet wurde, dürfte dies ebenfalls beweisen. Natürlich sind Windverwitterungen nicht ausgeschlossen (vgl. FRISTRUP 1953). Aber man kann einer „Gelideflation“ (TROLL 1948, S. 16) zumindest für Westspitzbergen keine große Rolle zusprechen. Wenn HOINKES über erhebliche Erosionswirkungen des Windes in der Antarktis berichtet, so betrifft dies eine Ausnahme?). Es handelt sich um einen hochpolaren, sturmreichen Raum und zusätzliche Faktoren wie Drift von tiefgefrorenen Schneekristallen, die bei Temperaturen unter  $-40^{\circ}\text{C}$  härter sind als die meisten Gesteine. Moränenschutt im eisfreien Gebiet wird dementsprechend stark angegriffen. Diese „Windverwitterung“ ist aber ein klimageomorphologischer Extremfall und hat auch nicht die Entstehung einer typischen Hammada zur Folge.

Wo also nicht wie auf geneigten Flächen oder Hängen die Solifluktion wirksam wird, sind nicht nur die Bildungsprozesse einer polaren Hammada die gleichen oder durch vergleichbare Vorgänge wie in den Wärmewüsten bestimmt, sondern auch die Abtragungsvorgänge gleich. Alle Prozesse dürften übrigens auch in den polaren Felswüsten recht langsam ablaufen; hier mangelt es zwar nicht an Wasser, aber an Wärme, und vor allem ist die Zeit möglicher geomorphologischer Aktivität auf einen eng begrenzten Teil des Jahres beschränkt. — Der äußeren Formgleichheit entsprechen hier weitgehend gleiche Tendenzen der Formenbildung, trotz erheblicher großklimatischer Unterschiede, trotz Dauerfrostbodens im Untergrund!

Dagegen können R i n d e n b i l d u n g an Gesteinen und S a l z k r u s t e n - Ausscheidungen

?) Nach einem Vortrag in Obergurgl am 28. 8. 1961; vgl. auch HOINKES 1961, S. 365.

nur auf einen in warmen wie kalten Gebieten wenigstens mikroklimatisch gleichsinnig wirkenden Faktor zurückgeführt werden: die Verdunstung. Ihre Rolle wurde bisher mangels Beobachtungen und mangels Evaporationsmessungen für Westspitzbergen und vergleichbare Gebiete übersehen. Es scheint das Klima ja auch, zumindest für die geomorphologisch relevante Sommerzeit, eher durch Feuchteüberschuß gekennzeichnet zu sein. Nur im Herbst kommt es auf Westspitzbergen nach Beendigung der Abschmelzvorgänge an den Gletschern zu erheblicher, jedenfalls hydrographischer Trockenheit (die für die Wasserversorgung der in Spitzbergen tätigen Menschen und den Kohlenbergbau große Schwierigkeiten bereitet). Die Verhältnisse lassen sich besser verstehen, wenn man von der Verbreitung der Rinden und Krusten ausgeht: Alle Fundorte liegen in oder am Rande großer, nach dem Nordquadranten gerichteter Talungen bzw. Fjorde. Solche sind aber die bevorzugten Plätze für das Auftreten von Föhn bzw. föhnartigen Lokalwinden (REMPPE-WAGNER 1917; ROSSMANN 1950). Eigentlich ist es eine Art ständig wehender Berg- oder Landwind, da es während der Zeit der Mitternachtssonne nicht zum sonst üblichen täglichen Wechsel (Talwind) kommt. Die nachgewiesenermaßen z. B. im Kongsfjord lebhaft und mit großer Regelmäßigkeit wehenden Winde werden seltener durch aus höheren Lagen feucht-labil absteigende Strömungen verursacht als durch trockenlabiles Absinken (ROSSMANN 1950, S. 259). Heiteres Wetter — mit entsprechend stärkerer Einstrahlung — beträchtliches Absinken der relativen Feuchte (unter 50%) und Temperaturerhöhung (bis  $12^{\circ}\text{C}$ ) sind typisch<sup>8)</sup>. Dadurch wird die Verdunstungspotenz stark vergrößert, wenn sie auch nie die Werte wie in heißen Wüsten erreichen kann. Daß es dennoch zu so gut ausgebildeten Gesteinsrinden und zur Abscheidung von Salz- und Gipskrusten kommen kann, wird eher mit dem höheren Grade der Gesteins- und Bodendurchfeuchtung sowie mit dem häufigen Wechsel des Oberflächenfeuchtigkeitsaustausches zusammenhängen.

Eine andere Frage betrifft das Problem der Erhaltung: Bei Gesteinsrinden handelt es sich im allgemeinen um irreversible Ausfällungen. Aber wie steht es mit den Gips- und Kochsalzkrusten? Die ersteren zeigten oberflächliche Verwitterungsspuren, überdauern also zumindest einige Zeit; für die letzteren müßten längere Beobachtungen vorliegen. Da nur sehr dünne Salzüberzüge am Boden festgestellt wurden, bilden sie sich u. U. jedes Jahr neu.

Das Auftreten von Böden mit S t a u b k o r n-

<sup>8)</sup> Die in Klammern gesetzten Zahlen entstammen mangels anderer genauer Angaben Föhnbeobachtungen aus Grönland und wollen nur als Anhalt gewertet sein.

größen (unter 0,2 mm), die — wie erwähnt — nicht äolischer Herkunft sind, ist nicht leicht zu erklären. Zwar wird es sich in vielen Fällen um ein Zusammenschwemmen (Ein- und Unterschwemmung) feinsten Partikel oder auch um Ablagerung aus stehendem Schmelzwasser handeln. Aber wo und wie entsteht dieses Feinstmaterial? Meist neigt man dazu (vgl. TROLL 1944, S. 573 bis 574; 1948, S. 13—14), die Frostsprengung und Frostabsplitterung (Spaltenfrost) als Hauptfaktoren dafür anzunehmen. Vermutlich kommt aber der subglazialen mechanischen Gesteinszerstörung ebenfalls eine große Rolle zu. Andererseits ist eine Verwitterung zu solchen Korngrößen in situ nicht auszuschließen. Auf der Schutt- und Schotterterrasse bei Bjonahamna gab es unter der Oberfläche liegende Feinsterde-Nester auf ganz ebener Fläche und auch ohne Schichtung des Materials. Die Untersuchung der Proben ergab einen nicht unbedeutenden Salzgehalt, der sich an anderen Stellen auch oberflächlich als leichte Salzausblühung zu erkennen gab (z. B. bei Ekholmvíka). Sollten auch hier — wenigstens stellenweise — Salze bei der Verwitterung zu Staubkorngrößen eine Rolle spielen<sup>9)</sup>? In Wärmewüsten ist die Bildung von Staubböden jedenfalls weitgehend mit Salzverwitterung verbunden.

Schließlich sei noch zu der beobachteten Spurenerhaltung kurz Stellung genommen. Sie ist Ausdruck einer relativen *F o r m e n r u h e*, die auch noch an anderen Phänomenen nachgewiesen werden kann. Schon weiter oben wurde z. B. für eine polare Hammada auf die relative Langsamkeit der Verwitterungs- und Abtragungsvorgänge eingegangen. Das gilt sogar für Wandverwitterung und Schutthalden-Aufbau; jedenfalls konnte RAPP (1960) beweisen, daß sich an den großen Felswänden des Tempelberggebiets mit ihren prächtigen Verwitterungserscheinungen und ausgedehnten Schuttkegeln seit 1908 kein nennenswerter Materialtransport und damit Formveränderung ereignet haben. Die rezente Formenentwicklung geht also — wie auch in den Wärmewüsten — hier sehr langsam vor sich. Die Auffassungen von BÜDEL scheinen dem allerdings ganz und gar zu widersprechen. Betont er doch die außerordentliche Abtragsintensität in der subnivalen Frostschuttzone (BÜDEL u. a. 1948; 1962). Eine Einschränkung scheint aber zu genügen; BÜDEL denkt

nämlich in erster Linie an die Wirkungen der Solifluktion. Ihre Wirksamkeit ist an allen schwächer oder stärker geneigten Flächen oder Hängen nicht zu bestreiten, soweit diese einen größeren Anteil an Feinerdebestandteilen mit ihrer großen Frostempfindlichkeit haben. Hier dagegen sind alle Beobachtungen zur Formenruhe in Räumen gemacht worden, die durch den Mangel oder das Fehlen von Feinstmaterial und als relativ trockene Standorte gekennzeichnet sind. Eine solche expositionelle oder materialmäßig bedingte „topographische“ Trockenheit schränkt Massenbewegungen außerordentlich ein.

#### IV. Allgemeine Schlußfolgerungen

Die genauere Untersuchung der in Westspitzbergen beobachteten und mit verschiedenen Formen bzw. Formungsvorgängen in Wärmewüsten vergleichbaren Phänomene hat erneut gezeigt, daß nicht generell von gleichen geomorphologischen Endeffekten auf gleiche klimatische Ursachen geschlossen werden kann. Zwar spielt in Westspitzbergen z. B. eine lokale Aridität eine beträchtliche Rolle (Beispiel: Gesteinsrinden- und Krustenbildungen), doch ist sie in ihrem nur saisonal-periodischen oder gar unperiodischen Auftreten zeitlich beschränkt; in anderen Fällen ist sie sogar nur rein topographisch bedingt (Beispiel: relative Formenruhe). Damit kann die geomorphologische Wirkung dieser zeitlich-räumlich begrenzten Trockenheit nicht der in der planetarischen Wüstenzone entsprechen, weder nach der Intensität noch als stets rein klimatisch bedingte Aridität. Wenn dennoch gleiche Formen und Formbildungsvorgänge auftreten können, so zwingt das zu einer genaueren Analyse dessen, was man z. B. als „Aridität“ ansieht bzw. was als Folgewirkung eben dieser Aridität allein zugeschrieben wird. Geht man von den Beobachtungen aus, kann man nur zu folgendem Ergebnis kommen: Konvergente Formen werden jeweils von einem ganzen Komplex von Klimafaktoren, die die Verwitterungs- und Abtragungsvorgänge steuern, hervorgerufen. Eine gleiche Kombination bestimmender Faktoren kann dabei auch in verschiedenen Klimazonen auftreten, wobei hinsichtlich der geomorphologischen Wirksamkeit höchstens graduelle, d. h. Intensitätsunterschiede festgestellt werden können. Die weiter oben erwähnten Rinden- und Krustenbildungen wären ein Beispiel dafür. Es zeigt sich aber, daß auch eine andere Kombination des klimatischen Steuerungsmechanismus gleichsinnig wirken kann; einzelne Elemente können nämlich ausgetauscht werden, ohne daß sich die geomorphologischen Endeffekte ändern. Als Beispiel hierfür kann die Hammadabildung dienen: Der in den warmen

<sup>9)</sup> Die Frage der Rolle der Salze im periglazialen Klimabereich ist bisher nur wenig untersucht worden. Hier kann noch darauf verwiesen werden, daß die in Westspitzbergen gefundenen Salzausblühungen nicht selten auf Musterböden, besonders Polygon-Wüsten, gefunden wurden. Zusammenhänge mit Bodensortierungen sind daher nicht auszuschließen. So würde auch die Theorie STECHES (Strukturbodenbildung durch vom Frostwechsel verursachte Quellvorgänge im Feinstmaterialboden unter Mitwirkung von Salzen; vgl. TROLL 1944, S. 568) in einem neuen Licht erscheinen.

Trockengebieten wichtige Faktor der Salzsprengung wird in den polaren Wüsten durch den Frostsprengung ersetzt. Für ein passendes Gegenbeispiel könnte man auf die Solifluktionerscheinungen in Wärmewüsten verweisen (vgl. KNETSCH 1954, S. 291—292). Hier wird die Rolle der Temperatur im subpolaren Bereich von der wechselnden Luftfeuchte und ihrer entsprechenden Wirkung auf salzige Feinerdeböden im Trockengürtel übernommen.

Nur in diesem Sinne also entsprechen Formkonvergenzen auch Konvergenzen im Bildungsmechanismus. Dabei ist hier zunächst von der Steuerung der Verwitterungsvorgänge durch das Klima ausgegangen worden. Die klimatische Beeinflussung des geomorphologisch ebenso wichtigen Materialtransports kommt hinzu. Es wurde schon früher darauf hingewiesen (MECKELEIN 1959, S. 140; 1961, S. 6 und 13), daß hierbei das Klima, zumindest in einigen Fällen, nicht direkt, sondern indirekt auf die Formungsprozesse einwirkt. Dazu gehören u. a. klimabedingte Änderungen von Eigenschaften der Bodenoberfläche. Als Beispiel dafür wird noch einmal an die Windwirkung erinnert. Der Bodenzustand kann diese einschränken oder fast ganz aufheben. In den Wärmewüsten ist dafür die Bodenverkrustung bzw. die Staubhaut verantwortlich, hervorgerufen durch den extrem hohen Verdunstungssog, in den Kältewüsten tritt an dessen Stelle die Verfestigung des Feinmaterials durch die Feuchtigkeitsverhältnisse bzw. als Folgewirkung des winterlichen Frostbodens. Entsprechend ist dafür in allen Wüstenräumen der Erde — wie auch in den meisten anderen Landschaftszonen — die relativ stärkere Wirkungsmöglichkeit des fließenden Wassers gegeben. Auch hierbei ist an Zwischenphasen bei der Klimasteuerung gewisser geomorphologischer Sondererscheinungen zu denken. Ein kurzer Hinweis muß hier genügen, da es sich nicht eigentlich um Konvergenzerscheinungen handelt: Man konnte in Westspitzbergen an den verschiedensten Stellen beobachten, daß eine Vorsortierung des Bodenmaterials durch das Spülrinnenetz auf den sanft geneigten Flächen am Fuße der Hänge die Steinringbildung begünstigt. Über diese fluviatile Beeinflussung des Auftretens von Frostbodenphänomenen wird noch an anderer Stelle ausführlicher berichtet werden. Auf jeden Fall erscheint es sehr aussichtsreich, die Versuche zur klimageomorphologischen Zonierung auch einmal unter dem einheitlichen Gesichtspunkt des fluviatilen Abtragungsreliefs durchzuführen, wie es LOUIS (1962) konsequent getan hat.

Im übrigen dürfte auch in diesem Beitrag zu Konvergenzerscheinungen gezeigt worden sein, wie wichtig für die klimageomorphologische Zuordnung die Berücksichtigung mikrogeomorpho-

logischer und mikroklimatischer Untersuchungen ist. Das Klima der bodennahen Luftschicht ist ein ganz entscheidender Faktor für die Oberflächenformung.

### Zusammenfassung

Es werden Beobachtungen und Untersuchungsergebnisse aus Westspitzbergen zur Struktur der polaren Hammada, Gesteinsverwitterung, Rinden- und (Salz-) Krustenbildungen sowie zur Rolle des Feinerdematerials und über eine relative Formenruhe mitgeteilt und diskutiert. Diese Konvergenzen im Kleinformenschatz und in geomorphologischen Vorgängen zu den Wärmewüsten lassen sich nicht ohne weiteres auf vergleichbare Ariditätsverhältnisse zurückführen. Den Konvergenzen im Formenbild liegen nicht unbedingt gleiche Ursachen zugrunde. Man kann zeigen, daß im Komplex der geomorphologisch wirksamen Klimatelemente einzelne Faktoren austauschbar sind, ohne daß sich der formenmäßige Endeffekt ändert. Dabei wirkt das Klima vor allem bei den Abtragungsprozessen oft über einen Umweg ein. Es ruft zunächst bestimmte Bodeneigenschaften hervor, die nun ihrerseits die Abtragung beeinflussen. Die fluviatile Wirksamkeit ist auch in Polarwüsten wie in den Voll- und Extremwüsten des planetarischen Trockengürtels gegenüber der Windwirkung relativ größer. Für die Erkenntnis der Zusammenhänge von Klima und Oberflächenform kommt der mikrogeomorphologischen und mikroklimatischen Detailuntersuchung daher eine große Bedeutung zu.

### Literaturverzeichnis

- BÜDEL, J.: Die klima-morphologischen Zonen der Polarländer. *Erdkunde*, Bd. II, 1948, S. 22—53.  
 BÜDEL, J.: Die Frostschutt-Zone Südost-Spitzbergens. *Colloquium Geographicum*, Bd. 6, Bonn 1960, 105 S.  
 BÜDEL, J.: Die Abtragungsvorgänge auf Spitzbergen im Umkreis der Barentsinsel auf Grund der Stauerland-Expedition 1959/60. In: *Dt. Geogr. Tag Köln, Tagungsber. und wiss. Abh.*, Wiesbaden 1962, S. 337—375.  
 FRISTRUP, B.: Winderosion within the Arctic deserts. *Geografisk Tidsskrift*, Bd. 52, 1953, S. 51—65.  
 HERZ, K.: Ergebnisse mikromorphologischer Untersuchungen im Kingsbay-Gebiet (Westspitzbergen). *Pet. Geogr. Mitt.*, 108. Jg., 1964, S. 45—53.  
 HOINKES, H.: Die Antarktis und die geophysikalische Erforschung der Erde. *Die Nat.-Wiss.*, 48. Jg., 1961, S. 354—374.  
 KNETSCH, G.: Allgemein-geologische Beobachtungen aus Ägypten (1951—1953). *Neues Jb. Geol. u. Paläontol.*, Abh., Bd. 99, 1954, S. 287—297.  
 KNOTHE, H.: Spitzbergen. Eine landeskundliche Studie. *Erg.-H. Nr. 211 von Pet. Mitt.*, Gotha 1931, 109 S.  
 LOUIS, H.: Allgemeine Geomorphologie. *Lehrb. d. Allgem. Geogr.*, Bd. I, 2. A., Berlin 1961, 354 S.  
 MECKELEIN, W.: Forschungen in der zentralen Sahara. I Klimageomorphologie. Braunschweig 1959, 181 S.  
 MECKELEIN, W.: About the Problem of the Climatic Geomorphological Structure of the Desert. *Sonderdruck Geogr. Inst. TH Stuttgart*, 1961, 15 S.

- MORTENSEN, H.: Einige Oberflächenformen in Chile und auf Spitzbergen im Rahmen einer vergleichenden Morphologie der Klimazonen. In: Hermann-Wagner-Gedächtnisschrift, Erg.-H. Nr. 209 von Pet. Mitt., Gotha 1930, S. 147—156.
- Polish I. G. Y. *Spitsbergen Expeditions* in 1957, 1958, and 1959. Nauka o Ziemi, I, Sonderheft, Warschau 1960, 31 S.
- RAPP, A.: Talus slopes and mountain walls at Tempelfjorden, Spitsbergen. Norsk polarinst. skrifter, Nr. 119, Oslo 1960, 96 S.
- REMPP, G. und WAGNER, A.: Die Hydrodynamik des Föhns und die „lokalen Winde“ in Spitzbergen. Veröff. d. Dt. Observatoriums Ebeltothafen-Spitzbergen, H. 7, Braunschweig 1917, 12 S.
- ROSSMANN, F.: Über den Föhn auf Spitzbergen und Grönland. Z. f. Meteorologie, Bd. 4, 1950, S. 257—262.
- SCHATTNER, I.: Weathering Phenomena in the Crystalline of the Sinai in the Light of Current Notions. The Bull. of the Research Council of Israel, Bd. 10 G, 1961, S. 247—266.
- Spitsbergen. Internat. Geogr. Congress, Norden 1960, Guidebook*, o. O. 1960, 22 S.
- TIBTEN, G.: Ungewöhnliche Steinblock-Migrationen unter besonderen Bedingungen bei Bjönahamn, Eisfjord, Spitzbergen. Polarforschung, Bd. V, Jg. 32, 1962, S. 155—158.
- TROLL, C.: Strukturböden, Solifluktion und Frostklimat der Erde. Geol. Rdsch. Bd. XXXIV, 1944, S. 545—694.
- TROLL, C.: Der subnivale oder periglaziale Zyklus der Denudation. Erdkunde, Bd. II, 1948, S. 1—21.
- TROLL, C.: Die Klimatypen an der Schneegrenze. Sonderdruck aus: Actes du IV Congrès International du Quaternaire, Rom 1953, 11 S.
- WILHELMY, H.: Klimamorphologie der Massengesteine. Braunschweig 1958, 238 S.

## DAS BERGBAUERNPROBLEM IN DEN ÖSTERREICHISCHEN ALPEN PERIODEN UND TYPEN DER ENTSIEDLUNG

Mit 8 Abbildungen und 3 Luftbildern

ELISABETH LICHTENBERGER

*Summary: The problem of mountain farming in the Austrian Alps.*

The discussion of the problem of mountain farming has recently been taken up by a European body which understandably prefers a statistical analysis of factors. This method is, however, insufficient to achieve a more profound appreciation; it needs supplementation by elucidating the manifold influences and interrelationships which have affected the mountain farms within the major historically developed regions of the Austrian Alps. Furthermore the problem must not be viewed in isolation but can only be understood as a part phenomenon within the framework of the total social and economic development of a much more extensive area.

Depopulation and agricultural extensivisation of mountain regions did not commence in the first place in the industrial era but much earlier, viz. during late medieval times, as a parallel to the well known desertion process in the region of nucleated settlement of Middle Europe; they gained momentum during the flourishing of the pre-industrial manufacture economy in the late 18th century and reached their climax in the laissez faire era after the middle of the 19th century.

The process found its expression in two principal types: the "Zuhubensystem", acquisition of farms up for disposal as supplementary holdings but used merely in an extensive way, and the "Forsthubensystem", the purchase of farms up for sale by persons outside the farming community for their woodland property and for re-forestation. The latter system became particularly widespread in the eastern, wooded, lower mountains of interior Austria. In its beginnings it was associated with the manufacture of cutlery, scythes and similar iron commodities, supported originally on extensive demesne forests. Subsequently it increased its momentum because of many other interests in woodland and it has remained an active force until today.

The "Zuhubensystem" had its main concentration in the high mountain areas of Salzburg and Tirol where farms had made use of high altitude summer pastures since the Middle Ages and where farms acquired as "Zuhube" came to be used as a substitute for and supplement to these pastures.

Quantitatively less important are special forms within the area of western Tirol where the custom of divided inheritance prevails and where depopulation resulted in a reduction of the number of small holdings going hand in hand with an increase in their size, or another type the transformation of villages into seasonal settlements in Vorarlberg and lastly, genuine land abandonment in ecologically marginal situations. In the entire high mountain parts of western Austria depopulation has at present been halted by the new possibility of additional earnings through the tourist trade; in the eastern parts, however, despite their ecologically more favourable situation, depopulation progresses because of the continuing great interest in woodland owned by farmers.

### Einleitung

Das Bergbauernproblem ist ein Teilkomplex des vielfältigen Umschichtungs- und Anpassungsprozesses des agraren Lebens und Wirtschaftens an die grundlegend neuen Bedingungen des Industriezeitalters. Die geläufigen Erscheinungen einer starken Abnahme der landwirtschaftlichen Bevölkerung und Betriebe, die in den ökologischen Gunsträumen durch wirtschaftliche Spezialisierung, Intensivierung und weitgehende Mechanisierung kompensiert werden konnten, erhielten im Berggebiet ein negatives Vorzeichen: Extensivierung des Kulturlandes und z. T. totale Entsiedlung weiter Gebirgsräume waren die Folgen.

In den österreichischen Alpenländern nahm die Öffentlichkeit diesen Vorgang erstmals zur Kenntnis, als sich im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts in Niederösterreich und der Steiermark die Aufkäufe von Bauerngütern für Jagdzwecke häuften (24). Man bezeichnete diesen Vorgang als „Bauernlegen“, ein Ausdruck, der vor der Grundent-