



Bild 1: Laurelwald am Rio Bermejo, Prov. Jujuy, mit reichem Epiphytenwuchs von *TILLANDSIA USNEOIDES*, 400 m. (Aufn. Hueck).

Bild 2: Reiner Pino-Bestand (*PODOCARPUS PARLATOREI*) im Nogal-Pinowald am Taficillo bei Tucuman, 1700 m. (Aufn. Hueck).

Abb. 7:

Bild 3: Myrtaceenwald (*EUGENIA UNIFLORA*, *EUGENIA PUNGENS*) in der oberen Stufe des subtropischen Waldes bei Tucuman, 1100 m. (Aufn. Hueck).

Bild 4: Erlenwald bei Villa Nougues westlich Tucuman, 1500 m. (Aufn. Hueck).

DER HOCHKARST IM SYSTEM DER KLIMATISCHEN MORPHOLOGIE *)

C. Rathjens jun.
Mit 1 Abbildung

*) Anm. Vortrag auf der Jahresversammlung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft in Luzern am 11. März 1951. Die beigegebenen vorzüglichen Abbildungen wurden mir von Herrn Dr. A. Bögli aus seinem Arbeitsgebiet in den Vierwaldstätter Alpen für diese Veröffentlichung freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Man weiß in der geomorphologischen Forschung schon lange, daß es neben dem endogen oder tektonisch bedingten Formenschatz der Erdoberfläche auch einen Formenschatz gibt, welcher klimatisch bedingt oder bestimmt ist. Seit etwa 50 Jahren sind von den verschiedensten Autoren schon Gedanken über die Zusammenhänge zwischen der Formenwelt der Erde und dem Klima der Erdoberfläche geäußert worden; auch die Bedeutung der Vorzeitklima für die Geomorphologie ist schon frühzeitig bemerkt worden.

Man hat sich jedoch zu bald von dem großzügigen und bestechend einfachen Schema von *W. M. Davis* und *A. Penck* (1) gefangen nehmen lassen, welches alle Formen in die drei Formengruppen des humiden, ariden und glazialen bzw. nivalen Klimas einordnen zu können glaubte, und man hat früher zu wenig beachtet, daß dieses Schema ja eigentlich keine Unterscheidung dreier Großklimaräume, sondern lediglich eine Bezeichnung bestimmter Typen des irdischen Wasserhaushaltes war.

Erst in jüngerer Zeit sind dann, von verschiedenen spezielleren Teilgebieten ausgehend, in der Geomorphologie Auffassungen entstanden, welche das Klima selbst oder eine möglichst große Summe einzelner Klimafaktoren und insbesondere die klimatische Differenzierung der Erdräume in ihrer Auswirkung auf die Formen der Erdoberfläche berücksichtigen und die klimatische Abhängigkeit der Formen untersuchen. Diese eigentliche klimatische Geomorphologie setzt sich heute immer mehr durch, im Gegensatz zu dem Wege, den noch *W. Penck* (2), von der Geologie kommend, einschlagen wollte und auf dem ihm zunächst einige Forscher zu folgen bereit waren, während andere sofort gewichtigen Einspruch gegen seine Anschauungen erhoben. Diese Entwicklung erfolgt heute vor allem wohl dank der Arbeiten von *J. Büdel* (3), der soeben, als Niederschlag seines auf dem Deutschen Geographentage 1948 in München gehaltenen Vortrages, eine erste Übersicht über die großen klima-morphologischen Zonen der Erde gegeben hat, in der sich gegenüber dem Schema der nivalen, humiden und ariden Formenkreise bereits eine wesentlich stärkere Aufgliederung zeigt.

Eine genetische Betrachtungsweise des klimabedingten Formenschatzes wird allerdings vielfach noch dadurch erschwert, daß wir zwar räumliche Übereinstimmung von Formenkreisen und Klimazonen konstatieren können, daß wir aber in die ursächlichen Zusammenhänge zwischen der Morphogenese und bestimmten meteorologischen oder klimatischen Einzel-elementen oft noch nicht die nötigen Einblicke besitzen. Die mittleren Monatstemperaturen, die jährlichen und jahreszeitlichen Niederschlagsmengen, die häufig zur Abgrenzung von Klimagebieten benutzt worden sind, brauchen für die Art der formbildenden Prozesse durchaus nicht ausschlaggebend zu sein. Auch die Wirkungen des Klimas auf die Pflanzendecke sind nach Art und Stärke der bestimmenden Faktoren nicht immer identisch mit den Einflüssen des Klimas auf die Formgestaltung der Erde, obwohl gerade hier natürlich zahlreiche innere Beziehungen bestehen. So muß die geomorphologische Forschung mit der klimakundlichen noch weit mehr als bisher Hand in Hand gehen.

Das gilt nun in besonders starkem Maße für die Forschung im Gebirge. Die Hochgebirge der Erde liegen nicht nur als ganze in bestimmten Klimagürteln und werden infolgedessen in verschiedener Weise von der klimatisch bedingten Abtragung geformt. Die Gebirge reichen auch in der Vertikalen durch verschiedene Klimaregionen hindurch, die untereinander ähnlich stark differenziert sind wie die in der Horizontalen über die Erde gebreiteten Klimazonen, zumal im Gebirge durch Exposition und Hangneigung

weitere kleinklimatische Unterschiede hervorgerufen werden. Wir kommen zum Beispiel in den Alpen mit einer Trennung in einen humiden und einen glazialen Klimabereich und in entsprechende Formenkreise längst nicht mehr aus, selbst wenn wir die Verschiebungen und Überschneidungen dieser beiden morphologischen Komplexe durch die Klimaänderungen der geologischen Vergangenheit berücksichtigen. Wir wissen heute auch, daß die Hochgebirge der niederen und mittleren Breiten in ihrem vertikalen Klimaaufbau nicht unbedingt die horizontale Anordnung der Klimagürtel der Erde einfach wiederholen (*H. von Wissmann* (4), *C. Troll* (5), *N. Creutzburg* (6) u. a.). Mit allem Nachdruck ist das von *C. Troll* vor allem für die tropischen, von *K. Schneider-Carius* (7) für einzelne tropische und subtropische Hochgebirge vertreten worden. Aber bereits die Alregion unserer Alpen ist etwas grundsätzlich anderes als die lappländische Tundra, und zwar nicht nur pflanzengeographisch, sondern auch klimatisch und klima-morphologisch. Die vergleichende Hochgebirgsforschung hat hier schon viele wichtige Anregungen gegeben. In den Alpen hat meines Wissens *N. Krebs* (8) im Jahre 1925 zum ersten Male klimatisch bedingte Bodenformen zusammengestellt, wobei er sich allerdings auf eine genauere Abgrenzung des schon damals bekannten periglazialen Bereiches beschränkt hat.

Eine klimatisch-morphologische Höhengliederung des Gebirges wird weiter dadurch erschwert, daß wir darum bemüht sein müssen, die den gegenwärtigen Klimabedingungen entsprechenden Formen und Formbildungsprozesse von den Vorzeitformen zu trennen. Im Vergleich zum erdgeschichtlichen Alter der Alpen dauert das heutige Klima erst ganz kurze Zeit. Neben den rezenten Formen nehmen daher Vorzeitformen naturgemäß einen großen Raum ein. Wir müssen außerdem berücksichtigen, daß die klima-morphologischen Zonen den ihnen eigentümlichen Formenschatz der Erde sehr verschieden rasch aufprägen, daß sie Prägestöcke sehr verschiedener Stärke sind, wie *J. Büdel* das jüngst formuliert hat. Auch während seiner Entwicklung in der geologischen Vergangenheit, seit wir überhaupt mit stärkerer Reliefenergie zu rechnen haben, hat das Gebirge eine morphologische Höhengliederung besessen. Auch der Komplex der Vorzeitformen, der uns heute entgegentritt, hat daher gleichzeitig in verschiedenen Höhenlagen verschiedene Entstehungsbedingungen vorgefunden und hat sich dementsprechend verschieden weiterentwickelt. Ferner unterliegen die Vorzeitformen heute, entsprechend der morphologischen Höhengliederung, verschieden rascher und starker Zerstörung, d. h. sie bleiben in verschiedenen Höhenlagen des Gebirges verschieden lange und gut erhalten. Schließlich werden Veränderungen und Umprägungen des klima-morphologischen Formenschatzes im Gebirge nicht nur durch großräumige Klimaänderungen hervorgerufen, wie wir sie seit dem jüngeren Tertiär und durch das Pleistozän hindurch für Mitteleuropa schon recht gut zu verfolgen vermögen, sondern gleichzeitig auch durch endogene Vertikalbewegungen des Gebirges, bei welchen dessen klimatische Höhengliederung ver-

schoben wird. Das Problem ist also ein komplexes, und es wird noch viel Mühe aufgewendet werden müssen, bis wir gelernt haben werden, die einzelnen Faktoren, die zusammen das morphologische Gesamtbild des Gebirges ergeben, zu erkennen und gegeneinander abzuschätzen.

Diese allgemeinen Gedankengänge, welche vorauszuschicken waren, möchte ich am Beispiel des Hochkarstes etwas näher erläutern und belegen. Unter Hochkarst verstehen wir den gesamten Formenschatz der Karsterscheinungen des kalkalpinen Hochgebirges. Wir wollen die unterirdischen Bildungen des Karstes im Gebirge, Höhlen, Karstquellen, die ganze Karsthydrographie, hier jedoch von der Betrachtung ausnehmen. Die oberirdischen, in größerer flächenhafter Verbreitung auftretenden Erscheinungen des Hochkarstes gehören nur bestimmten Zonen in der Höhengliederung des Kalkgebirges an. Sie unterscheiden sich aus klima-morphologischen Gründen sowohl von den Karsterscheinungen in den Kalkgesteinen der mitteleuropäischen Schichtstufenlandschaften als auch ebenso vom mediterranen Karst; es würde an dieser Stelle zu weit führen, das im einzelnen näher zu begründen. Um eine Einfügung des Hochkarstes in die klima-morphologische Höhengliederung des Gebirges vornehmen zu können, muß zunächst entschieden werden, welche Formen des Hochkarstes rezent sind, also unter den heutigen Klimabedingungen des Gebirges entstehen und im gleichen Sinne weiterentwickelt werden, und welche fossil sind, also als Vorzeitformen in ihrer heutigen Lage unter anderen klimatischen Bedingungen als den heutigen entstanden sind. Die Abgrenzung der rezenten Karstformen und ihre Parallelisierung mit der heutigen Höhengliederung ist daher die Voraussetzung für alle weiteren Überlegungen.

Der Hochkarst gliedert sich ganz offenbar in zwei Stockwerke. In einem unteren Stockwerk herrschen die Dolinen vor, in einem oberen die Karren oder Schratten. Diese Tatsache und vor allem die zonale Anordnung der Karrenfelder ist schon lange beobachtet worden (*M. Eckert* (9), *L. Distel* (10), *O. Lehmann* (11) u. a.) und hat sich auch mir immer wieder bestätigt (12). Die karrige Plattenlandschaft *O. Lehmanns*, in der die Karren eindeutig bestimmend sind, beginnt in den nördlichen Ostalpen an der oberen Waldgrenze bei 1600—1700 m Höhe und reicht bis in eine Höhe von etwa 2100—2200 m, wo sie in die Frostschuttzone übergeht. Die gleichen Grenzen der optimalen Karrenbildung konstatiert auch *G. Wagner* (13), wobei allerdings sein Satz, daß die Karren nicht an ein Klima gebunden seien, wenig verständlich erscheint. Auf die verschiedenen Lagen dieser morphologischen Höhengrenzen in den einzelnen Gebirgsgruppen kann hier natürlich nicht eingegangen werden. Für die Frostschuttzone im Kalkgebirge ist auch der Ausdruck Scherbenkarst gebraucht worden, doch handelt es sich da bei dem Überwiegen der mechanischen Frostverwitterung um keine spezielle Karstform. Dolinen dagegen finden wir in der reinsten Form im allgemeinen unter der Waldgrenze. Ihre Entstehung ist offenbar an das Vorhandensein von Lockermaterial, an eine stärkere Schuttdecke gebun-

den. Nur mit kräftiger Bodenbewegung über dem anstehenden Kalkgestein bildet sich die typische abgerundete Dolinenform. Ich möchte sogar so weit gehen, die Abhängigkeit dieser Form von einer dichten Vegetationsdecke, ja von einem Waldkleide anzunehmen. Nur in mächtigen Lockerschuttmassen reichen Dolinen gelegentlich etwas höher über die Baumgrenze empor. Höher oben gibt es im Kalkgebirge nur steilwandige Gruben oder Schächte oder Zerstörungsformen von Dolinen, die offensichtlich nicht in Weiterbildung begriffen sind.

Karren und Dolinen durchdringen sich an oder in der Nähe der Baumgrenze in der sogenannten Karrendolinenlandschaft *O. Lehmanns*, in der kleinere und flache Dolinenformen von gut ausgebildeten Karren, meist Kluffkarren, überzogen und beherrscht sind. Auch hier besteht durchaus der Eindruck, daß sich Karren und Dolinen nicht nebeneinander fortentwickeln, sondern daß die Verkarrung an der Zerstörung der echten Dolinenformen arbeitet. Als rezente Formen gehören Karren und Dolinen zwei verschiedenen klima-morphologischen Höhenzonen an und schließen sich gegenseitig aus. Wenn sie heute trotzdem miteinander auftreten, müssen wir die Gründe dafür in der Entwicklung des Klimas und des Reliefs des Gebirges in der erdgeschichtlichen Vergangenheit suchen.

Ein Vergleich der einzelnen Elemente der Karstlandschaft im Hochgebirge zeigt uns, daß die Karren offenbar die jüngsten und kurzlebigsten Formen sind. Sie gehören in die untere Hälfte jener auch als periglazial bezeichneten Höhenzone, die auch den eigentlichen Bereich des Frostschuttes umfaßt. Hier schmilzt eine hohe Schneedecke erst spät im Frühjahr ab, aber während der warmen, schneefreien Jahreszeit ist die Frostwechselhäufigkeit noch nicht so groß, daß die mechanische Verwitterung das Übergewicht erhält. Die Entstehung von Karren unter schwach bewegtem Firn oder Eis mag zwar möglich sein, doch halte ich es für ausgeschlossen, daß die Karrenfelder in ihrer heutigen Lage die Vergletscherungen des Eiszeitalters überdauert haben könnten. Sie sind schon beim Herannahen jeder Eiszeit mit beginnender Klimaverschlechterung durch die Herabdrückung der Frostschuttzone zerstört worden, ohne daß es dazu einer eigentlichen Gletscherwirkung bedurft hätte. Zudem sind die schönsten Karrenfelder heute offensichtlich an die Flächen eiszeitlicher Gletschererosion gebunden und zeigen damit, daß sie das Gelände erst in der Nacheiszeit besetzt haben.

In den wesentlichen Grundzügen stimme ich dabei mit den von *A. Bögli* (14) in den Schweizeralpen gewonnenen Ansichten überein, auch wenn er tiefere Karrenschlote und Klüfte für älter als die letzte Eiszeit hält. Eine Differenz der Anschauungen beruht lediglich in einer etwas anderen Definition des Begriffes Karren, der an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden kann. Freilich möchte *A. Bögli* auch Systeme von schmalen, aber tiefen Kluffkarren, die sich auf Schichtflächen und auf ebenen oder eisgerundeten Flächen augenscheinlicher glazialer Erosion finden, für die Stümpfe einer einst tiefergehenden, vom Gletscher abgehobelten Verkarrung halten und damit

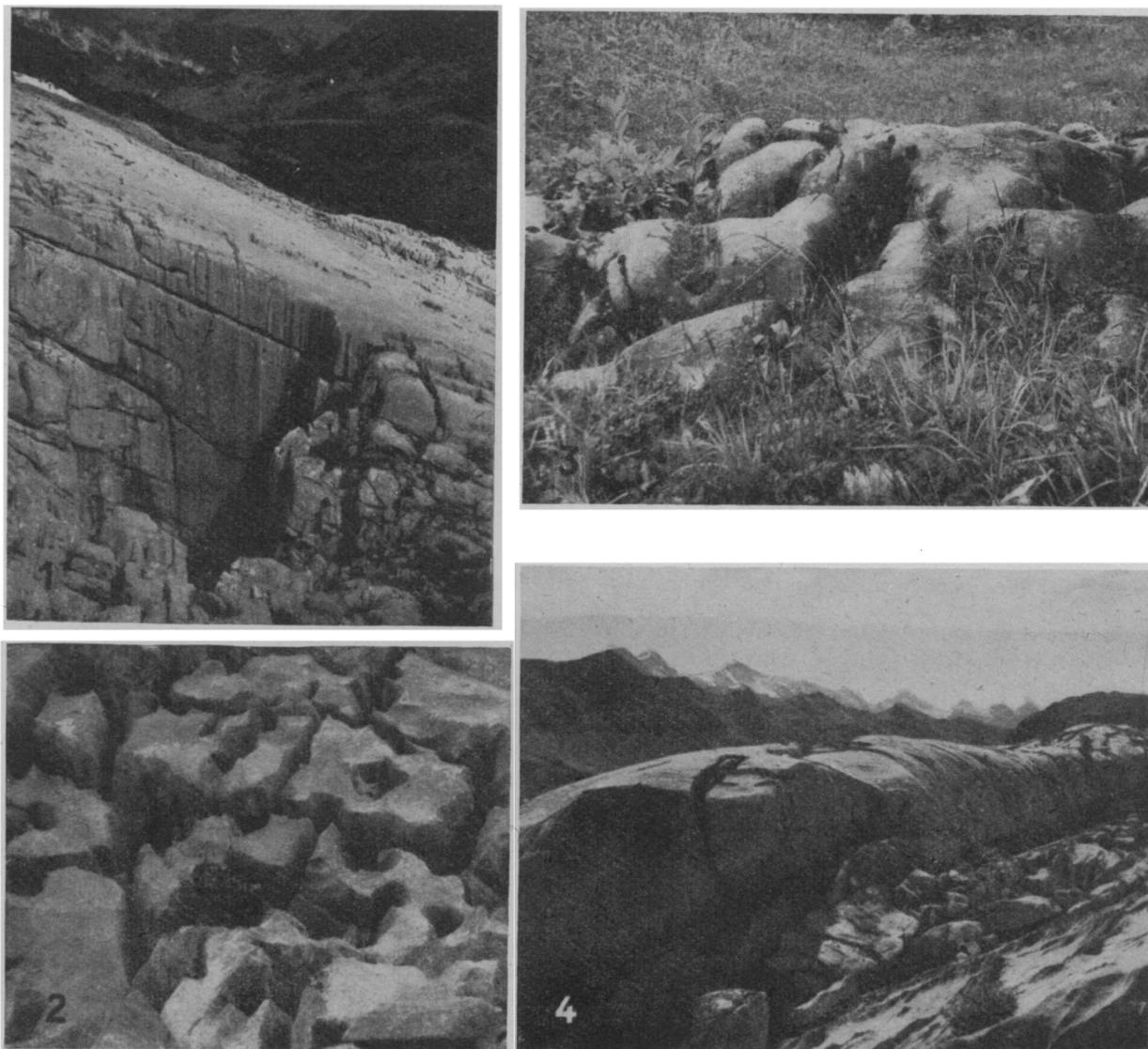


Abb. 1:

Bild 1: Karrenfeld auf Schichtflächen des Schrätenkalkes (karrige Plattenlandschaft). Im Vordergrund senkrechter Karrenschlot. Entlebuch, Kt. Luzern.

Bild 2: Rezente Flachkarren und Kluftkarren auf Schrätenkalk, Schrätenfluh, Kt. Luzern, 1850 m Meereshöhe.

Bild 3: Durch Humusbildung überwältigte und gerundete

Karren, spätglazialer Entstehung. Muotatal, Kt. Schwyz, 1400 m Meereshöhe.

Bild 4: Eisüberschliffener Schichtkopf im Schrätenkalk mit einzelnen tiefen, älteren Karrenresten und jungen, postglazialen Rinnenkarren. Schrätenfluh, Kt. Luzern, 1700 m Meereshöhe.

vor die letzte Eisbedeckung zurückdatieren. Der endgültige Beweis dafür könnte allerdings wohl erst geliefert werden, wenn es gelänge, in solchen Kluftkarren Moränenreste oder erratische Geschiebe festzustellen. Das ist meines Wissens bisher nirgends gesehen, und so sollte man sehr vorsichtig sein, den feinen und leicht zerstörbaren Karren nicht ein zu hohes Alter zuzumuten.

Ich halte die Karren für die ersten und obersten Vorposten der aktiven Karstlandschaft, wenn diese nach jeder Vereisung wieder in das Gebirge einrückte;

man könnte auch sagen: für die ersten Zeugnisse der Reaktivierung der Karstlandschaft bei der Wiederkunft von Klimaverhältnissen, die für die Verkarstung günstig sind. Auch unter der Waldgrenze gibt es natürlich Karren. Sie liegen aber nur selten frei, sondern sind im allgemeinen von einer Boden- und Vegetationsdecke abgedeckt. Es ist ganz unwahrscheinlich, daß es sich hier um eine eigene Sonderform der Karrenentwicklung in einer anderen klimamorphologischen Zone handelt. Es sind vielmehr echte Karren, welche unter den Einflüssen der Humussäuren

abgerundet sind und durch die denudativen Bodenbewegungen allmählich korrodiert werden. Diese Karren unter der heutigen Waldgrenze sind entstanden, als in den tieferen Lagen des Gebirges ungefähr die gleichen klimatischen Verhältnisse herrschten wie heute zwischen Waldgrenze und Frostschuttgrenze, und sie lassen uns Schlüsse auf die klimatische und morphologische Entwicklung des Gebirges seit der letzten Eiszeit ziehen. Eine gute Bestätigung dafür sehen wir auch in den umfangreichen Untersuchungen des Karrenphänomens in den Ostalpen durch *H. G. Lindner* (15), der Karren auch unter Vegetationsdecke in geringeren Höhen als 1000—1100 m nicht feststellen konnte. Wirklich finden sich in den nördlichen Kalkalpen Karren nur ganz ausnahmsweise einmal in noch tieferer Lage. Unter der heutigen Waldgrenze ist die späteiszeitliche Karrenphase durch die nacheiszeitliche Phase der Verwitterungsböden und Dolinenbildungen abgelöst worden. Wir müssen annehmen, daß die Karren in den tieferen, würmeiszeitlich nicht vergletscherten Teilen des Kalkgebirges am Ende der Eiszeit wesentlich weiter verbreitet wären als heute.

Wenn unsere Erkenntnis richtig ist, daß die Karren nur einer bestimmten klima-morphologischen Zone angehören und im Kalkgebirge zusammen mit der Frostschuttzone den periglazialen Bereich darstellen, dann ergibt sich damit schließlich auch eine neue Deutung für die Vorkommen von bedeckten Karren in den Kalkgesteinen Mitteleuropas außerhalb der Alpen. Diese hat man bisher meist fälschlich mit dem mediterranen Karst und mit dem wärmeren Klima des Jungtertiärs in Verbindung bringen wollen. Die Annahme liegt jedoch weit näher, daß auch solche fossilen Karren ihre Entstehung der Klimaverschlechterung des Eiszeitalters verdanken. Durch sie wurde auch hier eine Karrenphase an die Stelle der heute herrschenden Dolinenbildungsphase gesetzt. Wir hätten dann in den Karren allgemein ein neues Element im periglazialen Formenschatze des Eiszeitalters gewonnen. Doch sei diese neue Perspektive hier nur angedeutet.

Wo hingegen heute im kalkalpinen Hochgebirge, das eiszeitlich vergletschert gewesen ist, die Karren und Dolinen einander durchdringen, müssen die Dolinen älter sein als die Karren; sie müssen einer früheren Verkarstungsperiode angehören. Dolinen sind weit größere und dauerhaftere Karstformen, sie benötigen weit längere Zeit als die kurze Nacheiszeit zur Entstehung. Sie sind durchaus in der Lage, bei nicht zu starker Glazialerosion auch eine Vergletscherung zu überdauern, und bilden sich in der gleichen Richtung wieder weiter, sowie sich mit der Klimaverbesserung einer Zwischeneiszeit oder der Nacheiszeit die günstigen klimatischen und morphologischen Bedingungen wieder einstellen, die in der Zone unter der Waldgrenze durch Bodenbildung und Vegetationsdecke gegeben sind. Ich glaube sogar, daß die Dolinen der stärksten Zerstörung nicht im eigentlichen glazialen Bereiche unterliegen, sondern eben in jener periglazialen Zone des Frostschuttes und der Karrenbildung. Das ergibt sich schon daraus, daß die Dolinen Hochflächen und Hangverflachungen bevorzugen, wo die Gletschererosion gering war, wo da-

gegen die Ansammlung von Schutt und die Ortsbodenbildung begünstigt werden. Auf den Hochflächen der Kalkstöcke in den Ostalpen wird durchaus der Eindruck erweckt, daß die flachen Firnfelder, die sich dort während der Eiszeit bildeten, auf die Großformen der Karstlandschaft relativ konservierend gewirkt haben, während das verkarstete Flachrelief heute, soweit es über die Baumgrenze aufragt, im periglazialen Bereich kräftigen Veränderungen unterliegt.

Wir sind davon ausgegangen, daß Karren und Dolinen als aktive, in Weiterbildung begriffene Formen im Hochkarst einander ausschließen. Für das Auftreten von Karren unter der Waldgrenze, im gegenwärtigen Bereiche der Dolinenbildung, haben wir in der Klimaentwicklung seit der letzten Eiszeit eine ausreichende Erklärung gefunden. Umgekehrt müssen wir uns auch die Frage nach der Herkunft der Dolinenformen über der Waldgrenze im heutigen Raume der Karrenfelder stellen. Die Mulden und Gruben der Karrendolinenlandschaft, die ja Karren und Dolinen zugleich aufweist, sind ohne Zweifel älter als die Würmeiszeit und sind vom Eise überarbeitete Dolinen. Das kurze postglaziale Klimaoptimum, für das wir eine Hebung der Waldgrenze um mindestens 200—300 m annehmen müssen, kann sicher nicht dafür verantwortlich gemacht werden, daß sich die obere Dolinengrenze stellenweise so stark in den heutigen Bereich der Karrendolinenlandschaft hinein verschoben und gehoben hat.

Wir haben zwar im allgemeinen, mit einzelnen Ausnahmen, noch keine rechte Vorstellung davon, welche Zeitspannen benötigt werden, bis sich Klimaänderungen in einer Umprägung der klima-morphologischen Zonen auswirken. Insbesondere betrifft diese Unsicherheit den Komplex der hier genannten Erscheinungen des Hochkarstes. Doch leuchtet es ein, daß in der Aufeinanderfolge der klima-morphologischen Zonen bestimmte kausale Zusammenhänge bestehen, daß also die Umformungsvorgänge eine bestimmte Richtung bevorzugen und nicht ohne weiteres umkehrbar sind. So ist die zeitliche und vertikale Aufeinanderfolge der glazial geformten Kalkfläche, der karrigen Plattenlandschaft und der mit Bodenbildung verbundenen Dolinenbildungsphase am Ende jeder Eiszeit durchaus natürlich und verständlich. Dagegen dürfte ein unmittelbares Zurücksinken der Karrenzone in die Dolinenzone hinein im Gefolge einer Klimaverschlechterung weit größeren Widerständen begegnen und sich morphologisch nur äußerst langsam auswirken.

Die Angabe, daß die großen Dolinen des Hochkarstes und insbesondere die über der heutigen Waldgrenze gelegenen mit wenigen Ausnahmen älter als die würmeiszeitliche Vergletscherung seien, kann natürlich für sich allein noch nicht befriedigen. Denn für die Erklärung ihrer hohen Lage kommen die anfangs schon gekennzeichneten zwei Möglichkeiten in Betracht: entweder ein wärmeres Klima als das heutige, bei dem alle morphologischen Höhengrenzen hinaufgerückt wurden, oder eine Hebung der Gebirgsteile, welche die Dolinen tragen, aus tieferen in höhere klima-morphologische Zonen. Tatsächlich

müssen wir beide Möglichkeiten miteinander kombinieren und kommen dann aus Gründen, die ich hier im einzelnen nicht weiter ausführen kann, zu dem Schluß, daß der überwiegende Teil der größeren Dolinen im Hochkarst bereits prädiluvial angelegt ist. Das soll natürlich nicht heißen, daß wir die Mitwirkung der Interglazialzeiten, insbesondere der großen Mindel-Riß-Interglazialzeit, bei der Ausgestaltung der Dolinen unterschätzen. Im Hochkarst der Ostalpen liegen die größten und schönsten Dolinen auf dem Flachrelief der Raxlandschaft, also auf den ältesten erhaltenen Flachformenresten des Gebirges, die in das Jungtertiär datiert werden. Zwischen der Verkarstung und der guten Erhaltung der alten Flächenreste bestehen enge wechselseitige Zusammenhänge. Lange Dolinenreihen bezeichnen die Richtung der ehemaligen oberirdischen Entwässerung, die bei der Hebung und Zerschneidung des Flachreliefs im Jungtertiär außer Funktion gesetzt wurde; viele Dolinen sind offenbar bereits in dieser Zeit angelegt worden. Daß daneben lange Dolinenreihen auch den tektonischen Linien des Gebirges folgen, ist natürlich bekannt, spielt aber für unsere gegenwärtige Betrachtung keine Rolle. Auf hohes Alter deuten am Boden großer Dolinen auch die Ansammlungen von Roterde hin, die schon von *O. Ampferer* (16) einmal ganz allgemein als tertiär erklärt worden sind.

Man hat die morphologischen Bedingungen des tertiären Klimas schon vielfach für die Erklärung der großen Verflachungen und Einrumpfungen in Mitteleuropa, zum Beispiel in den deutschen Mittelgebirgen, herangezogen (*O. Jessen* (17), *J. Büdel* (18) u. a.). In den Alpen ist dieser Gesichtspunkt in der Geomorphologie bisher noch viel zu wenig zur Geltung gekommen. Tatsächlich besaßen die Alpen im Jungtertiär vor dem Einsetzen der großen Hebungen noch nicht die ausgeprägte klimatische und morphologische Höhengliederung wie heute, und außerdem lagen sie auch insgesamt in einem anderen, wärmeren Klimabereich. Vielleicht hat sich auf dem fluviatil und denudativ gebildeten Flachrelief, wie es überall in den Alpen die Orogenese von der vertikalen Heraushebung trennt, zunächst, als die Hebung einsetzte und große Teile des oberirdischen Entwässerungsnetzes ausgeschaltet wurden, in den Kalkgesteinen eine flache subtropische Karstlandschaft eingestellt, mit Anklängen an den Kegelkarst, wie wir ihn aus tropischen und subtropischen Kalkgebieten kennen. Eine solche Annahme würde uns das Verständnis vieler Formen auf den Hochflächen der Kalkgebirgstöcke sehr erleichtern (19). Hebungen und mehrfache kräftige Klimaänderungen haben diesen Karst verändert, in seinem Areal immer mehr eingeschränkt und schließlich in die heutige Form des Hochkarstes übergeführt. Gerade die Zusammenhänge der behandelten Frage mit den endogenen Bewegungen des Gebirges und mit den Vorzeitformen früherer Flachreliefs mögen zeigen, daß die klimatische Morphologie keine neue, auf sich selbst gestellte Auffassung ist, sondern daß sie dringend auch der Ergebnisse der tektonischen Morphologie bedarf und mit dieser zusammenarbeiten muß.

Literatur

- (1) *W. M. Davis*, Die erklärende Beschreibung der Landformen. Leipzig u. Berlin 1912.
- A. Penck*, Versuch einer Klimaklassifikation auf physiographischer Grundlage. Sitz.-Ber. Preuß. Akad. d. Wiss. Phys.-Math. Kl. 12. 1910.
- (2) *W. Penck*, Die morphologische Analyse. Stuttgart 1924.
- (3) *J. Büdel*, Das System der klimatischen Morphologie. Deutscher Geographentag München 1948, Heft 4. Landshut 1950.
- (4) *H. von Wissmann*, Die Klima- und Vegetationsgebiete Eurasiens. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin. 1939.
- (5) *C. Troll*, Studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge der Erde. Bonn 1941.
- , Thermische Klimatypen der Erde. Petermanns Geogr. Mitt. 1943.
- , Strukturböden, Solifluktion und Frostklimata der Erde. Geol. Rundschau, Bd. 34. 1944.
- , Der asymmetrische Vegetations- und Landschaftsaufbau der Nord- und Südhalbkugel. Göttinger Geogr. Abhandl. 1. 1948.
- (6) *N. Creutzburg*, Klima, Klimatypen und Klimakarten. Petermanns Geogr. Mitt. 1950.
- (7) *K. Schneider-Carius*, Klimazonen und Vegetationsgürtel in tropischen und subtropischen Gebirgen. Erdkunde, Bd. II. 1948.
- (8) *N. Krebs*, Klimatisch bedingte Bodenformen in den Alpen. Geogr. Zeitschr. 1925.
- (9) *M. Eckert*, Die Karren oder Schratzen. Petermanns Geogr. Mitt. 1898.
- , Das Gottesackerplateau (ein Karrenfeld) in der Gebirgsgruppe des Hohen Ifen. Zeitschr. d. D. u. Ö. Alpenvereins. 1900.
- , Das Gottesackergebiet, ein Karrenfeld im Allgäu. Wiss. Erg. hefte d. D. u. Ö. Alpenvereins, I, 3. 1902.
- (10) *L. Distel* und *F. Scheck*, Das Plateau des Zahnen Kaisers. Mitt. d. Geogr. Ges. in München. 1911.
- (11) *O. Lehmann*, Das Tote Gebirge als Hochkarst. Mitt. Geogr. Ges. Wien 1927.
- (12) *C. Rathjens*, Geomorphologische Untersuchungen in der Reiteralm und im Lattengebirge im Berchtesgadener Land. Mitt. d. Geogr. Ges. in München. 1939.
- , Raxlandschaft und Hochkarst. Unveröfftl. Vortrag Göttinger Geogr. Kolloquium. 1949.
- (13) *G. Wagner*, Rund um Hochifen und Gottesackergebiet. Öhringen 1950.
- (14) *A. Bögli*, Karren. Leben und Umwelt. 1947.
- , Geomorphologische Beobachtungen an der Schratzenfluh. Natur- und heimatkundliche Forschungen aus dem Entlebuch. 1950.
- , Vortrag über Karrenbildung vor der Jahresversammlung der Schweiz. Geomorph. Ges. Basel 1950.
- (15) *H. G. Lindner*, Das Karrenphänomen. Petermanns Geogr. Mitt., Erg.-heft 208. 1930.
- (16) *O. Ampferer*, Über morphologische Arbeitsmethoden. Jahrb. d. Geol. Bundesanstalt, 72. Bd. 1922.
- (17) *O. Jessen*, Tertiärklima und Mittelgebirgsmorphologie. Zeitschr. d. Ges. für Erdkunde zu Berlin. 1938.
- (18) *J. Büdel*, Das Verhältnis von Rumpftreppen zu Schichtstufen in ihrer Entwicklung seit dem Alttertiär. Petermanns Geogr. Mitt. 1938.
- (19) *J. Büdel*, Fossiler Tropenkarst in der Schwäbischen Alb und den Ostalpen; seine Stellung in der klimatischen Schichtstufen- und Karstentwicklung. Erdkunde, Bd. V. 1951.