Über einige Aufgaben und Probleme der Karst- und Höhlenforschung im Lande Salzburg

HUBERT TRIMMEL, Wien

Inhaltsübersicht

I. Zur Verbreitung der Karstgebiete und der Höhlen in Salzburg.
1. Die Erfassung des Flächenausmaßes der Karstlandschaft.
2. Die Verbreitung verkarstungsfähiger Gesteine.
3. Die Aussagen der vorliegenden Verbreitungskarten.
4. Karsttypen und Höhlentypen.
II. Der Stand der karst- und höhlenkundlichen Forschung in Salzburg.
1. Übersicht über die Etappen der Entwicklung.
2. Beurteilung des gegenwärtigen Forschungsstandes.
III. Forschungsschwerpunkte, Aufgaben und Probleme.
1. Das Karstphänomen im Rahmen der geomorphologischen Entwicklung.
2. Die Altersstellung der Karstformen.
3. Gedanken zur Altersstellung der Höhlen.
4. Beziehungen zwischen Höhlenentwicklung und Oberflächenentwicklung.
5. Klimaentwicklung und Karstentwicklung.

Für die Probleme der Karstkunde, deren Arbeitsbereich sowohl die oberirdischen Karsterscheinungen und das durch den Vorgang der Verkarstung bestimmte oder beeinflußte Landschaftsbild (Karstmorphologie), wie auch die unterirdischen Karsterscheinungen (Karsthydrologie, Höhlenkunde), schließlich aber auch die Angewandte Karstkunde (Karstwirtschaft) umfaßt, ergibt sich eine überraschende Vielseitigkeit und Vielschichtigkeit. In den folgenden Abschnitten soll der Versuch unternommen werden, einige aus der Fülle der vorhandenen Problemstellungen darzustellen, die speziell im Raume Salzburgs zur Diskussion stehen oder deren Bearbeitung dort erfolgversprechend durchführbar erscheint.

I. Zur Verbreitung der Karstgebiete und der Höhlen in Salzburg

1. Die Erfassung des Flächenausmaßes der Karstlandschaft

Unter den Gebieten Österreichs, in denen karstkundliche Forschungen intensiv durchgeführt wurden und werden, kommt dem Raum des Bundeslandes Salzburg infolge der weiten Verbreitung verkarstungsfähiger Gesteine große Bedeutung zu. Einer einigermaßen exakten Erfassung des Anteils verkarsteter Gebiete an der Fläche des Bundeslandes stehen allerdings große Schwierigkeiten gegenüber. Die Flächenberechnungen für die „unterirdisch entwässerten Gebiete", die M. HOFFER 1906 [20] gegeben hat, sind bisher die einzigen, immer wieder zitierten Angaben geblieben. Für das Bundesland Salzburg wäre, wie

dies E. ARNBERGER für Niederösterreich bereits vor geraumer Zeit angeregt hat [5, S. 37], eine systematische Erhebung jener Areale, die als Karstgebiete oder als karstgefährdete Gebiete zu gelten haben, dringlich und wünschenswert. Eine solche Erhebung kann und darf sich weder auf topographische, noch auf geologische Kartenwerke allein stützen, sondern bedarf vor allem der Geländebegehungen und Aufnahmen an Ort und Stelle.

Für solche Aufnahmen, die in großem Maßstab erfolgen müßten und auch eine brauchbare Arbeitsgrundlage für Fragen der Raumplanung darstellen könnten, muß die Anwendbarkeit der Methoden, die zur Zeit üblich sind, erst erprobt werden. Salzburg erscheint aus verschiedenen Gründen unter den österreichischen Bundesländern für eine solche Erprobung am besten geeignet. Diese Gründe sind:

a) der hohe (zweifellos über dem Bundesdurchschnitt liegende) Anteil verkarstungsfähiger Gesteine an der Gesamtfläche des Landes;
b) die günstige Erreichbarkeit aller für eine Erhebung und Karstaufnahme zu begehenden Gebiete;
c) das Vorhandensein verschiedener Karsttypen (s. u.) in unmittelbarer Nachbarschaft;
d) das Vorhandensein vieler eingehender Detailstudien zur Geologie einzelner in Frage kommender Gebiete, wie sie beispielsweise jene von B. PLÖCHINGER über die Torrener Joch-Zone [31] und von M. SCHLAGER über Teilgebiete der Osterhorngruppe [33] darstellen;
e) das Vorhandensein eingehender Detailstudien zur Hydrologie einzelner Karstgebiete, die in jüngster Zeit vor allem in Zusammenhang mit Fragen der Wasserversorgung und des Kraftwerkbaues in Karstgebieten durch F. BAUER, V. MAURIN und J. ZÖTL durchgeführt worden sind [u. a. 6].
f) das lückenlose Vorliegen der neuen Österreichischen Karte 1 : 25 000 des in Frage kommenden Gebietes als Kartierungsgrundlage;
g) das Vorhandensein einer Anzahl von guten Kennern der wenig begangenen Teile der Karstplateaus unter den Mitgliedern des Landesvereines für Höhlenkunde in Salzburg, deren Orts- und Wegekenntnisse sowie deren Kenntnisse über das Auftreten von Karstformen die Durchführung von Kartierungsaufgaben wesentlich erleichtern.

Aus den angeführten Gründen möchte Verf. es als Aufgabe der Karstkunde bezeichnen, gerade im Bundesland Salzburg einen neuen Versuch der Festlegung „verkarsteter" oder in Verkarstung begriffener Areale zu wagen.

Die methodischen Voraussetzungen dazu scheinen dem Verf. zu sein:

1. Eine für den praktischen Zweck geeignete Definition des Begriffes „Karst". Von der Formulierung des Begriffsinhaltes hängt es ab, welche Abgrenzung dem Karstgebiet zukommt. Mir erschiene es zweckmäßig — bei eventueller Unterscheidung verschiedener Grade fortschreitender Verkarstung — auf einer großmaßstäbigen Karstverbreitungskarte alle Gebiete zu erfassen, in denen „die unterirdische Entwässerung infolge der vorhandenen Klüftigkeit des Gesteins und der Erweiterung karsthydrographisch wegsamer Abflußmöglichkeiten bereits eine merkbare Komponente der Gesamtentwässerung geworden ist" [35].
2. Die Festlegung einer geeigneten kartographischen Methode für die Geländeaufnahme. In dieser Frage bietet sich die Anwendung jenes Signaturenschlüssels an, den der IV. Internationale Kongreß für Speläologie (Ljubljana 1965) empfohlen hat [43] und der auch schon für eine karstkundliche,

bzw. hydrogeologische Karte im Gebiet der Causses Anwendung gefunden hat [30].

3. Eine Charakterisierung der Merkmale der verschiedenen Karsttypen, die im Untersuchungsgebiet anzutreffen sind.

2. Die Verbreitung verkarstungsfähiger Gesteine

Bei einer Erfassung des Flächenausmaßes der Karstlandschaft und der karstgefährdeten Gebiete ist wohl auch zu berücksichtigen, welche Gesteine als Träger des Karstphänomens auftreten. Innerhalb des Bundeslandes Salzburg handelt es sich dabei um recht unterschiedliche Karstgesteine; die Unterschiede liegen in der petrographischen Beschaffenheit ebenso wie in der Stratigraphie und im Grad der Metamorphose. Damit ergibt sich nicht nur aus den — im besonderen etwa durch die Höhenlage gegebenen — klimabedingten Einwirkungen auf die Karstentwicklung eine Vielfalt des Erscheinungsbildes der Karstlandschaft, sondern auch aus der unterschiedlichen Gesteinsbeschaffenheit. Die physiognomischen Verschiedenheiten innerhalb der Bereiche des sogenannten „Kalkkarstes" werden, wie erst kürzlich Laboratoriumsversuche über die Lösungsfreudigkeit verschiedener Kalke erwiesen haben, auch durch gesteinsbedingte Faktoren — unter anderem etwa durch den Gehalt an Magnesiumkarbonat, der die Lösungsfreudigkeit herabsetzt — hervorgerufen [15]. Das Nebeneinander von Kalken, die dem für die Karstentwicklung entscheidenden Lösungsvorgang gegenüber unterschiedliches Verhalten zeigen, ermöglicht es vielleicht, den Einfluß dieser Faktoren in der Natur abzuschätzen. Dieses Nebeneinander unterschiedlicher verkarstungsfähiger Gesteine ist in Salzburg zweifellos gegeben:

Im Salzburger Becken sind die klüftigen Mönchsbergkonglomerate, die als Reste des mindel-riß-interglazialen Deltas gedeutet werden [34], als Karstgestein aufzufassen. Rainberg und Hellbrunner Hügel sind aus diesem Gestein ebenso aufgebaut wie der Mönchsberg, der sogar eine an einer Kluft zur Ausbildung gelangte kleine Tropfsteinhöhle enthält.

Zwischen dem Kalkalpennordrand beim Gaisberg und dem Lammertal im Süden erstrecken sich die Berge der Osterhorngruppe. Für dieses Gebiet ist ein häufiger Wechsel in der Art des verkarstungsfähigen Gesteines typisch; die vielfach plattig ausgebildeten Schichtlagen begünstigen das Vorherrschen einer Bindung der unterirdischen Abflußwege und der Höhlen an Schichtflächen und an Schichtgrenzen. Hauptsächliche Träger des Karstphänomens sind im Norden der Hauptdolomit, dessen Verhalten in Bezug auf Verkarstungsvorgänge nicht einheitlich und nicht ohne weiteres generell zu charakterisieren ist, und der den Dolomit überlagernde Plattenkalk der oberen Trias. Die Karstlandschaft im Verbreitungsgebiet dieser beiden Gesteine entwickelt sich gegenwärtig meist unter einer geschlossenen Waldbedeckung.

Im Süden und im Osten der Osterhorngruppe, wo größere Gipfelhöhen erreicht und die Landoberflächen in der Almregion liegen, sind vorwiegend Jurakalke die Träger des Karstphänomens. Unter ihnen dürften die hornsteinführenden Oberalmer Kalke besonders „höhlenhold" sein. In den an das Haselgebirge der Werfener Schichten geknüpften Vorkommen von Gips bei Rigaus nördlich des Lammertales sind lokal begrenzte Gipskarstgebiete bekannt geworden, in denen es auch eine Anzahl von Gipshöhlen gibt. Die größte ist die 110 Meter lange, zum Naturdenkmal erklärte Gfatterhofhöhle, in deren Umgebung Gipsdolinen mit Dolinenschwinden inmitten eines Waldgebietes liegen.

Ähnlichen Charakter wie die Berge der Osterhorngruppe zeigen auch die Karstgebiete der westlich der Saalach an der Grenze gegen Bayern liegenden „kalkvoralpinen" Berge mit dem Dürrenbachhorn und dem Sonntagshorn; auch dort sind Jurakalke wesentlich am Gebirgsaufbau beteiligt.

In den Kalkhochalpen dominiert dagegen der Dachsteinkalk der oberen Trias als wohl verbreitetstes Karstgestein im mittleren Abschnitt der Nördlichen Kalkalpen. Die im gebankten Dachsteinkalk zur Entwicklung gelangte Ausprägung des „alpinen Hochkarstes" ist die für diesen Karsttypus kennzeichnende Ausprägung schlechthin geworden. Die großen Karsthöhlensysteme Österreichs mit ihren Riesenhallen und Abgründen liegen fast durchwegs im Dachsteinkalk; nicht selten sind tiefe, schachtartig ausgebildete Klüfte an den grauen, ungeschichteten Dachsteinriffkalk geknüpft, der zu vertikaler Klüftung besonders neigt. Die Ausdehnung der Kalkhochalpen und damit auch der „Dachsteinkalkplatten", die einen sperrenden Riegel quer durch das Land Salzburg legen, ist bedeutend. Von den Loferer und Leoganger Steinbergen im Westen zieht sich die Zone der Kalkhochalpenstöcke mit ihren Karstplateaus über das Steinerne Meer, den Hochkönig, das Hagen- und Tennengebirge bis zum Dachstein. Selbst kleine Gebirgsgruppen wie das Massiv des Hohen Göll zeigen Plateaureste. Der Untersberg ist weit gegen den Alpenrand hin vorgeschoben und vielleicht gerade deshalb in besonders starkem Grade der Verkarstung anheimgefallen. Seine Höhlendichte [42, S. 36] gehört zu den höchsten im Ostalpenraum.

Auch in den Zentralalpen sind Karstgebiete häufiger als man im ersten Augenblick vermuten würde.

Die Kalkglimmerschiefer in der Schieferhülle der Hohen Tauern sind nicht frei von Karsterscheinungen und das Unterostalpin der Radstädter Tauern besteht überhaupt zu einem wesentlichen Teil aus Triaskalken und -dolomiten, die ein unmittelbares Nebeneinander des kalkalpinen und des zentralalpinen Formenschatzes bewirken. Die stärkere Metamorphose der unterostalpinen Gesteine der Radstädter Decken gegenüber den Kalken der Kalkalpenzone bedingt zwar physiognomische Unterschiede des Kleinformenschatzes, verhindert oder beeinträchtigt aber keinesfalls die Karstentwicklung. Nördlich des Mosermandls gibt es Flächen in 2300 bis 2400 Meter Höhe, die an die typischen Plateauflächen des alpinen Hochkarstes in den Nördlichen Kalkalpen gemahnen. Galt dieses Gebiet früher als höhlenfrei, so weist das Höhlenverzeichnis des Landes Salzburg 1961 bereits 6 Höhlen auf [21], von denen die höchstgelegene — die Neukareishöhle im Faulkogel — sich in 2150 Meter Höhe öffnet.

In der landeskundlichen Literatur werden die Karstgebiete der westlichsten Niederen Tauern bei E. SEEFELDNER [34, S. 306] kurz erwähnt; in der höhlenkundlichen und karstmorphologischen Literatur sind sie so stiefmütterlich behandelt, daß eine Monographie oder eine zusammenfassende Würdigung des Karstphänomens im zentralalpinen Bereich Salzburgs noch ausständig ist. Dabei ist anzunehmen, daß gerade dort die Fortschritte der Verkarstung besondere Intensität erreichen, wo schmale Zonen von Kalkmarmoren, Kalklinsen oder Kalkbänke auftreten, die in kristalline Gesteine eingesprengt sind. Diese Annahme beruht auf den Erfahrungen aus der Nixlucke beim Klippitztörl (Saualpe, Kärnten), aus den Höhlen in den Hochstegenkalken des obersten Tuxertales bei Hintertux (Tirol) und auch vom Südabfall des Preber an der salzburgisch-steirischen Grenze. Dort verläuft das auf weite Strecken

hin nur kriechend befahrbare Bischofsloch in einem schmalen Band von Kalkmarmoren und die Gänge sind vielfach so angelegt, daß eine Begrenzungswand von den an den Kalk anschließenden kristallinen Gesteinen gebildet wird.

Daß auch die schmalen Zonen, die die Klammkalke am Nordrand der Hohen Tauern einnehmen und in denen die berühmten Klammstrecken des Gasteinertales, Großarltales und Raurisertales entwickelt sind, nur scheinbar oberirdisch entwässert werden — die Bäche in den Klammen sind wasserreiche Fremdgerinne, die aus nicht verkarstungsfähigen Gesteinen kommen und durch ihre rasche Tiefenerosion der Verkarstung entgehen konnten — ist durch praktische Forschungsergebnisse ebenfalls hinlänglich erwiesen. In der „Entrischen Kirche", der größten Höhle dieser Zone, sind erst vor kurzem große Fortsetzungen entdeckt worden, in denen ein unterirdischer Bachlauf nun weiter als in den bisher bekannten Strecken verfolgt werden kann. In diesem Zusammenhang ist als weiterer Hinweis auf eine größere Ausdehnung verkarsteten Gebietes auch der von G. HORNINGER beschriebene Einbruch von Thermalwasser aus einem Karsthohlraum zu erwähnen, den das Anschneiden dieses Hohlraumes beim Bau eines Stollens für das Salzachkraftwerk bei Lend zur Folge hatte [22].

3. Das Aussagen der vorliegenden Verbreitungskarten

Die erste einschlägige Übersichtskarte, die zu erwähnen ist, stellt die bei der Kartographischen Anstalt G. Freytag & Berndt A.G. in Wien gedruckte „Höhlenkarte des Landes Salzburg und seiner Grenzgebirge" im Maßstab 1 : 250 000 dar, die vom Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg im Jahre 1926 als Beilage zu einer Monographie der Höhlen Salzburgs [9] herausgegeben wurde. Diese Karte hält lediglich den Forschungsstand des Jahres 1925 fest und läßt kaum noch karst- und höhlenkundliche Folgerungen zu. In ihr sind 152 Höhlen eingezeichnet, die sehr subjektiv zwei mit unterschiedlichen Signaturen versehenen Kategorien — „größere und wichtigere Höhlen" und „minder wichtige Höhlen" — zugeordnet werden. Beziehungen zwischen Höhlen und Karstgebieten sind nicht dargestellt; dies entspricht der damaligen Arbeitsrichtung der praktischen Höhlenforschung, die eine Bestandsaufnahme der vorhandenen Höhlen als vordringlichste Aufgabe betrachtete und in Salzburg karstkundlich kaum tätig war.

Die Höhlenverbreitungskarte von Österreich im Maßstab 1 : 2 500 000, die F. WALDNER 1948 als ersten Versuch einer topographischen Übersicht veröffentlichte, läßt trotz der Einfachheit der Darstellung — es wurde jede lokalisierbare Höhle ohne Unterschied der Art, Größe und Bedeutung mit einem Punkt versehen [44] — bereits eine Verdichtung der Höhlen im Kalkalpenbereich beiderseits des Salzachtales erkennen.

Im Salzburg-Atlas hat G. ABEL ein Kartenblatt über die Höhlen dieses Bundeslandes gestaltet; in einer Darstellung „Höhlengebiete in und um Salzburg" im Maßstab 1 : 1 000 000 werden Gebiete „geringen", „reichen" und „sehr reichen Höhlenvorkommens" umgrenzt; eine Beziehung zum geologischen Bau oder zur Verbreitung des Karstes wird nicht hergestellt. Dient diese Übersichtskarte einer allgemeinen Orientierung, so lassen die beiden weiteren Teilkarten des Blattes bereits die Erarbeitung interessanter Fragestellungen zu. Es sind Höhlenverbreitungskarten des Untersberges im Maßstab 1 : 80 000 und des Hagen- und Tennengebirges im Maßstab 1 : 100 000. Das Hagengebirge weist die gleichmäßigste „Streuung" der Höhlen auf, das Tennengebirge eine „Konzentration" der Höhlen am Süd- und Südwestrand. Es bleibt offen, ob

dieser Unterschied nur mit einer unterschiedlichen Bearbeitung erklärt werden kann; das Tennengebirge ist schließlich weitaus bekannter und häufiger begangen als das Hagengebirge. Auffallend ist auch die Häufung der Höhlen im Nordostteil des Untersberges und an dessen Steilabstürzen [1].

In der Karte „Karsttypen und Höhlenverbreitung" des Österreich-Atlas, die 1965 erschien und die der Verfasser besorgte [40], ist der Versuch unternommen, die Häufigkeit von Höhlen neben dem kennzeichnenden Landschaftsbild als Kriterium für eine Unterscheidung von Karsttypen heranzuziehen. Diese Karte bringt eine karstgeologische und karstmorphologische Sonderstellung des Mittelteiles der Nördlichen Kalkalpen mit dem Zentrum im Raum zwischen Salzachtal und Trauntal mit überraschender Deutlichkeit zum Ausdruck. An einem ursächlichen Zusammenhang zwischen der Häufung von Groß- und Riesenhöhlen und der Verbreitung von Gebieten mit Plateauverkarstung ist kaum mehr zu zweifeln.

Immerhin läßt auch diese Karte erkennen, daß dem Südwestteil des Tennengebirges in Zahl und Bedeutung der Karsthöhlen innerhalb dieses Gebirgsstockes eine ähnliche „Vorrangstellung" zukommt wie den Nordabstürzen des östlich benachbarten Dachsteinstockes im Raume von Hallstatt und Obertraun. Die jüngsten Ergebnisse der Höhlenforschung mahnen aber bei der Suche nach den Ursachen dieser Vorrangstellung zur Vorsicht: sind doch die ersten Großhöhlen am Tennengebirgsnordrand, die nicht mit den Austrittsstellen der großen Karstriesenquellen dieses Gebietes (Winnerfall, Tricklfall) in Beziehung gesetzt werden können, von W. Klappacher beschrieben worden [24]. Im Laufe des Jahres 1966 wurde die Bergerhöhle in diesem Gebiet auf 2,5 km Länge erforscht, die Untere Platteneck-Eishöhle auf 1,8 km Länge; die Obere Platteneck-Eishöhle wurde erst informativ erkundet, die Röteishöhle neu entdeckt — und in keiner der Höhlen konnten die Forschungen abgeschlossen werden. Es scheint, daß sich in einer Höhlenverbreitungskarte nun auch der bisher spärlicher mit Zeichen besetzte Nordteil des Tennengebirges stärker „füllt" und man mit einer Gesamtbeurteilung der Genese des Karstformenschatzes noch zuwarten müßte.

4. Karsttypen und Höhlentypen

Einen systematischen Versuch, verschiedene „Karsttypen" zu unterscheiden, hat im Ostalpenraum meines Wissens keiner der karstkundlich tätigen Forscher der früheren Zeit unternommen. H. Bock hat — um an Hand einiger Literaturhinweise den Werdegang einer Karsttypenlehre zu erläutern — in einer Arbeit im Jahre 1913 verschiedene Karsttypen (Cevennentypus, alpiner Typus u. dgl.) unterschieden, die Unterschiede des Landschaftsbildes in den verschiedenen Karstgebieten jedoch mehr oder minder ausschließlich mit einem ungleichen Entwicklungsstadium zu erklären versucht, das von einem „ausgereiften" Zustand noch verschieden weit entfernt ist. O. Lehmann spricht 1927 schon vom „Hochkarst" des Toten Gebirges, und hat damit einen weitgehend exakt umgrenzten Begriff für einen bestimmten Karsttypus geschaffen [28], der sich allgemein durchgesetzt hat. Daß die Entwicklung des „voralpinen Karstes" anderen Gesetzmäßigkeiten unterliegt, hat G. Götzinger unter Verwendung eben dieses Begriffes nachgewiesen [18].

Damit sind Hinweise darauf gegeben, daß es notwendig ist, innerhalb der Alpen Karsttypen zu unterscheiden, die nach petrographischen, geomorphologischen und klimatischen Merkmalen charakterisiert werden. Innerhalb der Karstgebiete Salzburgs lassen sich — ich folge dabei der von mir gewählten

Typengliederung der oben erwähnten Karte im Österreich-Atlas (1965) — folgende Karsttypen unterscheiden:

a) Alpiner Hochkarst

Darunter sind Karstgebiete in Gebieten mit vorwiegendem Plateaucharakter über der Baumgrenze zu verstehen, die nur zu einem geringen Teil fleckenhaft eine Vegetationsdecke tragen. Der alpine Hochkarst erstreckt sich über Hochflächen mit stark bewegtem Relief, in dem eine durch Verkarstung und zeitweise Vergletscherung umgestaltete, in wesentlichen Zügen aber konservierte Erosionslandschaft erkannt wird. Dolinen und Karrenfelder beherrschen das Landschaftsbild in unterschiedlicher Dichte. In manchen Zonen ist eine Häufung von Schachtdolinen und Karstschächten, die bedeutende Tiefe erreichen können, auffallend. Unterhalb der Hochflächen verlaufen bei verschiedener Mächtigkeit der Gesteinsüberlagerung verzweigte Karsthöhlensysteme mit überwiegender Horizontalentwicklung, in die stellenweise ebenfalls Schachtzonen eingeschaltet sind. Der Verlauf der Höhlengänge ist an tektonische Störungsflächen geknüpft. Der typische alpine Hochkarst ist fast immer an das Auftreten des Dachsteinkalkes gebunden. In Salzburg gehören dem alpinen Hochkarst im wesentlichen die Hochflächen oder Hochflächenteile des Untersberges, des Steinernen Meeres, des Hochkönigs, des Hagengebirges und des Tennengebirges an.

b) Felskarst

Darunter sind jene Gebiete zu verstehen, die aus verkarstungsfähigen Gesteinen bestehen, als Karstlandschaften aufzufassen sind, aber keine oder nahezu keine typischen oberirdischen Karsterscheinungen aufzuweisen haben. Die felsigen, teilweise schuttverkleideten Steilhänge am Rande der Kalkplateaus reichen häufig — etwa im Salzachdurchbruch beim Paß Lueg — weit unter die Waldgrenze, ja bis an die Talsohle herab. Der Felskarst läßt die starke Zerklüftung der Gesteine in der Zone der Kalkhochalpen erkennen; in den Steilhängen oder Felswänden öffnen sich die Eingänge zu jenen Horizontalhöhlen, die unter dem alpinen Hochkarst verlaufen.

Eindrucksvolle Beispiele für den typischen „Felskarst“ im zitierten Sinne bieten die Westabstürze des Tennengebirges und der fast 1500 Meter hohe Steilabfall des Kammes zwischen Hohem und Kleinem Göll zum Bluntautal mit dem Eingang zur tiefsten Höhle Österreichs, der Gruberhornhöhle.

c) Plateaukarst über der Baumgrenze im Grünkarst-Bereich

Zum Unterschied vom alpinen Hochkarst ist der Plateaukarst im Grünkarstbereich durch das Vorhandensein einer mehr oder minder geschlossenen Vegetationsdecke gekennzeichnet. Es handelt sich dabei um Matten und Karstweiden, stellenweise durch niedrige Sträucher gegliedert. In vielen Fällen sind derartige Plateaukarst-Gebiete almwirtschaftlich genutzt. Felswände treten stellenweise, vielfach in Abhängigkeit von geologischen Gegebenheiten, auf, besitzen aber im Gesamtbild der Landschaft untergeordnete Bedeutung. Als Karstformen treten Trichterdolinen oder Schüsseldolinen mit flach geböschten Hängen, vielfach aber auch größere seichte Karstmulden (Wannen) auf. Gelegentlich gibt es unvermittelte Schachteinstiege (Erdfälle), wie etwa jenen des „Schiachen Lochs“ beim Hochwieskopf (Osterhorngruppe). Im allgemeinen

sind nur wenige Höhlen zugänglich; möglicherweise sind die Eingänge zu vorhandenen Gangsystemen durch Hangschutt und Bodenbildungen verschüttet und unkenntlich.

Flächen, die diesem Karsttypus angehören, sind in Salzburg im Gebiet des Trattberges und auf den Hochflächenteilen südlich des Kammes Schlenken-Schmittenstein entwickelt.

d) Plateaukarst unter der Baumgrenze

Der Plateaukarst unter der Baumgrenze ist in keinem Gebiete Österreichs in so großer und räumlich geschlossener Ausdehnung vorhanden wie im Raume der Osterhorngruppe. Die Tanneben im Mittelsteirischen Karst, die Hohe Wand in Niederösterreich und das Sengsengebirge in Oberösterreich, die gleichartigen Charakter aufweisen, bedecken weitaus geringere Flächen. Teilweise ist schütterer Karstwald in dieser Zone entwickelt, teilweise dichterer Hochwald. Die Plateauflächen sind durch einzelne tiefere, fallweise noch von Gerinnen durchflossene Gräben gegliedert; an den Hängen sind nicht selten die Eingänge in Mittel- oder Großhöhlen aufgeschlossen. Das Kleinrelief ist infolge des dichteren Bewuchses schwer zu überblicken; die größeren Dolinen und Karstmulden bleiben „unauffällig".

Ein typisches Gebiet, das diesem Karsttypus angehört, ist jenes der Taugl mit seinen vielen aktiven Wasserhöhlen und einem noch nicht der Verkarstung anheimgefallenen Hauptgerinne, dessen Zuflüsse größtenteils aus Karstquellen stammen. Auch der Mühlstein bei Elsbethen ist diesem Karsttypus zuzurechnen.

e) Voralpiner Mittelgebirgskarst

Dieser Karsttypus ist dadurch gekennzeichnet, daß Schneiden mit steileren Hängen ausgebildet sind und oberirdische Karsterscheinungen wie Dolinen, Karrenfelder u. dgl. vollkommen oder weitgehend fehlen. Lediglich der Mangel an Quellen und kleinen Bächen weist diese Zonen als Karstgebiete aus.

Gebiete dieses Typus sind sowohl in den Chiemgauer Voralpen als auch in den niederösterreichischen Kalkvoralpen recht ausgedehnt, in Salzburg jedoch wenig verbreitet. Man kann das Gebiet der Barmsteine bei Hallein zwischen dem Tal der Königsseer Ache und dem Salzachtal diesem Karsttypus zuzählen.

f) Gipskarst

Die Gipskarstgebiete sind räumlich nicht sehr ausgedehnt; in Salzburg sind jene von Rigaus nördlich von Abtenau beachtenswert, auf die bereits hingewiesen wurde.

Welche der gesteinsbedingten, klimabedingten, vegetationsbedingten und anthropogenen Faktoren, die das Erscheinungsbild der Karstlandschaft beeinflussen, jeweils einen merkbaren, starken oder dominierenden Einfluß auf die Physiognomie der Landschaft ausüben und wie weit im Zusammenspiel dieser Faktoren die Unterschiede zwischen den einzelnen Karsttypen definiert werden können, bleibt Gegenstand eines vergleichenden Studiums. Es scheint, daß den einzelnen Karsttypen auch verschiedene Höhlentypen zuzuordnen sind. Im Formenschatz der Karsthöhlen dürften klimabedingte Unterschiede und gesteinsbedingte Unterschiede zwischen den einzelnen Typen leichter zu erfassen und auseinanderzuhalten sein als im Formenschatz der oberirdischen Karsterscheinungen. Diesbezügliche Untersuchungen erscheinen im Raume des Bundeslandes Salzburg recht aussichtsreich.

II. Der Stand der karst- und höhlenkundlichen Forschung in Salzburg

1. Übersicht über die Etappen der Entwicklung

Eine erste Phase der Erfassung karst- und höhlenkundlicher Phänomene und Probleme fällt in die letzten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts. Sie ist vor allem mit den Namen A. POSSELT-CZORICH, E. RICHTER und E. FUGGER verknüpft, beschränkt sich aber im allgemeinen auf Untersuchungen einiger weniger Studienobjekte. In der Zeit der großen karstmorphologischen und karsthydrographischen Diskussionen um die Wende des 19. zum 20. Jahrhundert lag das Zentrum der Forschung außerhalb des heutigen österreichischen Staatsgebietes; innerhalb der heutigen Grenzen fanden im wesentlichen nur der mittelsteirische Karst und später das Dachsteingebiet nähere Beachtung, nicht aber Salzburg. Eine der ersten Arbeiten über Karrenfelder, die sich auf das Steinerne Meer bezog, erschien damals im Ausland in französischer Sprache [7].

Die systematische Erforschung der Höhlen Salzburgs setzt 1911 mit der Gründung des Landesvereines für Höhlenkunde in Salzburg ein. Die Geschichte der Salzburger Höhlenforschung für die folgende Zeit bis zum zweiten Weltkrieg hat E. ANGERMAYER eingehend zusammengestellt [4]. Die Forschung konzentrierte sich zunächst auf die Eisriesenwelt im Tennengebirge [10], deren Gesamtlänge mit 42 km bei einem Gesamthöhenunterschied von 407 m angegeben wird [3] und die damit eine der größten Höhlen der Erde ist. Nach und nach folgte eine systematische Bestandsaufnahme der Höhlen des Landes, aber noch immer mit dem Forschungsschwerpunkt am Nord- und Westrand des Tennengebirges. In einer Salzburg und seine Grenzgebiete umfassenden speläologischen Monographie gab W. CZOERNIG 1926 eine Bilanz der bis dahin durchgeführten Arbeiten [9]. In den späteren Jahren widmete sich vor allem G. ABEL der Führung des Höhlenkatasters und der Planaufnahme der erforschten Höhlen.

Nach dem zweiten Weltkrieg wurden teilweise unter Anwendung neu entwickelter Befahrungsgeräte und in Großeinsätzen mit Expeditionscharakter die derzeit bedeutendsten Höhlen Salzburgs erkundet, vor allem die Tantalhöhle im Hagengebirge [29], die Jägerbrunntroghöhle [41], die Gruberhornhöhle [23] und das Höhlengebiet des Bergeralpl am Nordfuß des Tennengebirges [24]. Gipfelte diese jüngste Etappe der Forschung in einer ersten Diskussion, die der Zusammenfassung der Arbeitsergebnisse gewidmet war und über die noch zu sprechen sein wird (vgl. III. 3. und III. 4.), so beschränkte sich die karstkundliche Bearbeitung, die nahezu unabhängig von der höhlenkundlichen Aufnahme erfolgte, auf die Bearbeitung einzelner Kalkstöcke. Von J. GOLDBERGER wurde der Hochkönig [16, 17], von K. HASERODT das Hagengebirge [19] eingehender untersucht.

2. Beurteilung des gegenwärtigen Forschungsstandes

Trotz der großen Leistungen, die bereits zu verzeichnen sind, sind meines Erachtens die über den Karst und die Höhlen Salzburgs vorliegenden Resultate derzeit für eine abschließende Beurteilung noch nicht ausreichend. Auch für ein Urteil über den geologischen — besonders quartärgeologischen —, geomorphologischen und klimageschichtlichen Aussagewert der Höhlen und Karsterscheinungen dieses Bundeslandes scheint die Zeit noch nicht ganz reif zu sein. Der Satz, daß die Studien und Entdeckungen des letzten Jahrzehnts uns „erst recht die schmale Basis zum Bewußtsein gebracht haben, auf der alle

unsere Ansichten und Theorien aufbauen" [39], hat durch die Entwicklung der Jahre 1965 und 1966 seine volle Bestätigung erfahren.

Die Frage der Höhen- und Altersgliederung der Karstformen, ein wesentliches Anliegen der geomorphologischen Forschung, wäre — in vergleichender Darstellung zu der Studie von K. HASERODT [19] — vor allem für Tennengebirge und Untersberg, aber auch für Gebiete mit voralpinem Karsttypus, noch zu untersuchen. Sowohl für das Tennengebirge als auch für weite Teile der Berchtesgadener Alpen fehlen bis heute karstkundliche Gesamtbearbeitungen oder Kartierungen der wesentlichen Karsterscheinungen, wie sie seit O. LEHMANN für das Tote Gebirge [28], aber aus neuerer Zeit u. a. auch für Warschenecк [45] und Schneealpe [27] bestehen. Auch für das Gebiet der Steinberge ist eine karstkundliche Untersuchung noch ausständig, obwohl gerade dort durch die Überwindung des Bocksiphons im Lamprechtsofen, einer altbekannten Höhle, kilometerlange Gangstrecken mit unterirdischen Gerinnen und Höhlenseen angefahren worden sind, die ein tiefes Eindringen in den Gebirgskörper ermöglichen. Zum Unterschied von den Verhältnissen in den meisten anderen Kalkhochalpenstöcken ist damit ein beispielhafter direkter Einblick in die unterirdischen Abflußverhältnisse gegeben [38], der sonst nur auf dem Umweg über Triftversuche annähernd gewonnen werden könnte. Leider ist die Fortsetzung der Forschungen durch die zwingende Notwendigkeit behindert, jede Gefährdung der Forscher durch plötzliche Wassereinbrüche zu vermeiden, und daher nur bei bestimmten Wetterlagen im Hochwinter möglich.

Daß bei der Bearbeitung der Höhlen damit zu rechnen ist, daß die Zahl der noch nicht entdeckten Hohlräume und Systeme jene der bekannten um ein Vielfaches übertrifft, ist eine Erkenntnis, die sich ebenfalls immer mehr und mehr durchsetzt. Die Existenz einer großen Zahl von „Höhlen ohne Eingänge" ist auch für Salzburg anzunehmen, obwohl 1966 schon mehr als 700 Höhlen katastermäßig erfaßt sind, gegenüber nur 252 im Jahre 1926. Es sei an dieser Stelle nur kurz erwähnt, daß von den vier Riesenhöhlen (das sind Höhlen mit mehr als 5 km Gesamtganglänge) in Salzburg drei erst im Laufe der letzten 25 Jahre bekannt wurden.

Eine günstige Voraussetzung für den Weiterbau auf den Fundamenten, die die ältere Generation von Höhlenforschern aufgebaut hat, ist in der Tatsache gegeben, daß von den Anfängen der speläologischen Erkundung bis zur Gegenwart eine kontinuierliche Entwicklung in organisatorischer Hinsicht vor sich ging. Daher gibt einerseits das Archivmaterial des Landesvereines für Höhlenkunde in Salzburg ziemlich lückenlos Auskunft über die Etappen der Forschung und andererseits wird das Ergebnis der Aufsammlungen aus Höhlen (Sedimentproben, Gesteinsproben, paläontologische Funde usw.) weitgehend geschlossen im „Haus der Natur" aufbewahrt. Damit sind viele Vergleichsmöglichkeiten gegeben, die anderswo fehlen. Im alpinen Raum liegen beispielsweise aus dem 19. Jahrhundert aus keiner Höhle ähnliche Meß- und Beobachtungsreihen vor, die ohne weiteres mit den gegenwärtigen Verhältnissen in Beziehung gebracht werden können, wie jene von E. FUGGER aus Eishöhlen des Untersberges [14].

Schließlich muß auch erwähnt werden, daß die wissenschaftliche Detailbearbeitung der neu entdeckten und vom Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg unter schwierigsten Bedingungen stets sofort nach der Auffindung vermessenen Höhlen mit dem Tempo der praktischen Erkundungen nicht Schritt halten konnte und kann. Die so nötige fruchtbare Diskussion der Probleme der

Höhlenentwicklung leidet darunter, daß die meisten derjenigen, die zu Beiträgen und Stellungnahmen berufen wären, die in Frage kommenden Systeme (Tantalhöhle, Gruberhornhöhle u. a.) nicht kennen oder infolge der touristischen Schwierigkeiten einer Befahrung gar nicht kennenlernen können.

So erweist sich bei näherer Betrachtung der erreichte Foschungsstand als eine Verpflichtung für zielstrebige künftige Arbeit, weit entfernt von einem Abschluß. In der Erfassung und Aufnahme der Höhlen scheint trotz der ihr entgegenstehenden Schwierigkeiten ein Vorsprung gegenüber der Erfassung der oberirdischen Karsterscheinungen zu bestehen; über den Mangel einer Synthese zwischen beiden Arbeitsrichtungen wird noch zu sprechen sein [III. 4.].

III. Forschungsschwerpunkte, Aufgaben und Probleme

1. Das Karstphänomen im Rahmen der geomorphologischen Entwicklung

Von den verschiedenen Faktoren, die die Oberflächenformen der Nördlichen Kalkalpen formen und modifizieren, kommt dem Karstphänomen besondere Bedeutung zu. Die übliche Auffassung über die Landschaftsentwicklung geht von der Annahme aus, daß am Beginn der Ausgestaltung des gegenwärtigen Reliefs nach den hauptsächlich im Alttertiär vor sich gegangenen Faltungs- und Überschiebungsphasen im Ostalpenraum durchwegs oberirdische Entwässerung herrschte. Diese oberirdische, konsequente Entwässerung durch einheitliche Gerinne aus den Zentralalpen über die heutigen Kalkalpen hinweg zum Vorland wird nicht nur für die hypothetische „Augensteinlandschaft", sondern auch für die älteste tatsächlich erfaßbare Landoberfläche angenommen, eine Mittelgebirgslandschaft mit Kuppen und Erosionstälern.

Folgerichtig muß daher auch angenommen werden, daß der Bereich der Nördlichen Kalkalpen damals noch nicht stark über den Meeresspiegel gehoben, noch nicht verkarstet war, obwohl mit einem zumindest subtropischen Warmklima für diese Zeit zu rechnen ist, das Verkarstungsvorgänge stark begünstigt. Selbst als aus diesem Flachrelief durch großräumige Aufwölbungen („Großfaltenwurf") das bis in die Gegenwart vererbte Relief der „Altlandschaft" auf den Kalkhochflächen entwickelt wurde, muß der oberirdische Abfluß noch eine wesentliche, ja zunächst die ausschlaggebende Komponente des Gesamtabflusses gewesen sein. Dies geht daraus hervor, daß die Altlandschaft der Plateauflächen eindeutig erosiv gestaltete Talnetze mit Wasserscheiden innerhalb der heute noch erhaltenen Hochflächenstücke erkennen läßt. Die oberirdische Entwässerung ging dabei zu den wenigen wasserreichen Flüssen, die sich trotz der Aufwölbungen und trotz der Anlage der nördlichen Längstalfurche als konsequente Gerinne aus dem Raum südlich der Kalkalpen behaupten konnten. Die Entstehung dieses Talnetzes wäre nicht denkbar, wenn zu diesem Zeitpunkt die Karstentwicklung bereits weit fortgeschritten gewesen wäre.

Andererseits werfen verschiedene Beobachtungen aus den Salzburger Kalkalpen die Frage auf, ob diese Altlandschaft wirklich völlig frei von Karstformen war. Es ist anzunehmen, daß nicht alle Restformen älterer Höhlenbildungs- und Verkarstungszyklen [36] restlos zerstört oder abgetragen waren, als die Entwicklung der oberirdisch entwässerten Altlandschaft sich vollzog. Es könnte sein, daß die von eisenschüssigen Quarzsandsteinen ausgefüllten Karstgassen, die K. HASERODT [19] im Hagengebirge beobachtet hat, als Restformen eines älteren Karstreliefs zu deuten sind. Da vollständig sedi-

menterfüllte Karsthohlformen lange Zeit hindurch konserviert werden — man denke etwa an die Ausgrabungen von Kirchfidisch (Burgenland), wo ein Höhlenraum in der Raumgestaltung freigelegt werden konnte, die er im Pliozän hatte, als die Raumentwicklung zum Stillstand kam — könnte eine systematische Suche und eine Studie über das Vorhandensein und die regionale Verbreitung tertiärer Spalten- und Kluftfüllungen in den Salzburger Kalkalpen zu dieser Frage Beiträge leisten.

Ich bin der Meinung, daß außer älteren Karst-Restformen auch „neue" Karstformen entstanden, während die erosive Gestaltung der Altlandschaft noch weiterging. Verkarstungsvorgänge hatten lokal bereits neben der oberirdischen Entwässerung eingesetzt. Es scheint mir, daß jene Auffassung einer Revision bedarf, die ein verstärktes Einsetzen der Verkarstung als spätere Entwicklungsphase ansehen will, die sich zeitlich mehr oder weniger scharf von der früheren Entwicklungsphase der oberirdischen Entwässerung abhebt. Es ist sicher unrichtig, schematisch anzunehmen, daß etwa eine Hebungsphase im kalkalpinen Raum mit einem Schlag das oberirdische Entwässerungsnetz stillgelegt und unterirdische Vertikalentwässerung in die Tiefe mit sich gebracht hätte. Die beiden Phasen griffen durch lange Zeiträume ineinander über, so daß ein allmählicher Übergang — vielleicht mit wechselnder Geschwindigkeit — zu verzeichnen war.

Dies äußerte sich wohl darin, daß nach und nach die flächenmäßige Ausdehnung des unterirdisch entwässerten Gebietes zunahm, die kleinen und kleinsten Gerinne zunächst zeitweise und schließlich zur Gänze trockengelegt wurden, und schließlich eine Verarmung des oberirdischen Gewässernetzes eintrat. Während größere Gerinne lange Zeit die Kraft hatten, der Versinkung Widerstand zu leisten und ihre Täler erosiv tiefer zu legen, verschwanden kleinere rasch; ihre Täler erscheinen als Taltorsi oder Hängetäler im Relief der Altlandschaft. Einzelne Täler zerschneiden die Plateauflächen der Kalkhochalpenstöcke einige hundert Meter tief; sie waren von Restflüssen wohl noch durch flossen, als die jungtertiäre Verkarstung schon große Fortschritte gemacht hatte. Es ist der Gedanke naheliegend, daß jede der Hebungsphasen, die die Kalkalpen vom Jungtertiär an betraf, einerseits die Verkarstung förderte, andererseits aber in den immer spärlicher werdenden Restgerinnen einen neuen Impuls weiterer Tiefenerosion verursachte. Vielleicht ergibt eine vergleichende Analyse des Talnetzes der Altlandschaft im Hinblick auf eine frühere oder spätere Stillegung der einzelnen Täler, bzw. Talstücke für die Salzburger Kalkalpen Hinweise auf eine etappenweise erfolgende Versinkung der Gerinne, die mit den Hebungsphasen parallelisiert werden könnte. Der Versuch dazu sollte wohl gemacht werden, obwohl die Umgestaltung gerade der Altlandschaftstäler im Pleistozän die Spuren, auf deren Erkennen es dabei ankommt (Mündungsstufen, Randschwellen an den Plateaurändern, auch Erosionsterrassen der Durchbruchstäler u. a. m.), weitgehend verwischt hat. Andererseits sind die in Frage kommenden bedeutenderen Täler der Altlandschaft in eine Kette großer Karsthohlformen aufgelöst — K. HASERODT hat in diesem Zusammenhang jüngst von einer Uvala-Kette gesprochen — deren Randschwellen jeweils unter Berücksichtigung des seit damals zu erwartenden Kalkabtrags gute Anhaltspunkte für den Verlauf des ehemaligen Talbodens bieten. Diese Karsthohlformen werden ziemlich übereinstimmend den ältesten auf den Kalkhochflächen vorhandenen oberirdischen Karstformen zugezählt und ihre Anlage für das Pliozän angenommen.

Im Bereich der Kuppen und Hochflächenteile zwischen den noch aktiven Tälern, deren erosives Einschneiden dieser Auffassung zufolge erst im Laufe des Pliozän ein Ende gefunden hat, gab es jedenfalls schon vor diesem Ende eine Tiefenverkarstung. Es ist ohne weiteres denkbar, daß diese noch im Tertiär stellenweise so weit ging, daß eine Karstzirkulation im Gesteinskörper unterhalb der noch bestehenden Oberflächengerinne oder deren Restabschnitte, aber hydrographisch von diesen unabhängig, vorhanden war. Es wäre das jene Situation, die auch unter den gegenwärtigen Bedingungen zu bestimmten Jahreszeiten (Schneeschmelze, Hochwassersituation nach starken Regenfällen) eintritt, wenn Trockentälchen an der Oberfläche des Gebietes mit unterirdischer Entwässerung für kürzere oder längere Zeit wieder aktiv werden. Diese jungtertiäre Tiefenverkarstung bedingt auch die einsetzende Raumentwicklung der Höhlen der Salzburger Kalkalpen, die im Rahmen der allgemeinen geomorphologischen, bzw. karstmorphologischen Entwicklung der Oberfläche gesehen werden muß. Die vorwiegend korrosive Erweiterung der bei den Überschiebungen und Aufwölbungen entstandenen Klüfte und Verwerfungen zu Höhlengängen ist ein Teilvorgang innerhalb der allgemeinen, lokal auf die Kalkalpenstöcke beschränkten Entwicklung von der oberirdischen zur unterirdischen Entwässerung. Diese Raumerweiterung hat je nach den örtlichen Verhältnissen zu verschiedenen Zeitpunkten eingesetzt: die Höhlensysteme oder die Teile eines Höhlensystems sind schon aus diesem Grunde verschieden alt.

Die Vorstellung, daß sich die Kluftsysteme und Verwerfungen nach und nach — vielleicht sogar mit etappenweiser Beschleunigung bei zunehmender Heraushebung der Kalkalpen — zu Höhlenräumen entwickelten, während die größeren Flüsse, insbesondere jene, die aus den Zentralalpen kamen — wie die jungtertiären Vorläufer der Saalach und der Salzach — die Kraft hatten, das Ausmaß der Hebung durch verstärkte Tiefenerosion zu kompensieren und so der Verkarstung zu entgehen, läßt meines Erachtens keinen Platz für die Annahme zentralalpiner Flüsse, die die Kalkzone durchtunnelten und so die Höhlensysteme schufen. W. KRIEG [26] hat erst kürzlich wieder die Meinung vertreten, daß die Entwicklung der Höhlen Flüssen zu verdanken sei, die aus dem zentralalpinen Raum kamen und quer durch die Nördlichen Kalkalpen einem nordöstlich gelegenen Vorfluter zugingen. Abgesehen von der oben vorgebrachten Überlegung würde ich auch im Verlauf und in der Anlage der mir bekannten Höhlen keine Anhaltspunkte für eine derartige Annahme finden. Daß Augensande und Augensteinschotter in den Höhlen nicht durch Höhlenflüsse in ihre heutige Position gebracht wurden, sondern mehrfach Umlagerungen hinter sich haben und erst viel später den schon längst gebildeten Höhlenraum als Sediment ausfüllten, ist an vielen Stellen erwiesen; ihr Vorkommen in Höhlen ist daher für die Annahme von Höhlenflüssen einer tertiären konsequenten Entwässerung nicht beweiskräftig.

Immerhin ist die Einordnung der verschiedenen Phasen der Höhlenentwicklung in die karstmorphologische und karsthydrographische Entwicklung der Salzburger Kalkalpen ein Forschungsproblem, dem große Aufmerksamkeit zugewendet werden sollte.

Auch das Wechselspiel zwischen Karstformenentwicklung in den Warmzeiten und glazialer Überformung der Oberflächen in den Kaltzeiten des Pleistozäns sollte im Tennengebirge und in anderen Kalkplateaus der Salzburger Kalkalpen möglichst exakt analysiert werden. Vielleicht wird es einmal möglich, die „präwürmzeitlichen“ Kalkbrekzien in Karsthohlformen der Hochflächen mit

Hilfe absoluter Altersbestimmungen zu gliedern und ihre Altersstellung klarer zu erfassen. Zweifellos haben wir selbst auf der Kuppenlandschaft mit ihren auch sehr „alten" asymmetrischen Gipfeldolinen mit einer flächenhaften Abtragung während des Pleistozäns zu rechnen; zweifellos brachten die Interglazialzeiten bedeutende Eintiefungen in den Dolinen und Karstmulden der Hochflächen zustande. Das Wort von der Konservierung der Altlandschaft im Karst gilt daher nur mit Einschränkungen: die Altlandschaft läßt sich noch rekonstruieren, sie ist aber durch Karst- und Gletscherwirkung und deren Zusammenspiel im ganzen doch bedeutend umgestaltet worden.

Zur Frage der Karstentwicklung unter einer Gletscherbedeckung liefern vielleicht sowohl der Oberflächenkarst als auch die Höhlensedimente der Kalkhochalpen wichtige Beiträge, wenn diesbezügliche Untersuchungen einsetzen. Derzeit gehen die Auffassungen auch darüber weit auseinander. J. CORBEL nimmt an, daß während der Kaltzeiten unter einer verhältnismäßig geringmächtigen oberflächennahen Gesteinsschichte, in deren Fugen das Wasser im Sommer auftaut, die alpinen Kalkstöcke der „Tjäle", der ewigen Gefrornis, angehörten, und daß daher weder ein Eindringen von Sickerwässern in das Bergmassiv noch eine Weiterentwicklung von Karstformen im tieferen Untergrund unter den pleistozänen Plateaugletschern möglich gewesen sei [8]. K. HASERODT andererseits führt die Häufung von Schachthöhlen („Karstschloten") in Höhenlagen von 1600 bis 2450 m im Hagengebirge auf subglaziale Schmelzwässer zurück, die unter der in dieser Höhenlage besonders mächtigen Eisdecke vorhanden waren [19]. Er spricht sogar von einer höhengebundenen Häufung, die von dem in dieser Höhe besonders reichen Schmelzwasserangebot abzuleiten sei.

Meines Erachtens sind beide Ansichten zu extrem formuliert. Zur Erklärung der Häufigkeit von Schachthöhlen in dieser Höhenlage kann — um ein Beispiel anzuführen — wohl schon darin eine ausreichende Begründung gesehen werden, daß das flach ausgebreitete Mittelgebirgsrelief der Hochflächen eben in dieser Höhe die günstigsten tektonischen Voraussetzungen für die Schachtentwicklung an den Kreuzungsstellen der Klüfte und Verwerfungen bietet. An steileren Hängen oder an den Plateaurandabstürzen sind hangparallele Klüfte und Verwerfungen, an denen Schachthöhlen entstehen könnten, bevorzugte Abrißstellen des Gesteins; geologisch gesehen, sind die dort vorhandenen Schachthöhlen daher wesentlich kurzlebiger und fallen rascher einer Raumzerstörung anheim als jene auf dem muldenreichen Flachrelief.

Daß viele Schächte durch Moränenmaterial verstopft sind und daß viele Karstformen und Höhleneingänge durch eine flächenhafte Moränenüberstreuung verschüttet sind, aber auch die Tatsache, daß das Moränenmaterial vielfach mächtige Höhlenausfüllungen in deren Innerem bildet, kann nicht unbedingt als Beweis für eine Zirkulation von Karst-, bzw. Schmelzwasser unter einem Gletscher aufgefaßt werden. In den meisten Fällen wird man wohl damit zu rechnen haben, daß die Sedimentation während der Rückzugsphasen der Gletscher am Ende der Kaltzeiten erfolgte, in Zeiten überdurchschnittlicher Schmelzwasserzufuhr und starker Transportkraft der Gletscherabflüsse. Diese Abflüsse finden überdies Moränenmaterial zum Abtransport in besonders reichem Maße vor; sie treten rasch in den verkarsteten Untergrund ein. Augenblicklich bietet der Abfluß des Hallstättergletschers auf der Hochfläche des Dachstein ein instruktives Beispiel dafür, wie man sich am Ende der Kaltzeiten auch die Situation auf der Nordabdachung des Tennengebirges oder des Hagen-

gebirges vorzustellen hat. Während in den obersten Partien des verkarsteten Gesteinskörpers auch unterirdisch ein starkes Gefälle herrscht — ich möchte es aber vermeiden, von einer tiefgreifenden Zone fast ausschließlicher Vertikalentwässerung zu sprechen — nimmt das durchschnittliche Gefälle im unterirdischen Kluftnetz bald ab. Entlang von Schichtfugen, Schichtgrenzflächen und Schichtgleitflächen, aber auch entlang flacher einfallender Verwerfungen, an denen größtenteils schon früher Höhlenräume entstanden sind, schalten sich in den unterirdischen Abfluß immer wieder Teilstücke geringen Gefälles, ja gelegentlich wohl sogar auch Höhlenseen und Siphonstrecken in verschiedener Höhe ein.

Diese Siphonstrecken und Seen stehen in keinem Zusammenhang mit einem Karstwasserspiegel oder einem „Karstgrundwasser"-Niveau, sondern sind lokale Aufstaue, die, wie die Erfahrung der Höhlenforschung lehrt, in verschiedenster Höhenlage auftreten können. Sie sind durch das lokale Zusammentreffen bestimmter raumgestaltender Faktoren und Verhältnisse bedingt. Die Einschaltung dieser flachen Strecken, die in stetem Wechsel mit Steilstrecken in den Höhlensystemen immer wieder anzutreffen sind, bedingt die Sedimentation der mitgeführten Transportstoffe und bis zu einem gewissen Grade sogar eine gewisse Sortierung. Demzufolge kommt Moränenmaterial vorwiegend in den Übergangsphasen zwischen den Kalt- und den Warmzeiten, eher am Beginn der Warmzeiten von der Oberfläche in die Höhlensysteme. Ein wesentlicher Teil der Höhlensedimente ist nichts anderes als jungpleistozänes Moränenmaterial. Vieles von dem, was in der älteren höhlenkundlichen Literatur einfach als „Schotter" beschrieben worden ist und zu weitreichenden Folgerungen über die fluviatile Entstehung der Höhlenräume Anlaß gegeben hat, dürfte — soferne es sich nicht um Schutt handelt, der selbst in wissenschaftlichen Arbeiten über Höhlen bis in neuere Zeit mit dem Schotter in einen Topf geworfen worden ist — als aufgearbeitete Moräne in die Höhlen gelangt sein.

Während etwa im Dachsteingebiet schon Beobachtungen über die Bedeutung des Moränenmaterials als Höhlensediment, über die eventuelle Datierbarkeit der Höhlensedimente und über den zeitlichen Zusammenhang zwischen den Phasen der Sedimentation und den Phasen der Raumentwicklung vorliegen und die Anfänge zu einer Verknüpfung der Raumentwicklung und der Sedimententwicklung gemacht wurden [vgl. z. B. 13, 37] — H. RIEDL hat hiefür die Bezeichnung „Korrelationsmethode" vorgeschlagen [32] — stehen meines Wissens systematische Untersuchungen dieser Art in den Salzburger Groß- und Riesenhöhlensystemen noch aus oder sind zumindest nicht veröffentlicht.

Während des Hauptabschnittes der Warmzeiten, nach dem Abschmelzen der Gletscher, steht nur die Niederschlagsmenge der jeweiligen Jahre für den unterirdischen Abfluß zur Verfügung. In den zugänglichen Höhlensystemen oder in den unzugänglichen Kluftnetzen äußert sich diese Zeit in der lokalen Umlagerung der Sedimente im Höhleninneren und nur fallweise bei Katastrophenhochwässern durch einschneidende Veränderungen in den Ablagerungsverhältnissen. Da das Feinmaterial am häufigsten und am weitesten transportiert werden kann, wird die Sortierung der Sedimente verstärkt. In der Dachsteinmammuthöhle besteht die Konglomeratwand beim Dom ohne Namen aus sortierten Stücken, die größtenteils 5 cm Länge aufweisen und eine Schichtung erkennen lassen; zwischen den einzelnen Schichten liegen jeweils dünne Sinterdecken. Feinsedimente sind beispielsweise beim sogenannten „Lehmgletscher" in der Hierlatzhöhle bei Hallstatt abgelagert. Dort ist der Höhlenraum von

einem mehrere Meter hohen Bänderton erfüllt, dessen Aussagewert für die Chronologie noch untersucht werden muß. Auf weite Strecken hin sind die jungpleistozänen Höhlenausfüllungen deshalb so gut erhalten, weil nacheiszeitlich das Netz ausgereifter Höhlenräume in den Kalkhochalpenstöcken von den unterirdischen Gerinnen zur Gänze verlassen wurde und eine neue Entwicklungsphase mit der Eintiefung „junger", aktiver Canyonstrecken eingeleitet wurde. Alle hier berührten Fragen sollten vergleichend zum Dachsteingebiet auch in den Karstgebieten Salzburgs untersucht werden, um allgemeine, über den lokalen Bereich hinaus gültige Ergebnisse zu erzielen.

Gleichzeitig ergibt sich auf diesem Sektor der Karstkunde nicht nur die Möglichkeit, sondern auch die Notwendigkeit der Koordinierung und der Korrelierung karstmorphologischer, glazialgeologischer und speläologischer Analysen. Ich hoffe, schon mit den wenigen Hinweisen, Anregungen und Überlegungen dieses Abschnittes darüber hinaus aber auch hinreichend dargelegt zu haben, wie aussichtsreich diese Koordinierung für den Fortschritt jedes der genannten Teilgebiete geographischer Forschung gerade in den ausgedehnten Flächen des alpinen Hochkarstes in Salzburg und seinen Grenzgebieten ist.

2. Die Altersstellung der Karstformen

Zu den Problemen, die mit der Altersstellung der Karstformen in Zusammenhang stehen, mögen einige Leitsätze als Grundlage geäußert werden, die sich aus den bisherigen Überlegungen ableiten lassen (vgl. III. 1.). Es sind folgende:

1. An die Untersuchung des Gesamtkomplexes der Karstfragen darf nicht mit der vorgefaßten Meinung herangegangen werden, daß die Höhlenräume und der Höhleninhalt der Karsthöhlen seit einer frühen Phase einer „fluviatilen" Entstehung völlig oder relativ unverändert geblieben sind. Die Karsthöhlen sind während des Pleistozäns und vor allem während des Jungpleistozäns weitgehend umgestaltet worden. Die Untersuchung der Höhlensedimente ermöglicht Schlüsse auf die Umgestaltung der Landoberflächen.
2. Das Karstphänomen hat während des Pleistozäns nicht nur konservierend eine Altlandschaft, bzw. eine glazial überformte Altlandschaft erhalten, sondern besonders in den Interglazialzeiten gestaltend die Landoberfläche beeinflußt. Die gestaltende Wirkung der Karstprozesse wurde in vielen geomorphologischen Studien unterschätzt.
3. Der mehrfache Wechsel zwischen glazialer Einwirkung und Karsteinwirkung auf den Kalkhochflächen macht es schwierig, die zeitliche Abfolge der Entstehung bestimmter Formen oder Formengruppen zu erfassen. Die Möglichkeit, durch genaue Analysen der Oberflächenformen zu einer relativen Chronologie der Formenentwicklung zu kommen, ist aber nicht auszuschließen und daher zu prüfen.
4. Geht man von der für die Ostalpen postulierten mehrphasigen Hebung des Gebirgskörpers besonders im Jungtertiär aus, der ein erosiv-denudativer Stufenbau der Landoberflächen zuzuordnen ist, so ergibt sich, daß die in die Trockentäler der Karsthochflächen — wie etwa in das Pitschenbergtal im Nordteil des Tennengebirges — eingesenkten Karsthohlformen erst nach dem Aufhören der erosiven Weiterentwicklung entstanden sein können. E. SEEFELDNER rechnet die Pitschenbergfurche seinem Gotzenniveau zu und stellt die Eintiefung damit in das Altpliozän. Die Karsthohlformen in der Talfurche können damit frühestens pliozäner Entstehung sein.

Diese Feststellung stimmt übrigens gut mit dem Ergebnis einer soeben veröffentlichten Arbeit aus den niederösterreichischen Voralpen überein, wo M. H. FINK [11] die oberpliozänen Terrassensysteme des Pielachtales bis an den Rand des Schlagerbodenpoljes bei St. Anton an der Jeßnitz verfolgen konnte und für diesen voralpinen Raum das Einsetzen der Karstentwicklung an die Wende vom Pliozän zum Pleistozän fixieren zu können glaubt.

5. Daß mit dieser für bestimmte Karstformen aus geomorphologischen Überlegungen gewonnenen Aussage keine für alle Karsterscheinungen der heutigen Landschaft gültige Festlegung der Altersstellung erfolgt ist, muß besonders betont werden.

Daß eine Altersgliederung des Karstformenschatzes im Bereich der Möglichkeit liegt, und daß man nicht einfach mit einer einphasigen Verkarstung zu rechnen hat, die sich je nach der Höhenlage verschiedenartig äußert, haben jüngst die schon mehrfach zitierten Untersuchungen von K. HASERODT [19] wieder gezeigt. Freilich ist damit zu rechnen, daß gleich alte Karstformen in verschiedener Höhenlage verschieden stark umgestaltet wurden und daher ein unterschiedliches Erscheinungsbild aufweisen können, selbst dann, wenn ihre Anlage formgleich oder formähnlich erfolgte. Die im hochalpinen Karst von der Höhenlage abhängigen Klimaverhältnisse variieren die Physiognomie des Karstes, aber in jeder „Zone", die man unterscheiden kann, sind im Einklang mit der langfristigen Karstentwicklung spezifische Entwicklungsabläufe oder Formenreihen erkennbar. Dieser Aspekt gibt der Analyse des Karstformenschatzes erhöhtes geomorphologisches Gewicht gegenüber der früheren Auffassung einer höhengebundenen Anordnung bestimmter Vergesellschaftungen oberirdischer Karsterscheinungen.

3. Zur Altersstellung der Höhlen

Daß es absolut falsch wäre, alle Teile einer alpinen Höhle oder auch eines einzigen Höhlenstockwerkes innerhalb eines größeren Systems a priori als gleich alt und genetisch einheitlich anzunehmen, ist schon an anderer Stelle gesagt worden [39]. Die Salzburger Kalkalpen mit ihrem Reichtum an verzweigten Großhöhlen — 45% aller Ende 1966 bekannten Systeme mit mehr als 2 Kilometer Gesamtlänge in Österreich liegen in Salzburg — bieten besonders gut die Möglichkeit, eine morphogenetische Analyse der einzelnen Teillabyrinthe durchzuführen.

Dabei ist etwa zu prüfen, wie weit die Entstehung bestimmter Höhlenräume mit der Bildung tektonischer Störungsflächen direkt in Zusammenhang zu bringen ist; die „Gerade Kluft" in der Eisriesenwelt im Tennengebirge verläuft beispielsweise parallel zum Steilabbruch der Hochfläche des Tennengebirges und damit zu jenen Störungen, die die erste Anlage des Salzachdurchbruches im Paß Lueg vorgezeichnet haben. Ich neige dazu, die Gerade Kluft als tektonischen „Urhöhlenraum" aufzufassen, der ursprünglich ohne wesentliche Mitwirkung des Karstwassers entstanden ist. Eine derartige tektonische Spalte weist hohe Stabilität und Formbeständigkeit auf und ist möglicherweise lange nach ihrer Entstehung in das Netz „jüngerer" vorwiegend korrosiv gebildeter Labyrinthe einbezogen worden. O. LEHMANN kam übrigens zu der gegensätzlichen Auffassung, daß die Gerade Kluft erst „später tektonisch aufgerissen ist" [10], als die Eisriesenwelt bereits entstanden war. Maßgebend für diese Annahme war wohl seine Überlegung, daß die durch Verstürze bestimmten Räume alt, die nicht von Verstürzen veränderten Räume jung sein müßten

(entsprechend dem einfachen, von G. KYRLE auch in der „Theoretischen Speläologie" gegebenen Entwicklungsschema einer Karsthöhle). Eine systematische Untersuchung der Ansatzstellen aller Seitenstrecken, die von der „Gerade Kluft" ausgehen, könnte eventuell Anhaltspunkte über tektonische Bewegungen und über die Altersstellung der einzelnen Gangstrecken zueinander liefern. Eine systematische Aufnahme des Kluftnetzes und die Prüfung der Abhängigkeit des Verlaufes der Höhlenstrecken von bestimmten Kluftsystemen, wie sie jüngst M. H. FINK für die niederösterreichischen Voralpen versucht hat [11], könnte auch im Tennengebirge zu Ergebnissen über Fragen der Altersstellung der Höhlensysteme führen.

Festzuhalten ist, daß O. LEHMANN mit der oben zitierten Feststellung, ohne dies allerdings ausdrücklich betont und in seinen Konsequenzen restlos durchgearbeitet zu haben, das ungleiche Alter benachbarter Teile eines Höhlensystems bereits behauptet und die Idee von der Verschiedenartigkeit der raumbildend wirksamen Faktoren innerhalb eines Höhlensystems vorweggenommen hat. Gerade diese beiden Ideen, deren Wirklichkeitsnähe durch Beobachtungen an Ort und Stelle eindringlich belegt werden kann, sind aber auch gewichtige Argumente gegen den Versuch, einen mehr oder minder horizontalen Höhlengang auf jeden Fall einzig und allein nach seiner Höhenlage einem bestimmten Talniveau korrelieren und ihm damit eine ganz bestimmte Altersstellung zuweisen zu wollen, etwa nach dem Schema: je höher, desto älter, je tiefer, desto jünger. Eine solche „höhengebundene Höhlenbildung" kann gegeben sein, muß aber nicht vorhanden sein. Bei der Eisriesenwelt im Tennengebirge etwa bleibt zu untersuchen, wie weit einzelne Teillabyrinthe auf ein Terrassensystem einspielen, wie weit lokal die Bildung durch das Vorhandensein von Raibler Schichten zurückzuführen ist, wie schon O. LEHMANN vermutet, und wie weit Räume etwa durch die Lage an den Grenzschichten zwischen Dachsteindolomit und Dachsteinkalk in ihrem Verlauf bestimmt sind; Dachsteindolomite sind auf der Pitschenbergalm angeschnitten. Seit der wissenschaftlichen Bearbeitung der Eisriesenwelt durch eine Kommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften sind mehr als 40 Jahre vergangen, in denen Karstkunde und Höhlenkunde eine bedeutende Entwicklung erfahren haben. Viele der damaligen Deutungen sind revisionsbedürftig; viele neue Seitenlabyrinthe sind erforscht worden. Während damals die Höhle in ihrer Ausdehnung etwas Einmaliges darstellte, stehen heute umfangreiche Vergleichsmöglichkeiten in anderen Höhlensystemen zur Verfügung — und so erscheint die Anregung berechtigt, eine vergleichende Neubearbeitung des gesamten Systems in Angriff zu nehmen. Es wäre schön, wenn sich für diese Aufgabe eine Arbeitsgemeinschaft von Spezialisten fände und wenn diese Gemeinschaft auch mit der nötigen Unterstützung für die jetzt jedenfalls viel langwierigeren Untersuchungen als damals rechnen könnte.

Bevor eine relative Chronologie der Vorgänge gewonnen werden kann, die zur Entwicklung des gegenwärtigen Höhlenraumes führten, bedürfen noch viele Detailfragen einer Klärung. Unter diesen ist beispielsweise die Frage des Alters der mächtigen Tropfsteinbildung zu nennen, die in den hochalpinen Höhlen (Eisriesenwelt, Eiskogelhöhle im Tennengebirge, Großer Eiskeller im Untersberg u. a.) auftreten. Sie sind in den eingangsnahen Teilen dieser Höhlensysteme offenbar schon fast völlig zerstört und gehören einer älteren Tropfsteingeneration an als die Sinterbildungen mancher Höhlen der Oststeiermark, die dem nacheiszeitlichen Klimaoptimum entstammen [12]. In den tagfernen Teilen zeigen sie auch bereits viele Verfallserscheinungen.

O. LEHMANN hat seinerzeit an eine Entstehung im Pliozän gedacht, was unserer Meinung nach ein zu hohes Alter darstellt. Isotopenmessungen, die die Altersfrage einer Lösung näherbringen könnten, stehen noch aus.

Auch Altersstellung und Ursachen der Versturzvorgänge bedürfen noch näherer Prüfung. F. KOPPENWALLNER und W. KRIEG denken, daß ein Vollaufen bestehender Höhlensysteme und das nachfolgene Leerlaufen mit Wasser auslösend für Verstürze wirken. Dem steht die Beobachtungstatsache gegenüber, daß Verstürze an verschiedenen Stellen nachweislich ohne Einwirken fließender Wässer zustandekamen, etwa dort, wo sie sich am Ende der Würmeiszeit über unversehrte pleistozäne Sedimentlagen legten.

F. KOPPENWALLNER hat den Versuch unternommen, die Häufung von Großhöhlen am Südrand der Salzburger Kalkhochalpenstücke mit dem vom Süden her starken Angebot an Schmelzwässern während des Eiszeitalters zu erklären und daraus auf ein pleistozänes Alter der Höhlen zu schließen [25]. Daß ein solcher Versuch noch verfrüht erscheint, weil erst eindeutig feststehen muß, daß wirklich eine Häufung von Höhlen vergleichbarer speläomorphologischer Gestaltung vorliegt, ist an anderer Stelle bereits erwähnt worden. Man kann aber diese zweifellos interessante Theorie erst dann für die Entstehung der Höhlen in Erwägung ziehen, wenn auch entsprechende geomorphologische Befunde an der Oberfläche gesicherte Anhaltspunkte ergeben, die damit in Einklang stehen. Auf die notwendige Übereinstimmung zwischen Befunden zur Höhlenentwicklung und solchen zur Oberflächenentwicklung ist nicht immer hinreichend geachtet worden.

4. Beziehungen zwischen Höhlenentwicklung und Oberflächenentwicklung

Der Fragenkomplex dieser Beziehungen ist bereits mehrfach berührt worden, so daß an dieser Stelle lediglich einige grundsätzliche Erwägungen zur Diskussion gestellt werden sollen. Zwischen den oberirdischen Karstformen eines Gebietes und den Höhlen besteht ein kausaler und zeitlicher Zusammenhang. Daß sich eine regionale Bearbeitung des Karstphänomens nicht auf die Morphologie der Landoberfläche beschränken darf, sondern zwingend auch die Karsthöhlen einschließen muß, sollte ebensowenig einer neuerlichen Betonung bedürfen wie die Feststellung, daß Aussagen über die Altersstellung von Höhlen und den zeitlichen Ablauf der Höhlenentwicklung in Zusammenhang mit der Karstentwicklung der Oberfläche gesehen werden müssen. Tatsächlich zeigt sich aber gerade im Raume von Salzburg mit größerer Deutlichkeit als in anderen Bereichen der Nördlichen Kalkalpen ein Nebeneinander der karstkundlichen und der höhlenkundlichen Untersuchungen. In beiden Arbeitsrichtungen liegen, wie in den vorhergehenden analytischen Betrachtungen dargelegt worden ist, zahlreiche Gedanken, Bearbeitungen und Beschreibungen vor. Der Versuch einer Synthese der oberirdischen und der unterirdischen Befunde über den Karstprozeß ist aber meiner Ansicht nach über zaghafte Anfänge nicht recht hinausgekommen. Vielfach gewinnt man aus der Durchsicht der höhlenkundlichen Literatur den Eindruck, daß als Ausgangspunkt der Überlegungen für die Karstentwicklung und die Höhlengenese ein einfaches Vorstellungsschema dient. Oberirdische Entwässerung der Landoberfläche, Verkarstung bis zu einer bestimmten Tiefe des Gebirgskörpers und Höhlenbildung in einem dadurch gegebenen Niveau werden als drei zeitlich streng voneinander getrennte und ohne lange Übergangsphasen jeweils unvermittelt aufeinanderfolgende Entwicklungsphasen ge-

dacht. Es fällt vielen Speläologen schwer, sich von der Vorstellung freizumachen, daß die Höhlen im wesentlichen zu einem bestimmten Zeitpunkt entstanden und seither mit stabilen Raumformen relativ unverändert erhalten geblieben sein müßten.

Für die Entstehung der Eisriesenwelt, die schon mehrfach als Beispiel für Fragen erwähnt wurde, die noch zur Diskussion stehen, macht G. ABEL den unterirdischen Abfluß des ursprünglich vorhandenen oberirdischen Bachlaufes im Pitschenbergtal verantwortlich. Er denkt dabei an eine durch die stärkere Eintiefung des Salzachtales provozierte Ablenkung des Gerinnes aus dem Pitschenbergtal unter dem dieses Tal vom Salzachtal trennenden Plateauteil des Tennengebirges hinweg. Dabei wird das Bild der Karstlandschaft aus dem Dinarischen Karst auf die Situation in den Nördlichen Kalkalpen übertragen: ein Bachlauf verschwindet als geschlossenes Gerinne an einer bestimmten Schwinde in den Untergrund, durchmißt den Gebirgskörper als einheitlicher Höhlenfluß und tritt als Karstriesenquelle an anderer Stelle wieder aus [2].

Meines Erachtens ist diese Annahme rein hypothetisch. Es gibt keinerlei zwingende Beweise dafür, daß man sich den Entwicklungsablauf im alpinen Karst mit seinen andersartigen tektonischen und orographischen Gegebenheiten genau so vorzustellen hat wie im Dinarischen Karst. Die mögliche Art des Zusammenhanges zwischen Höhlenentwicklung der Eisriesenwelt und Talentwicklung der Pitschenbergfurche bedarf noch näherer Untersuchung.

Mir erscheint die Vorstellung naheliegender, daß das Pitschenbergtal noch erosiv weiter eingetieft wurde, als die Hänge und Höhenzüge beiderseits des Tales im Altpliozän bereits zu einem — wenn man das damals herrschende Klima berücksichtigt — wohl mit Wald bedeckten Grünkarstgebiet geworden waren. Da die Kluftnetze und Verwerfungen, an denen die Höhlenräume angelegt sind, bei vorangegangenen Phasen der Gebirgsentwicklung bereits geschaffen und vorhanden waren, bestanden günstige Voraussetzungen für eine intensive Kalklösung und damit für eine Erweiterung der Klüfte zu Höhlenräumen. Auch das Vorhandensein von Zerrklüften, die bei den alttertiären Überschiebungen geschaffen und bereits als tektonische Höhlenräume vorhanden waren, darf wohl vermutet werden. Im voralpinen Karst — etwa in Niederösterreich — herrscht heute eine Situation, die dem hier entworfenen Bild annähernd entspricht: die Kalkberge sind verkarstet, höhlenreich und unterirdisch entwässert (man denke an die Umrahmung des Pielach- und Traisentales oder an den Anninger bei Wien), die größeren Bäche aber innerhalb des bewaldeten Grünkarstgebietes noch als oberirdische Gerinne entwickelt. Es besteht damit kein Grund gegen die Annahme, daß sich die Anlage einiger Hauptlabyrinthe der Eisriesenwelt und das Erosionstal der Pitschenbergalm annähernd gleichzeitig und nebeneinander entwicklet haben. Diesen Eindruck gewinnt man auch, wenn man die Eintragung des Höhlenverlaufes in die topographische Karte betrachtet, wie sie in den Beilagen zu dem Führer durch die Eisriesenwelt aus dem Jahre 1959 durch E. ANGERMAYER [3] vorgenommen ist.

Es gibt also Deutungs- und Erklärungsmöglichkeiten, die nicht auf eine klare Trennung abrupt aufeinanderfolgender Entwicklungsschritte hinauslaufen, sondern auf eine durch fließenden allmählichen Übergang verbundene Folge von Entwicklungsphasen. Freilich bedarf eine Analyse der Formenreihen in den Höhlen, die diesen Phasen entsprechen, die Analyse der Formenreihen an der Oberfläche, die eine solche Phasengliederung ermöglichen, und schließlich

die Korrelierung der Höhlenentwicklungsphasen mit jenen der Landschaftsentwicklung noch einer Fülle mit großer Geduld durchzuführender Einzelbeobachtungen.

5. Klimaentwicklung und Karstentwicklung

Eine Übersicht über die derzeitigen Forschungsaufgaben, die der karst- und höhlenkundlichen Bearbeitung in den Salzburger Kalkalpen gestellt sind, darf auch diesen aktuellen Problemkreis nicht außer acht lassen. Ziel einschlägiger Studien sollte es sein, die durch karstmorphologische Analysen der Oberfläche und durch morphologische Analysen der Raumformen in den Höhlen erarbeitete Unterscheidung einer Anzahl von Entwicklungsphasen mit Phasen der Klimaentwicklung in Beziehung zu setzen. Es wird zweifellos möglich sein, durch Sammlung einer möglichst großen Zahl von Einzelbeobachtungen zu klären, welche Formenunterschiede in Karstlandschaften und Höhlen verschiedener Gebiete auf gesteinsbedingte Faktoren zurückgehen und welche vorwiegend klimabedingt sind. Die Parallelisierung von Formenreihen, deren Abhängigkeit von klimatischen Faktoren erkannt worden ist, mit den quartären Klimaschwankungen und eventuell sogar der jungtertiären Klimaentwicklung müßte sich dann besser präzisieren lassen als dies jetzt schon der Fall ist. Für die Oberflächenformen des Karstreliefs könnten die Untersuchungen von K. HASERODT im Hagengebirge[19], für die Höhlen das vom Verfasser 1965 entworfene Bild der Entwicklungsphasen — das für die Höhlen der Salzburger Kalkalpen entwickelt worden ist [39] — als Ausgangsbasis für derartige Untersuchungen dienen.

Wenn in dieser Übersicht weniger von den vielen gesicherten Ergebnissen als von den noch offenen oder zu diskutierenden Problemen die Rede war und dazu Stellungnahmen abgegeben wurden, so soll damit besonders betont werden, wie aktuell der Problemkreis der Karstkunde im allgemeinen und für Salzburg im besonderen derzeit ist. Viele Ansichten über Teilfragen der Karstmorphologie, der Karstgeologie und der Höhlenbildung und -entwicklung sind nicht zuletzt deshalb „in Fluß", weil die Fülle von Beobachtungsergebnissen aus dem alpinen Karst Salzburgs den unmittelbaren Anstoß dazu gegeben hat. Es war daher meines Erachtens berechtigt, darauf hinzuweisen, wie sehr das Erreichte die Basis für die weitere Entwicklung darstellt, die hoffentlich diese Grundlage in naher Zukunft wesentlich verbreitern wird.

Die Möglichkeit zu den vielen Begehungen in Karstgebieten und in teilweise schwer zuänglichen Höhlen, die diesem Berichte zugrunde liegen, haben mir in erster Linie die aktiven Mitglieder des Landesvereines für Höhlenkunde in Salzburg geboten, die mir manchen speläologisch und karstmorphologisch interessanten Aufschluß gezeigt haben. Dafür möchte ich auch an dieser Stelle danken.

Literaturhinweise

[1] ABEL, G.: Höhlen (Salzburgs). In: Salzburg-Atlas, Kartenblatt 14, Salzburg 1956.
[2] — Wunderwelt in Stein und Eis. Die Entstehung der Eisriesenwelthöhle im Tennengebirge. Kosmos, *54*, 12, Stuttgart 1958. S. 536—542
[3] ANGERMAYER, E.: Kleiner Führer durch die Eisriesenwelt im Tennengebirge bei Werfen, Land Salzburg, Österreich. 4. Aufl., Salzburg 1959. 32 Seiten
[4] — Zur Geschcihte der Höhlenkunde und Höhlenforschung in Salzburg. Mitt. d. Ges. f. Salzb. Landeskunde, *101*, Salzburg 1961. S. 189—220.
[5] ARNBERGER, E.: Des Wassers Kraft. Die oberirdische Verkarstung [Niederösterreichs]. In: Karst und Höhlen in Niederösterreich und Wien. Wien 1954. S. 35—42.
[6] BRANDECKER, H., MAURIN, V. u. ZÖTL, J.: Hydrogeologische Untersuchungen und baugeologische Erfahrungen beim Bau des Dießbach-Speichers (Steinernes Meer). Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Jahrgang 1965, Graz 1965. S. 67—111.
[7] CHAIX-DU BOIS, CHAIX, A., MONNIER, A.: Contribution à l'étude de lapiés en Carniole et au Steinernes Meer.

Le Globe, Organ de la Soc. de Géogr. de Genève, Genève 1907.
[8] CORBEL, J.: Karsts haut-alpins. Rev. de Géogr. de Lyon, *32*, Lyon 1957. S. 135—158.
[9] CZOERNIG, W.: Die Höhlen des Landes Salzburgs und seiner Grenzgebirge. Speläolog. Monographien, Band X, Salzburg 1926.
[10] DIE EISRIESENWELT im Tennengebirge (Salzburg). Speläologische Monographien, Band VI, Wien 1926.
[11] FINK, M. H.: Tektonik und Höhlenbildung in den niederösterreichischen Kalkalpen. Wiss. Beihefte zur Zeitschrift „Die Höhle", *11*, Wien 1967.
[12] FRANKE, H. W.: Ein speläochronologischer Beitrag zur postglazialen Klimageschichte. Eiszeitalter u. Gegenwart, *17*, Öhringen 1966. S. 149—152.
[13] FRANKE, H. W., ILMING, H.: Beobachtungen in der Dachstein-Mammuthöhle (Oberösterreich). Die Höhle, *14*, Wien 1963. S. 36—40.
[14] FUGGER, E.: Eishöhlen und Windröhren, I—III. Jahresber. d. k. k. Oberrealschule in Salzburg, Salzburg 1891—1893.
[15] GERSTENHAUER, A., PFEFFER K. H.: Beiträge zur Frage der Lösungsfreudigkeit von Kalkgesteinen. Abhandl. z. Karst- und Höhlenkunde, Reihe A, Heft 2, München 1966.
[16] GOLDBERGER, J.: Reste abgetragener Höhlen auf dem Hochkönig. Die Höhle, *2*, Wien 1951. S. 9—11.
[17] — Die Karstentwicklung und Felsbruchtätigkeit am Hochkönig. Mitt. d. Ges. f. Salzburger Landeskunde, *93*, Salzburg 1953. S. 132—153.
[18] GÖTZINGER, G.: Der voralpine Karst und seine Gesetzmäßigkeiten. Mitt. d. Geol. Ges. Wien, *48*, Wien 1956. S. 33—48.
[19] HASERODT, K.: Untersuchungen zur Höhen- und Altersgliederung der Karstformen in den Nördlichen Kalkalpen. Münchner Geogr. Hefte, *27*, Kallmünz—Regensburg 1965.
[20] HOFFER, M.: Unterirdisch entwässerte Gebiete in den Nördlichen Kalkalpen. Mitt. Geogr. Ges. Wien, *52*, Wien 1909. S. 223—240.
[21] HÖHLENVERZEICHNIS des Landes Salzburg. Die Höhle, *12*, Wien 1961. S. 121—145.
[22] HORNINGER, G.: Geologische Ergebnisse bei einigen Kraftwerksbauten. Verh. d. Geol. Bundesanstalt Wien, Jg. 1957. S. 99—103.
[23] KLAPPACHER, W.: Die Gruberhornhöhle (Hoher Göll, Salzburg). Beschreibung der bisher erforschten Höhlenräume. Die Höhle, *16*, Wien 1965. S. 6—9.
[24] — Neue Großhöhlen im nördlichen Tennengebirge. Die Höhle, *18*, Wien 1967. S. 8—13.
[25] KOPPENWALLNER, F. X.: Versuch einer Erklärung für die Häufung von Großhöhlen am Südrand der Salzburger Kalkalpen. Die Höhle, *14*, Wien 1963. S. 29—36.
[26] KRIEG, W.: Gedanken zur Theorie des glazialen Karstes in Salzburg. Die Höhle, *15*, Wien 1964. S. 57—64.
[27] KURZ, W.: Die Landformung der Kalkalpen an der oberen Mürz. Geogr. Jahresbericht aus Österreich, XXIX, Wien 1963. S. 1—39.
[28] LEHMANN, O.: Das Tote Gebirge als Hochkarst. Mitt. d. Geogr. Ges. Wien *70*, Wien 1927, S. 201—242.
[29] MOROKUTTI, A.: Die Expedition in die Tantalhöhle 1951. Die Höhle, *3*, Wien 1952, 1 ff.
[30] PALOC, H.: Carte hydrogéologique de la France, Région karstique Nord-Montpellieraine. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Paris 1964.
[31] PLÖCHINGER, B.: Zur Geologie des Kalkalpenabschnittes vom Torrener Joch zum Ostfuß des Untersberges. Die Göllmasse und die Hallein-Hallstätter Zone. Jb. d. Geol. Bundesanst., *98*, Wien 1955. S. 93—144.
[32] RIEDL, H.: Versuch einer speläogenetischen Korrelationsmethode. Akten des 3. Internat. Kongreß für Speläologie, Bd. II, Wien 1963. S. 115—119.
[33] SCHLAGER, M.: Bericht über geologische Arbeiten 1956. Verh. d. Geol. Bundesanstalt, Wien 1957. S. 64—74.
[34] SEEFELDNER, E.: Salzburg und seine Landschaften. Eine geographische Landeskunde. Salzburg 1961.
[35] TRIMMEL, H.: Die Probleme der alpinen Karst- und Höhlenforschung. Festschr. z. Hundertjahrfeier d. Geogr. Ges. in Wien 1856—1956, Wien 1957. S. 193—208.
[36] — Höhlenausfüllung, Höhlenentwicklung und die Frage der Höhlenbildungszyklen. Rassegna Speleologica Italiana, Memoria, *5*, Como 1961.
[37] — Die Neubearbeitung der Dachstein-Mammuthöhle und einige Bemerkungen über schichtengebundene Höhlenräume. Akten d. III. Internat. Kongreß f. Speläologie Wien 1961, Bd. II, Wien 1963, S. 235—239.
[38] — Die wissenschaftliche Bedeutung der jüngsten Entdeckungen im Lamprechtsofen bei Lofer. Die Höhle, *15*, Wien 1964. S. 32 ff.
[39] — Gedanken über Entstehung und Entwicklung alpiner Karsthöhlen. Mitt. d. Dt. Verbandes d. Höhlen- und Karstforscher, *11*, München 1965, S. 2—6.
[40] — Karsttypen und Höhlenverbreitung. Karte 1 : 1 000 000. Österreich-Atlas, 3. Lieferung, Wien 1965.
[41] — (Redaktion), Österreichs längste und tiefste Höhlen. Wiss. Beihefte zur Z. „Die Höhle", *14*, Wien 1966.
[42] — (Redaktion), Speläologisches Fachwörterbuch. Landesverein f. Höhlenkunde in Wien u. NÖ, Wien 1965.
[43] — AUDETAT M. (Redaktion), Signes conventionnels à l'usage des spéléologues. Union Internationale de Spéléologie; Stalactite, *16*, Interlaken 1966.
[44] WALDNER, F.: Der derzeitige Stand der Höhlenforschung in Österreich. Protokoll der 3. Vollversamml. d. Bundeshöhlenkommission, Wien 1949. S. 15—26.
[45] ZWITTKOVITS, F.: Geomorphologie der südlichen Gebirgsumrahmung des Beckens von Windischgarsten (Warscheneck, Bosruck, westliche Haller Mauern). Geogr. Jahresber. aus Österreich, XXIX, Wien 1963. S. 40—74.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1967

Band/Volume: 109

Autor(en)/Author(s): Trimmel Hubert

Artikel/Article: Über einige Aufgaben und Probleme der Karst- und Höhlenforschung im Lande Salzburg 66-87