

Der Formenschatz des Eiszeitalters.

Von Friedrich Levy.

Wer aus dem Mittelgebirge kommend sich zum ersten Male in die Alpen oder ein anderes Hochgebirge der Erde begibt, steht zunächst unter dem herrschenden Einflusse der ungleich gewaltigeren Höhenunterschiede. Über den lachenden Auen fruchtbarer und dichtbesiedelter Täler erheben sich schroff jene stolzen Bergriesen, deren Eis- und Firnpanzer ihnen das Merkmal weithin ragender Wahrzeichen verleiht.

Aber dem aufmerksameren Beobachter ergeben sich bald noch andere, eigenartige Unterschiede. An Stelle der sanft und gleichmäßig geböschten Hänge der Waldtäler eines Mittelgebirges sind im Hochgebirge Steilhänge und Verflachungen in mannigfaltigem Wechsel über einander aufgebaut; dort vereinigen sich die Bäche gleichsohlig, und die Täler eines größeren Gebietes weisen oft weitgehende Formenübereinstimmung auf, hier dagegen treten enge Klammen unmittelbar an kilometerbreite Talauen, und in hohen Wasserfällen streben die Seitengewässer vielfach dem Hauptfluß zu. Gleichmäßigkeit, Ausgeglichenheit, meist große Sanftheit und Anmut des landschaftlichen Bildes im einen Falle stehen einem bunten Wechsel von schroffen und milderer Formen, einer durchgehenden Unausgeglichenheit und ungleich wirkungsvolleren Großartigkeit des landschaftlichen Bildes im anderen Falle gegenüber.

Diese Unausgeglichenheit des Landschaftsbildes in den Alpen und in den anderen Hochgebirgen ist, wie heute übereinstimmend angenommen wird, die unmittelbare und mittelbare Folge der eiszeitlichen Vergletscherung, welche alle diese Gebirge in großem Umfange heimgesucht hat. Sie hat auch in solchen Mittelgebirgen, bei denen es in Folge ihrer größeren Allgemeinerhebung ebenfalls im Diluvium zu einer solchen, wenn auch in beschränkterem Umfange, kommen konnte, ganz bestimmte und eindeutig erkennbare Formen hinterlassen.

In wie weit jedoch im einzelnen die Ausgestaltung der Hochgebirge und ihr heutiger Formenschatz auf ausschließliche Wirkung des Eises, in wie weit auf solche des fließenden Wassers oder auf Wechselwirkungen von Wasser und Eis zurückzuführen ist, ist noch strittig. Noch heute wie vor zwei Menschenaltern, als zuerst durch Ramsay¹⁾ die Wirkung des Gletscherschurfes zur Erklärung vor allem des Formenschatzes der Seen von Wales und der Schweiz herangezogen wurde, stehen sich die Ansichten verschiedener Forscher sehr schroff gegenüber; während die einen, wie Heß²⁾ und Lucerna³⁾, alle Talbildung in den Alpen wie auch in außeralpinen Hochgebirgen (z. B. auf Korsika) ausschließ-

1) A. C. Ramsay, The Old Glaciers of North Wales. In: Ball, Peaks, Passes and Glaciers. 1859. — On the Glacial Origin of certain Lakes in Switzerland. Quart. Journ. Geol. Soc. London XVIII, 1862, S. 185.

2) H. Heß, Der Taltrog. Pet. Mitt. XLIX, 1903, S. 73. — Die Gletscher. 1904, S. 363 ff. — Alte Talböden im Rhonegebiet. Ztsch. f. Gletscherk. II, 1908, S. 321 — Die präglaziale Alpenoberfläche. Pet. Mitt. LIX, 1913/I, S. 281.

3) R. Lucerna, Die Eiszeit auf Korsika. Abh. k. k. Geogr. Ges. Wien XI, 1910, S. 79. — Die Trogrfrage. Ztschr. f. Gletscherk. V, 1911, S. 356. — Morphologie der Montblancgruppe. Pet. Mitt. Erg.-Heft Nr. 181, 1914.

lich als Werk der eiszeitlichen Vergletscherung und ihrer verschiedenen Entwicklungsphasen betrachten, lehnt ein so erfahrener Meister wie Alb. Heim heute wie vor 45 Jahren die Annahme jeder größeren Gletscherschurfwirkung unbedingt ab.¹⁾ Die Mehrzahl der Forscher steht allerdings heute auf dem Boden von Anschauungen, welche zwischen diesen äußersten Gegenpolen ungefähr die Mitte einhalten; maßgebend sind hier die großzügigen Untersuchungen von Penck und Brückner²⁾ über das Gesamtgebiet der Alpen geworden.

* * *

Längs- und Querschnitt der Täler sind in den Hochgebirgen, besonders in den Alpen, im Gegensatz zu den Mittelgebirgen durch mannigfache Abstufungen, durch einen Wechsel von Weiten und Engen, von Wasserfällen und Flußschnellen im anstehenden Gestein und Sümpfen und Flußverwilderungen in mächtig aufgeschütteten Talauen gekennzeichnet.

Der Querschnitt der meisten Alpentäler weist eine sehr bezeichnende Gestalt auf, welche in dieser regelmäßigen Ausbildung als nur auf Gebiete ehemaliger Vergletscherung beschränkt zu gelten hat. Die Talsohle ist breit und wird von ansehnlichen Aufschüttungen gebildet, während die Talflanken beiderseitig steil, mitunter mit jähren Wänden sich zu großen Höhen emporschwingen. Diese Form des Querschnitts, einem U entsprechend — im Gegensatz zu dem mehr oder weniger flachgestreckten V der durch reine Wasserwirkung entstandenen und ausgestalteten Täler —, wird seit den bahnbrechenden Untersuchungen von Richter³⁾ als „Trog“ bezeichnet. Alle oder fast alle von diluvialer Vergletscherung heimgesuchten Täler nicht nur in den Alpen und in anderen Hochgebirgen, sondern auch in manchen Mittelgebirgen wie im Schwarzwald, im französischen Zentralmassiv usw. sind in diesem Sinne U-förmige Trogtäler.

Im einzelnen hat die fortschreitende Erkenntnis hier zur Beachtung gewisser wichtiger Unterschiede geführt. Distel⁴⁾ hat nachdrücklich betont, was zwar vorher schon bekannt, aber nicht entsprechend gewürdigt worden war, daß nämlich zwischen den Trogtälern der Zentral-Alpen und denjenigen der Kalk-Alpen grundsätzliche Verschiedenheiten bestehen. In den letzteren streben die steilen Flanken der Taltröge hoch empor bis in die unmittelbare Nachbarschaft jener Grenze, welche die Mächtigkeit der diluvialen Eisströme nicht überschritt; hier tritt mitunter eine Verflachung der Gehänge und ein einspringender Winkel des Talquerschnittes ein, die sogenannte „Schliffgrenze“, über welcher dann abermals steilere Formen aufragen. Diese Taltröge, welche somit den weitaus größten Teil des Talquerschnittes einnehmen und beim Fehlen einer ausgesprochenen

1) Alb. Heim, Anteil der Gletscher bei Bildung der Täler. Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. Zürich XX, 1875, S. 205. — Geologie der Schweiz. I. 1919, S. 356 ff.

2) A. Penck und E. Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter. 1902—1908. (1909.)

3) E. Richter, Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen. Pet. Mitt. Erg.-Heft Nr. 132, 1900.

4) L. Distel, Die Formen alpiner Hochtäler, insbesondere im Gebiet der Hohen Tauern. Mitt. d. Geogr. Ges. München VII, 1912, S. 1. — Zur Entstehung des alpinen Taltröges. Verh. d. 18. Dtsch. Geographentages zu Innsbruck 1912. — Ergebnisse einer Studienreise in den zentralen Kaukasus. Abh. d. Hamb. Kolonialinst. XXII (C/2), 1913. — Zur Eiszeitforschung im Kaukasus. Mitt. d. Geogr. Ges. München XIII, 1919, S. 342.

Schliffgrenze auch unmittelbar in die Schrofen der Gipfel- und Kammgebiete übergehen können, werden von Distel treffend als „ganztalige“ Trogtäler bezeichnet. Demgegenüber ist der Querschnitt der zentralalpiner Täler meistens durch einen erheblich mannigfaltigeren Verlauf gekennzeichnet. Der U-förmige Taltrog ist hier nur auf die tieferen Teile der Täler beschränkt, seine steilen Flanken haben nur einige Hundert Meter Höhe. Darüber aber folgt eine breit ausladende Verflachung der Gehänge; ausgedehnte, mäßig geböschte Gesimse und Terrassen kennzeichnen beide Talflanken in so übereinstimmender Höhe, daß der eigentliche Taltrog darunter als „Tal im Tale“ erscheint und sich ohne weiteres die Vorstellung alter, heute höher gelegener Talsohlenreste aufdrängt. Diese breiten „Schultern“ der zentralalpiner Tröge gehen wieder in steilere Flanken über, in welchen die Schliffgrenze ungefähr dieselbe Rolle spielt wie in den „ganztaligen“ Taltrögen; nur schließt sich hier an die Schliffgrenze nach den tieferen Gebängeteilen hin mitunter abermals eine auffallende Verflachung an, der „Schliffbord“, welcher in seiner gegen die Talsohle gerichteten Verlängerung zur Trogschulter hinableitet. So sind also die Querschnitte der zentralalpiner Taltröge dadurch gekennzeichnet, daß sie das Bild zweier, in einander geschalteter Talböden zeigen, eines oberen mit weitem,  förmigem Verlauf und eines unteren, welcher als schmales U in jenen oberen eingesenkt ist. Ergänzt man die sanft geneigten Trogschultern nach der Talmitte zu, dann erhält man den geschlossenen Querschnitt eines älteren Tales, für welches aus noch zu erwähnenden Gründen ein präglaziales Alter angenommen werden kann. In dieses ältere Tal ist der schmale, U-förmige untere Taltrog eingeschnitten, er zeigt das Ausmaß der während des Eiszeitalters durch glaziale „Übertiefung“ bewirkten Talvertiefung an.

Die eigentliche Übertiefung wird aber noch durch viel wesentlichere und eigenartigere Merkmale kundgetan. Wie aus dem Wort hervorgeht, handelt es sich in den davon betroffenen Tälern nicht um die gewöhnliche, gleichmäßig auf alle Teile eines Talsystemes sich erstreckende Eintiefung, wie sie auch in den Gebieten ausschließlicher Herrschaft des fließenden Wassers durch hochgelegene Talbodenreste und Felsgesimse dargestellt wird. Übertieft sind vielmehr nur die Haupttäler im Verhältnis zu den Seitentälern, welche ganz oder wenigstens an ihren Ausgängen hinter der Eintiefung des Haupttales zurückgeblieben sind und nun mehr oder weniger hoch mit einer „Stufenmündung“ sich mit jenen vereinigen; man bezeichnet diese Erscheinung auch damit, daß diese Seitentäler über den Haupttälern „hängen“ (sprachlich richtiger wäre „hangen“).

Zwischen den Stufenmündungen der Seitentäler und den Formen des Taltroges besteht nun wenigstens in den Zentralalpen in vielen Fällen ein wichtiger innerer Zusammenhang insofern, als die Höhe dieser Stufenmündungen mit derjenigen der Trogschultern übereinstimmt, mit anderen Worten: als die nicht übertieften Seitentäler gleichsohlig in jenes ältere Tal einmünden, in welches der eigentliche schmale Trog des Haupttales erst seinerseits eingetieft ist. Daraus ergeben sich die ursächlichen Beziehungen zwischen beiden: so wie die Seitentäler noch jetzt nicht übertieft sind, waren es auch die Haupttäler nicht zu jener Zeit, welcher die Trogschultern entsprechen.

In den „ganztaligen Trögen“ der Kalk-Alpen liegen die Verhältnisse anders. Hier gibt es keine Trogschulter, welche der Höhe der Stufenmündungen der

Seitentäler entspräche; letztere sind im allgemeinen durch recht geringe Sprunghöhe ausgezeichnet, und als gleichwertige Reste eines älteren Talbodens im Haupttale finden sich meist nur kümmerliche Gesimse, welche im Rahmen des großzügigen Trogbildes in keiner Weise besonders hervortreten. Hier reicht der Tal-trog weit über die ältere Talsohlenhöhe an den Gehängen hinauf.

Die Erscheinungen der Übertiefung sind also dadurch gekennzeichnet, daß sie sich im allgemeinen auf die Haupttäler beschränken. Auch in diesen setzen sie streckenweise aus. Dasselbe gilt übrigens auch von vielen Seitentälern; diese sind nur an ihrer Mündung nicht übertieft, weiter oberhalb dagegen oft genug in sehr erheblichem Maße. So erstreckt sich die Übertiefung nicht in gleicher Weise wie die gesetzmäßig und gleichartig sich ausbreitende Talvertiefung im Bereiche ausschließlicher Wasserwirkung auf die Gesamtheit aller Teile eines Talgebietes und -systemes, sondern ist nur örtlich in mehr oder minder starkem Maße ausgeprägt. Dadurch gibt sie sich als eine Erscheinung zu erkennen, welche zu allen Wirkungen des fließenden Wassers in einem deutlich ausgesprochenen Gegensatz steht. Breite Talauen und gleichzeitig hohe Stufenmündungen sind in den ausschließlich durch das fließende Wasser ausgestalteten Gebieten nirgends zu finden, sie widersprechen den dort gemachten Erfahrungen vom Ablauf der Talentwicklung. Das führt im Zusammenhange mit der Tatsache, daß sie ausschließlich auf die Gebiete ehemaliger Vereisung beschränkt sind, dazu, sie mit dieser in ursächliche Verbindung zu bringen und als eine Wirkung des eiszeitlichen Gletscherschurfes zu betrachten.

In diesem Sinne ist es unmöglich, jede Schurfkraft der diluvialen Eisströme als solcher in Abrede zu stellen. Die Tatsache des Gletscherschurfes kann damit als feststehend gelten.

Deutlich gibt sich der Gletscherschurf zu erkennen in der Abrundung und Abschleifung der Formen der Landschaft. Die Formenbedeutung der Schlifffgrenze besteht darin, daß bis zu ihrer Höhe diese abschleifende Tätigkeit der alten Gletscher meist in prächtiger Deutlichkeit hervortritt, während darüber scharfe Grat- und Schrofenformen aufragen, welche von jener glättenden Eiswirkung nicht mehr betroffen wurden. In den Mittelgebirgen ist diese Erscheinung allerdings kaum entwickelt, da hier die zwischen den einzelnen Tälern liegenden Höhenzüge nur als breite, sanft gerundete Rücken schon vor dem Eintritt des Eiszeitalters entwickelt waren und bei der verhältnismäßig geringen Tal-tiefe eigentliche Hochgebirgsformen mit Schrofen und Graten hier nicht entstehen konnten.

Eigenartiger und erheblich schwieriger zu verstehen als die Erscheinungen des Querschnittes ehemals vergletscherter Täler sind diejenigen ihres Längsschnittes. Zweckmäßig schreitet auch hier die Betrachtung von unten nach oben fort, da mit der Annäherung an die ehemalige Eisstromgrenze die Verhältnisse immer verwickelter werden.

Auch der Längsschnitt der glazial gestalteten Taltröge ist dadurch von allen nur durch fließendes Wasser ausgestalteten Tälern grundsätzlich unterschieden, daß er eine reiche Ausbildung von Stufen aufweist. Die breiten, bezeichnenden Talauen, wo sich die Gewässer in vielgewundenem Laufe schlängeln und das anstehende Gestein in unbekannter Tiefe unter mächtigen Geröllauf-

schüttungen verborgen liegt, gehen häufig unmittelbar in enge, durchbruchsartige Talstrecken über, wo der Fluß mit jähem Gefälle über den anstehenden Fels hinabfällt. Ja neben solchen Talstufen mit talauswärts gerichteter Böschung gibt es auch solche, die rückläufig entwickelt sind und wo die Gewässer des Tales vor einem sich ihnen in den Weg legenden Felshindernis zu einem See aufgestaut sind.

Überall wird die Stelle, wo die eiszeitlichen Gletscher endeten, durch solche rückläufige Talstufen bezeichnet. Das läßt sich besonders dort beobachten, wo die Gletscher im Gebirge stecken geblieben sind. Penck hat diese Erscheinung aus dem Mellatal in Ober-Italien besonders hervorgehoben¹⁾, v. Bubnoff hat sie besonders im hohen Schwarzwald betont²⁾: überall ist die Erscheinung dieselbe, daß man taleinwärts vordringend aus einem engen Tale, dessen V-förmiger Querschnitt klar zu erkennen ist, sich plötzlich vor einer Weitung sieht, wo alle Erscheinungen der Übertiefung auftreten und in der Mehrzahl der Fälle langgestreckte Talseen sich einstellen. Die Tatsache, daß am Ende solcher Seen oder entsprechender, heute zugeschütteter Talweitungen durch Endmoränenwälle das Ende der eiszeitlichen Gletscher wenigstens für eine bestimmte Zeit eindeutig festgelegt ist, gibt zu erkennen, daß diese Talseen ebenfalls mit der eiszeitlichen Vergletscherung in ursächlichem Zusammenhange stehen; außerhalb der Moränengebiete gibt es weder die Erscheinungen der Übertiefung noch rückläufige Talstufen noch Talseen. Die Endmoränen überhöhen jene letzten rückläufigen Stufen vielfach in solchem Maße, daß ihr Vorhandensein im anstehenden Gestein mitunter gar nicht oder nur mit Schwierigkeiten nachweisbar ist. Sie umspannen die „Zungenbecken“ der eiszeitlichen Talgletscher, in welchen die Gewässer zu Seen gestaut werden.

Diese Erscheinung, daß gerade das Ende eiszeitlicher Gletscherlagen durch solche rückläufige Gefällsstufen und dadurch bedingte ausgedehnte Talseen gekennzeichnet wird, hat Heim und seine Anhänger in den Schweizer Alpen, wo die Seen entsprechend der Ausdehnung der eiszeitlichen Gletscher fast alle auf den Alpenrand und dessen Nachbarschaft beschränkt sind, zu der Annahme geführt, daß sie als Folgeerscheinungen eines diluvialen „Rücksinkens“ des Gebirgskörpers zu gelten haben. Ohne im einzelnen zu dieser Frage hier Stellung zu nehmen, muß doch betont werden, daß für die Allgemeinheit der in glazialen Zungenbecken gelegenen Seen diese Auffassung zweifellos nicht zutreffen kann; das geht schon zur Genüge aus all den vielen Fällen hervor, wo solche Seen mitten im Gebirge liegen, wie z. B. gerade im Schwarzwald oder in den Vogesen.

An das Zungenbecken schließt sich talaufwärts der übertiefte Taltrug an. Die innerhalb desselben liegenden Gefällsbrüche und der nicht seltene schroffe Wechsel von Engen und Weitungen ist erheblich schwieriger zu erklären. Während des Eiszeitalters ist es unter dem Einflusse der großartigen Vergletscherung fast überall zu wichtigen Talverlegungen gekommen. Heim vertritt nun die Ansicht, daß nur solche Talstrecken übertieft sind, welchen ihre Flußläufe während des

1) A. Penck, Über glaziale Erosion in den Alpen. C. R. XIe Congr. Géol. internat. Stockholm 1910, S. 447.

2) S. von Bubnoff, Die Geschichte der Wasserscheide zwischen Wutach und Schwarza. Ber. d. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. XX, 1913, S. 105.

ganzen Eiszeitalters erhalten blieben, während diejenigen, welche in Folge eintretender Gewässerverlegungen außer Tätigkeit gesetzt wurden, nicht übertieft sind. In vielen Fällen ist diese Ansicht zweifellos zutreffend. Solche Verlegungen konnten durch die mächtigen Moränenaufschüttungen, durch Bergstürze, aber auch durch die randlichen oder unter dem Eise fließenden Schmelzwässer der anwachsenden wie der schwindenden Gletscher hervorgerufen werden. Vielfach läßt sich feststellen, daß die Gletscher sich hauptsächlich an diejenigen Tiefenlinien hielten, welche ihnen durch die Tätigkeit des fließenden Wassers vorgezeichnet waren. So lassen sich manche Talwasserscheiden innerhalb des ehemals vergletscherten Gebietes und manches Aussetzen der Übertiefungserscheinungen im Längsschnitt einheitlicher Talzüge wohl erklären. In vielen Fällen trifft diese Ansicht aber auch wieder nicht zu. Dann bat nachweislich keinerlei Flußverlegung stattgefunden, ein Tal kann dieselbe oder vielleicht sogar größere hydrographische Bedeutung besitzen wie vor dem Eintritte des Eiszeitalters, und doch setzt die Übertiefung streckenweise aus. Hier wird man wieder zur Annahme rein glazialer Wirkungen gedrängt.

Penck hat hierfür weitgehende Erklärungen zu geben versucht. Es ist uns schwer festzustellen, daß häufig das Aussetzen der Übertiefung an solchen Stellen eintritt, wo die eiszeitlichen Gletscherströme sich über niedrige Pässe und Sättel hinweg teilen konnten. Andererseits ist manchmal ein verstärktes Einsetzen der Übertiefung dort zu beobachten, wo sich mehrere starke Eisströme miteinander vereinigt haben. Ferner läßt sich nachweisen, daß bei einer Erweiterung des Talquerschnittes meist auch ein Nachlassen oder Aufhören der Übertiefung erfolgt, während an den Talverengerungen gleichzeitig die Übertiefung gesteigert ist. Solche Engen und Weitungen sind gerade in den Alpen häufig an den Wechsel mehr oder minder widerständiger Gesteine im verwickelten Bau des Gebirges geknüpft. Talverengerungen wie auch Gletschervereinigungen steigern den inneren Druck der Eisströme, Weitungen und Eisstromteilungen führen zu einer inneren Entspannung; es ist einleuchtend, daß sich hieraus manche der auffälligen Schwankungen im Betrage des Gletscherschurfes erklären lassen. Stufen mit talauswärts gerichtetem Gefälle, welche einer Steigerung des Übertiefungsbetrages entsprechen, werden im Falle ihrer Abhängigkeit von der Vereinigung verschiedener Gletscherströme als „Vereinigungs-“ oder „Konfluenzstufen“ bezeichnet; Stufen mit rückläufigem Gefälle, welche ein Nachlassen oder Aussetzen der Übertiefung bedeuten, heißen dann, wenn sie als Folge einer Eisstromteilung gelten können, „Teilungs-“ oder „Diffluenzstufen“.

Aber in sehr vielen Fällen kommen Talstufen auch dort vor, wo es sich weder um Gletscherteilungen oder -vereinigungen noch auch um im Aufbau des Gebirges begründete Gesteinsunterschiede handelt. Es gibt auch Fälle, wo Stufen im heutigen Tallängsschnitte sich bereits im Verlaufe der Trogschultern mehr oder weniger deutlich ausgeprägt finden und dadurch verraten, daß sie im heutigen Tale aus einer älteren Entwicklung übernommen worden sind. Distel hat diese Erscheinung in den hohen Tauern festgestellt, und de Martonne¹⁾ gelangte zur Überzeugung, daß alle die vielen Talstufen der heutigen Tröge in den fran-

1) E. de Martonne, *L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines*. Ann. de Géogr. XIX, 1910, S. 289; XX, 1911, S. 1.

zösischen Alpen auch in älteren, stockwerkartig übereinander aufgebauten Talbodenresten wiederkehren und somit dartun, daß schon mindestens in präglazialer Zeit die noch heute vorhandenen, wenn auch jetzt stark glazial ausgestalteten Stufen in den Tälern vorhanden waren. Es handelt sich aber in all diesen Fällen um talauswärts gerichtete Stufen, welche sich auf eine Unausgeglichenheit im Gefälle der durch fließendes Wasser ausgestalteten Täler infolge wiederholt einsetzender Hebungsvorgänge des Gebirgskörpers zurückführen lassen.

Manche der ursprünglich vorhandenen Talstufen sind heute von engen Klammern zerschnitten. In manchen Fällen sind solche engen Schluchten ihrerseits noch wieder deutlich zu engen Trögen umgestaltet worden, sodaß also der Zeitpunkt, wo die Zerschneidung der Stufen einsetzte, dann innerhalb des Eiszeitalters anzusetzen ist; für die eigentliche Arbeit des fließenden Wassers wird unter solchen Umständen eine Interglazial- oder Interstadialzeit in Frage kommen.

Es gibt aber auch Fälle, wo zwischen zwei übertieften Talstrecken ein nicht übertieftes Talstück sich einschaltet und das dort unter mächtigen Aufschüttungen begrabene anstehende Gestein sich hier zu Riegeln erhebt, welche das Tal queren und abschließen. Auch solche Riegel können nachträglich zerschnitten sein. Eine solche Zerschneidung hat im Laufe des Eiszeitalters vielfach unter besonderen örtlichen Einflüssen und auch wohl unter der Einwirkung der unter dem Eise fließenden Schmelzwässer doppelt stattgefunden, an beiden Gehängen ist der Felsriegel abgetrennt worden, und es blieb nur noch ein Inselberg übrig. Solche Inselberge sind in vielen Teilen der inneren Alpentäler keine Seltenheit. Meistens sind sie selber wie auch die sie begrenzenden Schluchten mehr oder weniger deutlich nochmals glazial überarbeitet worden und bilden dann glatte Rundkuppen inmitten der Talzüge, welche durch sie in äußerst bezeichnender Weise landschaftlich gekennzeichnet sind.

Diese Felsriegel und Inselberge sind in den Augen derjenigen, welche dem Gletscherschurf keine oder doch nur ganz untergeordnete Bedeutung zuerkennen wollen, neben den im allgemeinen nicht häufigen Resten diluvialer älterer Ablagerungen innerhalb der Alpentäler der hauptsächlichste Stein des Anstoßes gewesen, welcher die Frage berechtigt erscheinen ließ, warum die Gletscher, welche in einem Falle die Täler um Hunderte von Metern vertieft haben sollten, in anderen Fällen solche mitunter nicht einmal durch besondere petrographische Widerständigkeit ausgezeichneten geringfügigen Hindernisse mitten in ihrer Bahn nicht hinwegzuräumen vermochten. Dieser Frage kann jedoch mit der gleichen Berechtigung eine andere gegenübergestellt werden: alle Erscheinungen in den wirklich übertieften Talstrecken lassen sich mit den in anderen, nie vergletscherten Gebieten gemachten Erfahrungen von der Wirkungsweise des fließenden Wassers und den Gesetzen seiner formengestaltenden Tätigkeit nicht in Einklang bringen; gerade Inselberge sind auch eine Erscheinung, welcher man in den nie vergletscherten Gebirgen nur unter ganz besonderen Umständen — wie im Falle abgeschnürter Flußmäander und dergleichen — begegnet. Wie soll nun das fließende Wasser in den Alpen und den anderen ehemals vergletscherten Gebieten andere Formen erzeugen können als in den nie vergletscherten Gebirgen?

Damit ist freilich die Frage nach der Entstehung der Inselberge wie auch diejenige nach der Entstehung der Talstufen und überhaupt nach den Ursachen

des ungleichmäßigen Verlaufes der Übertiefung noch nicht entschieden. Sicherlich handelt es sich in der großen Mehrzahl aller dieser Fälle um echt glaziale Formen. Aber im einzelnen mangelt es noch durchaus an den erforderlichen Beobachtungsgrundlagen, und wie in so vielen Beziehungen der eiszeitlichen Formengestaltung gilt hier heute noch der Satz: *non liquet*.

Alles, was an Wechsel von Weitungen und Engen, von Aufschüttungsauen und Felsstufen dem Längsschnitte der Taltröge sein bezeichnendes Gepräge verleiht, wird gegen die Quellgebiete hin noch einmal in besonders großartigem Maßstabe zur Geltung gebracht. Eine große Zahl der Alpentäler beginnt als Sacktäler, d. h. das Sohlengefälle erreicht nicht mit allmählicher Steigerung wie in den nicht vergletscherten Mittelgebirgen gegen das Quellgebiet hin seinen Höchstwert, sondern die flache Aufschüttungsaue des Taltröges beginnt an einem jähen, durch gewaltige Höhe ausgezeichneten Steilabsturz, an einer schroffen Felswand, über welcher sich dann wieder meistens mit geringerem Gefälle das eigentliche Quellgebiet ausbreitet. Alle Erscheinungen der Übertiefung sind hier zu eindrucksvollster Gesamtwirkung gesteigert, von allen Seiten stürzen die Bäche teils in rauschenden Wasserfällen, teils in feinen Staubwirbeln zur Tiefe, und hoch über dem heutigen Talboden schließen sich die breit ausladenden Trogschultern halbkreisförmig im Talhintergrunde zusammen. Ein solcher Talbeginn wird als „Trogschluß“ bezeichnet, und auch der Volksmund hat mancherorts — wie am „End der Welt“ im Horbistal bei Engelberg in der Schweiz — dem Empfinden Ausdruck gegeben, daß man sich hier weit weniger der Tatsache bewußt wird, am Ausgangspunkt eines Tales zu sein, als vielmehr der durch die schroffen Wände ringsum gebotenen Hindernisse, welche ein weiteres Vordringen vielfach äußerst erschweren. Jedem Alpenwanderer sind die in solchen Fällen erforderlichen zeitraubenden Umwege bekannt, wenn er sich nicht an den bösen unmittelbaren Aufstieg wagen will.

An die Frage nach der Entstehung des Trogschlusses hat sich seit einigen Jahren ein lebhafter Streit der Meinungen geknüpft. Penck gab als Erklärung das plötzliche Einsetzen der Übertiefung dort, wo sich die Quellarme der Talgletscher im Talhintergrunde vereinigten; der Steilabfall des Trogschlusses sollte also gewissermaßen eine ins Gewaltige gesteigerte Vereinigungs- (Konfluenz-) Stufe darstellen. Aber in dem Maße, wie die fortschreitende Forschung zur Erkenntnis von der verhältnismäßig doch nur untergeordneten Rolle gelangte, welche die Gletschervereinigungen und -teilungen für den Verlauf der Übertiefung spielten, wuchs auch die Einsicht, daß jene Erklärung nicht genüge. Es war auch an sich schon recht schwer verständlich, wie gerade die kurzen Quelläste der Talgletscher bei ihrer Vereinigung einen Betrag der Übertiefung bewirken konnten, welcher im Verhältnis zur Taltiefe viel gewaltiger war als weiter talauswärts. So hat Penck denn auf dem Innsbrucker Geographentage selber für den Trogschluß betont, daß er in seinem Werdegang noch nicht verständlich sei¹⁾. — Inwieweit hier die neueren Untersuchungen von Distel, Lautensach u. a. einen Fortschritt bedeuten, wird noch zu erörtern sein. Als glaziale Hochgebirgs-

1) A. Penck, Diskussion zum Vortrag Distel auf dem Innsbrucker Geographentage, s. Anm. 4 auf S. 76.

form, welche allerdings bisher in überwiegendem Maße aus den Alpen bekannt geworden ist, bietet der Trogschluß auch heute noch manche Rätsel.

In vielen Fällen, vor allem in außereuropäischen Hochgebirgen, aber auch in den Alpen selber, fehlt jedoch ein Trogschluß. Dies gilt besonders für jene Gebirgsgruppen, wo in Folge besonders großer Massenerhebung auch heute noch eine ausgedehnte Eisbedeckung vorhanden ist und wo die Taltröge vielfach ohne Unterbrechung in die heutigen Gletscherbetten sich fortsetzen. Dann zieht das Tal, ganz entsprechend dem auch sonst anzutreffenden Verlaufe der Übertiefung, teils gleichmäßig, teils mit mehr oder weniger ansehnlichen Talstufen hinauf bis in die unmittelbare Nähe der Kammregion. Hier aber, im Firngebiet und im Bereiche des ewigen Frostes, kann man gerade in solchen Tälern wieder eine bezeichnende Umwandlung beobachten. Der Anstieg der Talsohle nimmt ab oder hört ganz auf, und flach breitet sie sich aus zwischen einer halbkreisförmigen Umrahmung gewaltiger Wände und Schrofen, welche über der Gletscher- und Schilffgrenze die eigentliche Kammregion der Alpen bilden.

Diese halbkreisförmigen, lehnsesselartigen Firmulden, wie sie in den Waliser Alpen besonders schön entwickelt sind, kennzeichnen auch alle Quellgebiete ehemaliger Vereisung. Sie führen den Namen „Kare“. Sie sind nicht nur auf den Beginn der eigentlichen Täler und ihrer Verästelungen beschränkt, sondern kennzeichnen alle Quellgebiete im Bereiche ehemaliger Vergletscherung, auch an den Gehängen. Gerade an diesen sind sie vielfach reihenweise neben einander entwickelt und bilden hier einen auffallenden Höhengürtel, auf welchen schon Ratzel hingewiesen hat. Es gilt dabei die Regel, daß benachbarte Kare gewöhnlich gleiche oder annähernd gleiche Höhenlage besitzen. In den Tiroler Zentral-Alpen, aber auch in den Freiburger Alpen und in der Mischabelgruppe, nicht weniger auffallend in den Vogesen und anderswo sind die Kare mitunter dicht gedrängt perschnurartig neben einander gereiht und verleihen dem Gehänge in seinen höchsten Teilen eine überaus bezeichnende Gliederung. Überall bieten sie dasselbe Bild: flache Böden, welche mitunter durch eine Felsschwelle mit rückläufigem Gefälle von den tieferen Teilen des Gehänges und der aus ihnen entspringenden Wasserrunsen getrennt sind, und halbkreisförmige Umrahmung durch jäh abfallende Wände und Schrofen. Das Vorhandensein der abschließenden Felsschwellen bedingt häufig dasjenige von kleineren Seen, und diese schwermütigen, von kahlen Felswänden umgebenen „Augen des Gebirges“ finden sich überall in den Gebieten ehemaliger Vergletscherung, als ein eindringlicher und nie zu verkennender Hinweis auf diese.

Es gibt auch glazial gestaltete Quelltrichter, welchen wegen ihrer weniger eindeutigen und bezeichnenden Gestaltung die Bezeichnung Kar nicht zugebilligt werden kann. Zwar ist fast überall die weite, halbkreisförmige Umrahmung durch schroffe Hochwände vorhanden, aber statt des ebenen oder gar gegen den Ausgang rückläufigen Bodens finden sich nicht selten steile Böschungen als Beginn anschließender Schluchten. Distel hat diese nicht voll entwickelten Formen als glaziale „Nischen“ von den eigentlichen Karen unterschieden. Sie bilden den Übergang und das Bindeglied zwischen den noch heute entstehenden, wild eingerissenen Quelltrichtern der Gebirgsbäche und den eigentlichen Karen.

Aber auch nach einer anderen Seite hin gibt es von den Karen aus eigen-

artige Übergänge: nämlich zu den Trogschlüssen. Mit diesen haben die Kare an sich schon manche wichtigen Züge gemeinsam. Beide sind gekennzeichnet durch den halbkreisförmigen Grundriß und die Umrahmung durch schroffe, von keinem Gletscherschliff abgerundete Hochwände. Man hat sie in früherer Zeit auch beide als „Talzirken“ bezeichnet. In nicht mehr vereisten Gebieten ist es tatsächlich vielfach nicht einfach, zwischen Karen und Trogschlüssen zu unterscheiden, wenn der Taltrog gegen das Taleude hin in einen derartigen Talschluß übergeht, welcher ununterbrochen bis zur Kammregion aufragt. Dies ist nach Lage der Verhältnisse bei den sogenannten „ganztaligen“ Trögen besonders häufig, da ja hier schon das ganze Tal ohne die breit ausladende Trogschulter mit steilen Flanken bis zu den Kämmen hinauf in Erscheinung tritt. Bei manchen berühmten derartigen Talschlüssen ist es daher unsicher, welcher Erscheinung des eiszeitlichen Formenschatzes sie zuzurechnen sind; als besonders bekannte Beispiele seien hier der Zirkus von Gavarnie in den Pyrenäen¹⁾ und der Feldsee im Hintergrunde des Bärenales im Schwarzwalde angeführt.

In den durch breite Trogschultern ausgezeichneten zentralalpinen Taltrögen ist die Unterscheidung zwischen Karen und Trogschlüssen eindeutig gegeben: diese liegen unter den sich zusammenschließenden Trogschultern, jene darüber. Aber überall, wo die durch Schultern ausgezeichneten Tröge nicht vorkommen — und das ist die weitaus überwiegende Mehrzahl der Fälle —, sind die Grenzen verwischt. Nur gelegentlich gibt es hier Fälle, wo der Talschluß sich bei dem Fehlen der Trogschultern nicht auch bis zur Gipfelregion aufschwingt, sondern über einer hohen Stufe noch Ernährungskare vorkommen, wobei diese Stufe sich zwanglos dem aus den Stufenmündungen der Seitentäler erschlossenen älteren Talboden einordnet; solche Fälle kann man im Wettersteingebirge in Oberbayern antreffen. In den Kalkklötzen des Salzkammergutes und seiner Umgebung ziehen sich die Trogschlüsse unmittelbar hinauf bis zu alten, tertiären Karsthochflächen, welche weder mit dem Eiszeitalter noch mit der unmittelbaren Präglazialzeit etwas zu tun haben.

Die eigentlichen Kare, welche ja in der Mehrzahl der Fälle nicht an die großen Täler und die Taltröge gebunden sind, sondern als glazial umgestaltete Quelltrichter ein besonderes Kennzeichen der seitlichen Talgehänge bilden, zeigen mitunter die eigentümliche Erscheinung, daß sie nicht nur in gleicher Höhe neben einander, sondern auch treppen- oder stockwerkartig über einander liegen. Dabei ist es auffallend, in wie engen Beziehungen sie zur Ausbreitung der spät-eiszeitlichen Rückzugsstadien stehen. Vielfach kann man solche Stadien unmittelbar aus den Karen erschließen; die zugehörigen Endmoränenwälle liegen dann meist in ganz unbedeutender Entfernung jenseits unterhalb der äußeren Karbodenschwelle. Man kann daraus auf einen inneren Zusammenhang mit der eiszeitlichen und nacheiszeitlich-stadialen Schneegrenze schließen. Andererseits gelten aber die großen Ernährungskare besonders auch in den Zentral-Alpen als die Ausgangsstätten der großen eiszeitlichen Talgletscher, wonach ihnen also schon ein frühglaziales Alter zukommen würde. Die von Penck geäußerte Annahme, daß

1) Vgl. die Abbildung in E. Kayser, Lehrbuch der Geologie I, 6. Aufl. 1918, S. 460; vgl. auch ebendort das prächtige Trogbild des Val Frisal in Graubünden auf S. 548.

die Kare in unmittelbarer Beziehung zur Eisstromhöhe der großen Talgletscher stehen und immer etwas tiefer liegen als diese, läßt sich nur in einigen alpinen Fällen rechtfertigen, wo es sich ebensowohl um ein mehr zufälliges Zusammenreffen handeln kann; in all den zahlreichen Fällen, wo Kare in außeralpinen Gebieten mit nur mäßiger eiszeitlicher Vergletscherung vorkommen, kommt eine derartige Erklärung nicht in Frage, wie aus dem Hinweis auf die Kare der südosteuropäischen Gebirge oder der Vogesen oder auch einiger alpiner Randgebiete hervorgeht. Koncza¹⁾ hat in den Freiburger Alpen und in den Karpathen den Übergang hocheiszeitlicher Ursprungskare in nacheiszeitliche Schneegrenzkare darzustellen versucht. v. Klebelsberg²⁾ hat in den kaum vergletscherten Ammergauer Vorbergen in Bayern über einander liegende Talzirken jeweils als hocheiszeitliche Trogschlüsse und darüber folgende stadiale Schneegrenzkare angesprochen, also auch hier die Kare und Trogschlüsse ursächlich gleichgesetzt. — Auch diese Fragen sind noch weit von einer endgültigen Klärung entfernt und bedürfen noch eingehender Nachprüfung an einzelnen Sonderbeispielen.

Die Kare sind in vielen Fällen bestimmend für die Entwicklung der Kamm- und Bergformen. Als breite, armsesselförmige Nischen sind sie in die Gehänge eingeschnitten. Wenn sie nahe benachbart sind, dann sind im Laufe ihrer Ausgestaltung mitunter die trennenden Zwischenwände mehr und mehr erniedrigt und auch ganz beseitigt, sodaß breit gedehnte Karplatten entstanden sind. Diese liegen aber über den Trogschultern und haben mit diesen trotz äußerlicher Ähnlichkeit nichts zu tun; es war daher ein Irrtum, wenn Nußbaum³⁾ beide gleichsetzte und aus ihnen weitgehende Schlußfolgerungen über die Entwicklung der glazialen Abtragungsvorgänge ableitete. — Häufig sind die Kämme, welche zwei benachbarte und unter sich gleichgerichtete Täler von einander trennen, auf beiden Flanken mit dicht an einander gereihten Karen besetzt. Dann stoßen die Rückwände von zwei Karen an einander und können bei fortschreitender Entwicklung ebenso wie die Scheidewände zwischen zwei benachbarten Karen erniedrigt und auch ganz niedergelegt werden. Solche Kämme werden „Karlinge“ genannt. Zwischen den Karen, deren Rückwände der besonders starken Abtragung ausgesetzt sind, bleiben einzelne Teile der Kämme in größerer Höhe erhalten und nehmen immer mehr die Gestalt von Hörnern und Pyramiden an.

Will man den eigentlichen eiszeitlichen Formenschatz eindeutig umschreiben, so kann man das am besten in mittelbarer Weise: glaziale Formen sind solche, welche ausschließlich auf die Gebiete ehemaliger Vereisung beschränkt sind und sich nicht durch die bekannten Gesetze von der Tätigkeit des fließenden Wassers erklären lassen.

Was aber im einzelnen ein Werk des Eises, was ein solches des Wassers ist, ist noch sehr unsicher.

1) M. Koncza, Les cirques des montagnes (Alpes fribourgeoises et Tatra). Mém. Soc. Frib. des Sc. natur. VII, Géol. et Géogr., S. 149.

2) R. von Klebelsberg, Glazialgeologische Notizen vom bayerischen Alpenrande. Ztschr. f. Gletscherk. VII, 1913, S. 226, VIII, 1914, S. 226.

3) F. Nußbaum, Die Täler der Schweizer Alpen. Wiss. Mitt. Schweiz. Alp. Museums in Bern III, 1910.

Alle Vorkommnisse rückläufiger Gefällsstufen innerhalb der Täler, soweit sie sich nicht auf tektonische Vorgänge zurückführen lassen, sind unvereinbar mit der Tätigkeit des fließenden Wassers und daher als ein Werk der eiszeitlichen Gletscher anzusprechen. Das gilt von den Karen wie von den großen Talseen, jenem Kennzeichen aller ehemals vergletscherten Gegenden. Felswannen innerhalb der Täler, welche durch solche rückläufige Stufen abgeschlossen sind, geben demnach einen Anhaltspunkt für das Ausmaß des durch den Gletscherschurf allein bewirkten Betrages der Talvertiefung. Da jedoch solche Wannan an ihren Enden vielfach durch Endmoränen oder anderweitige jüngere Aufschüttungen überhöht sind, ist es meist nicht leicht, bestimmte Zahlenwerte zu gewinnen. Sie halten sich im allgemeinen in mäßigen Grenzen, in den nördlichen Kalkalpen durchschnittlich etwa 100—200 m. — Es muß demnach als sicher gelten, daß der Gletscherschurf in die Tiefe wirken kann.

Der bezeichnende Querschnitt der glazialen Trogtäler läßt jedoch neben dieser im Vergleich zur gesamten Taltiefe meist recht unbedeutenden Talvertiefung eine andere Erscheinung viel mehr in den Vordergrund treten: die über breiten Aufschüttungsaunen sich jäh erhebenden steilen Talflanken, die Stufenmündungen der Seitentäler, der Abbruch der Trogschultern nach unten weisen darauf hin, daß die Gletscher hauptsächlich bestrebt waren, ihre Betten zu verbreitern. Deutlich ist in vielen Fällen die seitliche Unterschneidung der Gehänge, welche nach der Talmitte zu wie abgestutzt abfallen. Diese Übersteilheit der Talflanken war auch die Ursache, daß mit und nach dem Schwinden der Talgletscher gewaltige Bergstürze in die Täler herniedergingen, wobei ganze Kubikkilometer Gestein von den Höhen herabbrachen. Wo solche Bergstürze noch auf die Gletscherzungen der schwindenden Vereisung fielen, wurden sie von diesen weiterbefördert und bauten dann mitunter riesige Moränengebilde am Gletscherende auf; ein schönes Beispiel hierfür sind die Moränen von Monthey im Wallis (Rhonetal). Waren die Täler schon eisfrei, so wurden sie wohl ganz zugestopft und der Entwässerung neue Wege gewiesen, wie am Fernpaß in Tirol. Massenhaft lassen sich solche Erscheinungen in den Alpen erkennen.

Die röhrenförmige Ausweitung des Talquerschnittes zum glazialen Troge ist das Hauptmerkmal der Tätigkeit der eiszeitlichen Talgletscher. Wie sie zu erklären ist, ist noch strittig. Ampferer¹⁾ denkt an Gewölbspannungen, v. Drygalski²⁾ an einseitliches Aufquellen des Eisstromes von der Talmitte aus. Die seitliche Unterschneidung ist das Merkmal der ganztaligen Tröge. Dabei besteht Meinungsverschiedenheit hinsichtlich der eigentlichen Trogform im anstehenden Gestein. Die von Penck und seinen Anhängern vertretene Ansicht ist die eines gleichmäßig gerundeten U, wie es auch in den seltenen Fällen, wo an Felsriegeln oder Stufenmündungen der Querschnitt glazial gestalteter Täler im Anstehenden wirklich beobachtet werden kann, wiederholt festgestellt worden ist. Demgegenüber vertritt Distel die Annahme eines mehr trapez- oder „kasten“-förmigen Talquerschnittes, indem er darauf hinweist, daß bei den großen

1) O. Ampferer, Studien über die Inntalterrassen. Jahrb. d. K. k. Geol. Reichsanst. LIV, 1904, S. 110.

2) E. von Drygalski, Die Entstehung der Trogtäler zur Eiszeit. Peterm. Mitt. LVIII, 1912/II, S. 8, 329.

Haupttälern kein Anhaltspunkt dafür vorliegt, daß die steilen Flanken sich unter der breiten Aufschüttungsaue so schnell abflachen, wie es erforderlich wäre, um bei Berücksichtigung der Mächtigmöglichkeiten der heutigen Tal-aufschüttung zu einem gerundet U-förmigen Querschnitt zu gelangen. Die echte Trogform des weich gerundeten U in allen glazial gestalteten Tälern geht, wie mit Recht betont wird, zum überwiegenden Teile auf die beiderseitigen Schuttkegel und Fußhalden zurück, welche die tieferen Teile der steilen seitlichen Talflanken verhüllen. — Doch ist diese ganze Streitfrage eigentlich von ziemlich untergeordneter Bedeutung.

Großen Schwierigkeiten begegnet die Erklärung der zentralalpiner Taltröge mit ihren breit ausladenden Schultern. Es wurde betont, daß sie durchaus den Eindruck des „Tals im Tale“ erwecken. Besonders bemerkenswert ist hierbei, daß nicht nur der untere schmale Trog eindeutige glaziale Formung aufweist, sondern auch das obere, offenbar einer älteren Entwicklung angehörende Tal durch die bezeichnende seitliche Unterschneidung der Gehänge und die weit gestreckte Durchgängigkeit in deutlichem Gegensatz zu den nur durch fließendes Wasser erzeugten Tälern steht. In vielen Beziehungen entspricht das höhere, ältere Tal durchaus dem Bilde des „ganztaligen“ Troges in den Kalk-Alpen. Der in die Schultern eingesenkte untere Taltrog ist dagegen vielfach eng und schluchtartig entwickelt. Distel und Lautensach¹⁾ sind daher zu der Anschauung gelangt, daß der untere Taltrog in den Zentral-Alpen auf eine vorangegangene Neubelebung der Wassererosion und damit zusammenhängende fluviatile Zerschneidung eines älteren, höheren, heute durch die Trogschultern angedeuteten Talbodens zurückzuführen sei. Diese Neubelebung der Erosion reichte nach Distel in den hohen Tauern bis in die Quellgebiete, und an der Stelle, wo die dadurch bewirkte Talvertiefung einsetzte, entwickelte sich dann durch glaziale Ausgestaltung der Trogschluß. Solche Neubelebung der Erosion kann auf verschiedene Ursachen zurückgehen: Distel denkt vor allem an inneralpine tektonische Bewegungen noch kurz vor dem Eintritt des Eiszeitalters, Lautensach hat für das Tessingebiet auf die zuerst von Brückner in den Schweizer Alpen nachgewiesene Gebirgshebung während des Eiszeitalters selbst zurückgegriffen und verlegt daher die Entstehung der in die älteren Talböden eingeschnittenen schmalen fluviatilen Kerben in eine Interglazialzeit. Doch bedarf es an sich durchaus nicht immer der Annahme tektonischer Bewegungen zur Erklärung dieser Erscheinung. Wer von der Richtigkeit der Lehre vom wiederholten Wechsel von Eiszeiten und Interglazialzeiten während des Diluviums überzeugt ist, kann in der Entstehung schmaler fluviatiler Rinnen in den älteren, breiteren Tälern auch vielfach lediglich eine Folgeerscheinung der verschiedenartigen Übertiefungsbeträge in den einzelnen Tälern und Talstrecken erblicken, welche in den Interglazialzeiten durch die Tätigkeit des fließenden Wassers derartig ausgeglichen wurden. Doch bedarf es auch hier noch erheblich reichlicherer Tatsachenkenntnisse.

Dieser Gedanke, weder dem Wasser allein noch dem Gletschereise allein, sondern der mannigfaltigen Wechselwirkung zwischen beiden die letzte Ent-

1) H. Lautensach, Die Übertiefung des Tessingebietes. Pencks Geogr. Abh. N. F. 1, 1912.

stehungsursache des so mannigfaltigen eiszeitlichen Formenschatzes zuzuerkennen, ist zweifellos sehr fruchtbar. Wenn irgendwo, dann ist hier eindringliche Warnung vor zu weitgehenden Verallgemeinerungen angebracht. Der von Distel und Lautensach gezeigte Weg weist auf neue Erklärungsmöglichkeiten hin, aber ihnen kann ebenso wenig wie den anderen, früher bereits geäußerten allgemeine Gültigkeit ausschließlich zugewilligt werden. Wohl mögen die Trogschlüsse der durch Schultern in eigenartiger Weise gekennzeichneten zentral-alpinen Taltröge als glazial umgestaltete Endpunkte präglazialer oder interglazialer Neubelebung der Wassererosion gelten. Aber in all den eigentümlichen Grenzfällen, wo eine scharfe Unterscheidung zwischen Trogschlüssen und Karen nicht zu geben ist, genügt diese Erklärung nicht; und dort, wo durch das Aussetzen der Übertiefung gegen den Talausgang hin eine auf tektonische oder andere Ursachen zurückgehende Tieferlegung der Erosionsbasis überhaupt ausgeschlossen wird, kommt sie vollends nicht in Frage. Die glaziale Ausgestaltung des Landschaftsbildes hat in manchen Fällen Formen verschiedenartiger Entstehung einer gleichartigen Weiterentwicklung zugeführt, und von Fall zu Fall ist Einzelentscheidung erforderlich. Gerade die Frage nach der Entstehung der Trogschlüsse ist noch durchaus nicht spruchreif.

Aber durch diese Auffassung ist doch insofern ein Fortschritt erzielt, als auch ganz allgemein mehr die Bedeutung des fließenden Wassers auch während des Eiszeitalters für die Formengestaltung zur Geltung gelangt ist. Sicherlich nicht in dem einseitig weitgehenden Sinne von Heim, aber doch schon erheblich mehr, als selbst Penck und Brückner anerkennen wollten. Wiederholt sind Anzeichen solcher allgemeiner Gebirgshebungen während des Diluviums, wie sie Brückner für die Schweiz vertritt, auch anderwärts in mehr oder weniger starkem Ausmaße erkannt worden, und in auffälliger Weise ist die gesamte diluviale Talvertiefung namentlich in den an Riegeln und geschlossenen Felswannen im allgemeinen ärmeren Randgebieten abhängig von dem Betrage dieser Gebirgshebung: sie ist in der Schweiz besonders groß und erreicht im Reußgebiet über 800 m, während sie in den bayerischen Kalkalpen nur gelegentlich 150—200 m übersteigt. Auch hier kommt, wie mehr und mehr erkannt wird, dem eigentlichen Gletscherschurfe nur mehr eine ausgestaltende und im einzelnen vielleicht übersteigernde Wirkung zu.

Dabei ist aber nicht zu übersehen, daß es auch tatsächlich sehr stattliche Übertiefungsbeträge innerhalb geschlossener Felsbecken gibt, welche ausschließlich dem Gletscherschurfe zuzuschreiben sind. Und das Bezeichnende ist hierbei, daß die größten derartigen Beträge in den innersten Talwinkeln des Gebirges zu finden sind. Bei Garmisch kann man z. B. feststellen, daß der dem Wettersteingebirge entströmende örtliche Partnachgletscher sein am Ausgang überhaupt nicht übertieftes Tal in den mittleren Teilen bis zu 350 m, am Trogschluß gar um 600 m übertieft hat, während im benachbarten Loisachtale ein gewaltiger, aus den Zentral-Alpen gespeister Eisstrom sein außerdem noch durch die Hebung des nahen Gebirgsrandes beeinflusstes Bett um keine 200 m vertiefte.¹⁾ Offenbar ist hier das Talgefälle ausschlaggebend; je geringer es talauswärts wird, um so

1) Vgl. F. Levy, *Diluviale Talgeschichte des Werdenfelser Landes und seiner Nachbargebiete*. Ostalpine Formenstudien I/1, 1920.

mehr verringert sich auch die Wirkung des glazialen Tiefenschurfes. Auch an die gebirgsauswärts immer größer werdende Talbreite ist hier zu denken, welche zu einer Entlastung des inneren Druckes der Eisströme führen konnte.

Die Fälle, wo den Wänden der Trogschlüsse wie denjenigen der Karumrahmung die bezeichnende glaziale Abschleifung fehlt, lassen freilich die Bezeichnung „Übertiefung“ hier eigentlich nicht mehr zu. Denn hier spielt die unter den Einflüssen des Frostes und der Wiedergefrierung vor sich gehende Wandverwitterung eine wesentliche Rolle. Freilich ist auch bei den Karen die Entstehung der eigentlichen, halbkreisförmigen Nischen und vor allem des vielfach ja sogar rückläufigen Gefälles des flachen Bodens noch nicht ganz geklärt. Distel hat auch hier wieder mit Recht darauf hingewiesen, daß die Voraussetzung zur Entstehung von Karen die Möglichkeit der Entstehung von Firnschnee in geschützten Winkeln des Quellgebietes ist. Solche Voraussetzung ist aber dort am ehesten gegeben, wo durch eine Neubelebung der Wassererosion in engen Runsen und Schluchten orographische Begünstigung ein Übersommern des Winterschnees gestattet. Richter hatte dagegen die Anschauung geäußert, welche seither vielfach allgemein übernommen worden ist, daß vor der Entstehung der Kare wenigstens in den Tiroler Zentral-Alpen Rundkuppen mit Mittelgebirgsformen geherrscht hätten. Distels Ansicht bedeutet sicherlich einen Fortschritt; aber der von ihm auch hier angezogenen präglazialen Neubelebung der Erosion bedarf es in diesem Falle durchaus nicht, denn die hocheiszeitliche glaziale Gehängeunterschneidung hat in den Interglazial- und Interstadialzeiten zur derartigen Neubelebung der Quelltrichter durchaus genügt. Daß sich der in günstiger Lage geschützt liegenden bleibende Schnee sehr rasch nach Art von Firnflecken ausgestaltet, kann man noch heute in den Karen und Nischen der Vogesen, des Schwarzwaldes und an ähnlichen Stellen beobachten: es entsteht sehr bald gegen das Hintergehänge ein kleiner Bergschrund, hier dringen die atmosphärischen Einflüsse ein und bearbeiten das Hintergehänge, und es ist leicht verständlich, daß in den Ursprungsgebieten der Gletscher so die ersten Ansätze der Karwände entstanden, welche sich dann mehr und mehr rückwärts ins Gehänge hinein und gegen den Kamm hin ausdehnten. Aber wenn so auch die Entstehung der den Karen verwandten glazialen Nischen begrifflich ist, so bleibt der Übergang von diesen zu den Karen mit den ebenen Böden noch durchaus in Dunkel gehüllt.

Je nach dem Standpunkte der Forscher gegenüber der Bedeutung des Gletscherschurfes im besonderen wie auch des ganzen eiszeitlichen Formenschatzes im allgemeinen ist das Bild, welches sie vom präglazialen Aussehen der Alpen entwerfen, recht verschieden. Hauptsächlich gestützt auf die von Richter zuerst ausgesprochene Meinung, daß die Tiroler Zentral-Alpen vor der Entstehung der Kare Mittelgebirgsformen besessen haben, schilderten Penck und Brückner die präglazialen Ost-Alpen als ein zwar hohes, aber doch durchaus durch ausgeglichene Mittelgebirgsformen gekennzeichnetes Gebirge. Die Schweizer Alpen mit ihrer weniger umfangreichen Karentwicklung und ungleich größeren Massenerhebung wie auch den recht steilen Gefällswerten, welche sich für die den Trogschultern entsprechenden älteren Täler ergaben, sollten dagegen ein weniger

fortgeschrittenes Bild der rein fluviatilen Formenentwicklung zeigen. Daß diese älteren, den Trogschultern und der Mehrzahl der Stufenmündungen entsprechenden Talböden tatsächlich präglaziales Alter besitzen, haben Penck und Brückner durch eine Verbindung derselben mit der Sohle der altdiluvialen Deckenschotter des Vorlandes nachzuweisen unternommen.

Das allgemeine Bild eines präglazialen ostalpinen Mittelgebirges ist auf vielfachen Widerspruch gestoßen. Die von Distel im Verlaufe der Trogschultern in einigen Tauerntälern festgestellten Stufen wiesen in gleicher Weise wie der von Sölch¹⁾ erbrachte Nachweis, daß im steirischen Randgebirge in nie vergletscherten Tälern derselbe Stufenbau zu beobachten ist wie in denjenigen, welche von eiszeitlichen Talgletschern erfüllt waren, darauf hin, daß auch in den Ost-Alpen mancherorts nicht das ausgeglichene Gefälle der Mittelgebirgstäler die präglazialen Verhältnisse kennzeichnete. In den oberbayerischen Alpen ist zwar das präglaziale Talgefälle ausgeglichen, aber in manchen Fällen so steil, daß unmöglich Mittelgebirgsverhältnisse zum Vergleich herangezogen werden können. Andererseits haben die Untersuchungen von Lautensach, Nußbaum u. a. für die Schweizer Alpen die Annahme Brückners von ihrer wenig weit vorgeschrittenen Entwicklung in präglazialer Zeit nicht nur bestätigt, sondern de Martonne kam auch zur Überzeugung, daß wenigstens in den französischen Alpen bereits ein reicher Stufenbau in Folge des Eintretens wiederholt in kürzeren Abständen erfolgender Gebirgshebungen vorhanden war. Neuerdings hat Penck²⁾ auch für Teile der Ost-Alpen eine solche, weniger ausgeglichene präglaziale Formung zugegeben und die andererseits in den Zentral-Alpen vielfach zu beobachtende weitgehende Ausgeglichenheit dadurch zu erklären versucht, daß er hier eine Einwalmung in Folge weitgespannter Großfaltenbildung annahm, in welcher die Abtragung weiter vorgeschritten war, als in der nördlich anschließenden kalkalpinen Aufsattelungszone.

Das Bild der präglazialen Alpen ist also noch in vielen Beziehungen durchaus unklar. Sicherlich haben sich die verschiedenen, in sich ja so mannigfaltig aufgebauten Teile des Gebirges auch gegenüber statischen Verschiebungen nicht einheitlich und gleichartig verhalten, sodaß auch in präglazialer Zeit das Gebirge in seinen einzelnen Abschnitten durchaus verschiedenartige Bilder darbieten konnte. Das spiegelt sich auch im Verhalten des Vorlandes wider: den reichen pliozänen Flußablagerungen in der Rhoneniederung, welche recht gut zur Vorstellung unausgeglichener Verhältnisse in den zugehörigen französischen Alpentälern passen, steht das völlige Fehlen aller Pliozänbildungen vom Genfersee bis weit nach Österreich hinein gegenüber, wo auch die präglazialen Täler durch gleichmäßigeres Gefälle ausgezeichnet waren.

Bedarf es also auch hier noch sorgfältiger Einzelforschung, ehe an die Stelle mehr oder weniger allgemeiner und verschwommener Vorstellungen scharf umrissene Bilder vom präglazialen Landschaftsbilde der Alpen treten können,

1) J. Sölch, Beiträge zur eiszeitlichen Talgeschichte des Steirischen Randgebirges und seiner Nachbarschaft. Forsch. z. dtsh. Landes- u. Volksk. XXI, 1917, S. 305.

2) A. Penck, Die Gipfelfur der Alpen. Sitzungsber. d. Preuß. Ak. d. Wiss. XVII, 1919, S. 256.

so muß doch andererseits betont werden, daß kein Beweis dafür gegeben ist, daß vor dem Eintritt des Eiszeitalters das Gebirge in seiner Gesamtheit gehoben wurde. Die Neubelebung der Erosion, welche von Distel und Lautensach mit Recht zur Erklärung zahlreicher Erscheinungen des alpinen glazialen Formenschatzes, besonders der zentralalpiner Taltröge und der zugehörigen Trogschlüsse gefordert wird, braucht durchaus nicht im Sinne von Distel präglazial zu sein; viel wahrscheinlicher ist es, sie mit jenen mitteldiluvialen tektonischen Bewegungen in Beziehung zu bringen, welche nunmehr von einem großen Teile der Alpen bekannt sind.

Die Frage, welche Bedeutung dem Gletscherschurfe und welche der Tätigkeit des fließenden Wassers bei der Ausgestaltung des eiszeitlichen Formenschatzes zuzuerkennen ist, ist in bedeutendem Maße auch abhängig von der Stellungnahme zu der Frage nach der Einheit oder Wiederholung der diluvialen Eiszeit. Ohne auf diese schwierige Frage hier näher einzugehen, sei nur betont, daß bei der Annahme einer nur einmaligen Vergletscherung die Möglichkeit interglazialer Wasserarbeit und ihrer Umgestaltung eines älteren glazialen Formenschatzes nicht in Frage kommt. Daher wird in diesem Falle manche diluviale Erosionsleistung als ausschließlich glazial gelten müssen, für welche bei der Annahme wiederholter Vergletscherungen dem Gletscherschurfe selber eine nur mehr untergeordnete Bedeutung zugewilligt zu werden braucht. Auch hier liegen erhebliche Schwierigkeiten, welche die ganze Fragestellung noch verwickelter gestalten.

Die Frage nach dem Verlaufe des Eiszeitalters tritt jedoch zurück bei der Betrachtung derjenigen Hochgebirgsformen, welche außerhalb des Bereiches der eiszeitlichen Gletscher liegen und durch diese daher keine Ausgestaltung erfahren haben. Das sind alle diejenigen Erscheinungen, welche über der Schlifffgrenze liegen. Sie waren — und sind es vielfach noch heute — im Bereiche des ewigen Frostes gelegen, den schroffen täglichen Temperaturschwankungen der großen Höhen ausgesetzt und dem Spiel der atmosphärischen Störungen schutzlos preisgegeben. Die reine Frostverwitterung führt hier im Verein mit den scharfen Höhenwinden einen erfolgreichen Kampf gegen das Gestein, welches unter ihrem Einflusse weitgehender Zertrümmerung anheimfällt. Da nun aller auf diese Weise von den Felsen der Kämme und Gipfel abgesprengte grobe Schutt auf die Firnfelder und Talgletscher niederfällt und -fiel, durch diese dann fortgeschafft wurde und keinerlei Möglichkeit zur Anhäufung besaß, muß der Abtrag in diesen Bezirken besonders große Werte erreichen. Nur so wird die Entstehung der weiten Karkessel verständlich. Die Klüftigkeit des Gesteins bestimmte hier vielfach die Böschungen der Wände, und so konnten jene schroffen, mitunter sogar saigeren oder auch wohl überhängenden Wände entstehen, welche die heutigen Hochgebirgsgrate bilden. Je mehr dieser Vorgang gleichzeitig auf beiden Seiten eines Kammes sich abspielte, desto schmaler wurden naturgemäß die Grate, und bei zunehmender Zuschärfung war gleichzeitige fortschreitende Erniedrigung die Folge. Dabei sind die rein petrographischen Unterschiede des Gesteins von ganz untergeordneter Bedeutung, dieselben Hochgebirgsformen finden sich in weichen Bündnerschiefern des Engadin wie im Tonalit des Ada-

mello oder im Wettersteinkalk des Wilden Kaisers. Ausschlaggebend ist die Klüftigkeit, welche den Niederschlägen das Eindringen in das Gestein ermöglicht und bei den Vorgängen der Wiedergefrierung dessen Sprengung herbeiführt. So sind jene Mauern und Zinnen, die stolzen Hörner wie die schlanken Nadeln zustande gekommen, welche heute das Wahrzeichen aller Hochgebirge bilden. Sie stehen mit ihren rauhen Wänden und scharfen Zacken in wirkungsvollem Gegensatz zu den tieferen Teilen der Gehänge, wo unter dem Einflusse der Abschleifung durch den Gletscherschurf das mannigfaltig gegliederte Landschaftsbild doch in ruhigeren Linien verläuft.
