Die Terrassen und die Antezedenz eines Abschnittes des Salzachflusses

Mit 2 Abb. im Text

Von ALICE COLEMAN, London *

1. Einleitung.
2. SEEFELDNERS Argument für eine rezente Krustenbewegung.
3. Untersuchungsmethode.
4. Beschreibung und Interpretation der Terrassen.
   a) Auswahl des Gebietes.
   b) Die Terrassen zwischen Hallein und Ofenau.
   c) Interpretation der Terrassenmorphologie.
   d) Interpretation der Terrassensedimente.
   e) Die Terrassen zwischen Ofenau und Werfen.
   f) Denudationschronologie.
5. Zusätzliche Beweisdaten.
   a) Der lokale Befund.
   b) Vergleich mit anderen Gebieten.
6. Schlußfolgerungen.

1. Einleitung

Die jungen Erdbeben in Innsbruck (Mai bis Juni 1955) erinnern uns daran, daß die letzten posthumen Bewegungen des alpinen Paroxysmus noch aktiv sind. Allerdings bedurften alpine Geologen dieser Erinnerung nicht, denn sie verwerteten häufig weniger in die Augen springende Hinweise, um das Auftreten lokaler Hebung oder Senkung in geologisch junger Zeit zu demonstrieren. Dies mögen zwei Beispiele im Salzachtal zeigen. Erstens gab es im Oberpinzgau postglaziale Senkung. TH. PIPPAN [1949] hat darüber Anschauungen entwickelt und zusammengefaßt. Die Senkung führte zur Aufschüttung der Talsohle, welche daher breit und flach ist und zur Versumpfung neigt. Weil es hier keine Tiefenerosion gab, wurde die Terrassenbildung gänzlich unterdrückt. Zweitens gab es in der Klamm der Salzachöfen eine lokale postglaziale Hebung quer zur Flußrichtung [E. SEEFELDNER 1951]. Dies hat ein so rasches und andauerndes Einschneiden verursacht, daß sich auch hier keine Gelegenheit zur Terrassenbildung

* Verf. ist Dr. TH. PIPPAN aus Salzburg sehr verbunden für viele Auskünfte über das Untersuchungsgebiet einschließlich der Übersetzung der einschlägigen Literatur ins Englische; ferner für die Diskussion von Ergebnissen der Geländebeobachtungen und manche andere Hilfe. Dr. PIPPAN hat auch die vorliegende Abhandlung aus dem Englischen ins Deutsche übertragen. Gedankt sei auch Dr. A. BRUNNSTEINER und Frl. I. PUCHER, welche es ermöglichten, die genauen Höhendaten entlang der Eisenbahn zu erlangen. Der Erhalt einer Subvention der Londoner Universität für Durchführung der Geländearbeiten wird mit Dank anerkannt.

ergab. Bei beiden Abschnitten des Salzachtales fehlen die Terrassen, aber aus verschiedenen Gründen.

Immerhin, einige sehr schöne postglaziale [1] Terrassen bestehen im Salzachtal und wo sie dem Hebungsgebiet der Salzachöfen ganz nahe kommen, könnte man denken, daß sie eine zunehmende Höhendivergenz zeigen oder andere Formen, welche die Krustenbewegung widerspiegeln. Damit ist das Ziel der vorliegenden Arbeit gegeben. Die Terrassenkartierung und -analyse wurde aus zwei Gründen unternommen: a) um unabhängig von E. SEEFELDNERS Argumenten festzustellen, ob die behauptete postglaziale Hebung tatsächlich erfolgte und, wenn dies der Fall ist, b) einige quantitative Daten zu liefern, welche die Grenzen des Hebungseinflusses betreffen.

2. E. Seefeldners Argument für junge Krustenbewegungen

Das Untersuchungsgebiet liegt teils im Schluchtabschnitt des Salzachtales zwischen Werfen-Ofenau und teils in dem mehr offenen Abschnitt unterhalb Ofenau. Es ist gut bekannt, daß diese zwei unterschiedlichen Strecken lithologische und strukturelle Bedingungen widerspiegeln und daß die deutliche Stufe dazwischen annähernd dort auftritt, wo der Dachsteinkalk vom Plateau des Hagen- und Tennengebirges hinabtaucht. E. SEEFELDNER bemühte sich zu zeigen, daß die Klamm der Salzachöfen und ihr steiles Gefälle mehr sind als nur ein Einschnitt in eine glazial erodierte Stufe an der Nordgrenze des widerständigen Dachsteinkalkes. Er verfolgte sorgfältig die untere Grenze der Gletscherwirkung an den Klammwänden, das ist die Trennungslinie zwischen den U-förmigen Gehängen mit Gletscherschliffen und Rundhöckern oberhalb und den fluviatil entstandenen senkrechten Wänden mit ausgewaschenen Erosionskolken darunter. Diese Grenze ist an den Seiten der Klamm als deutliche Linie zu unterscheiden, welche in der Längsrichtung eine gewölbte, domartige Gestalt hat. Sie ist in der Höhe von 490 m etwas östlich des S-Einganges des Bahntunnels zu erkennen. Sie steigt flußabwärts auf 500 m bei Maria Brunneck und auf 525 m in der Mitte der Klamm an, wo die Touristenbrücke den Fluß quert. Von hier sinkt sie auf 500 m ab und verschwindet schließlich in 470 m am Klammausgang unter die postglaziale Aufschüttung des Ofenau-Halleiner Abschnittes.

Angesichts der Möglichkeit, daß das Eis auch aufwärts übertiefen und erodieren kann, ist es notwendig zu untersuchen, ob dieses gewölbte Profil des Gletscherbettes nicht nur eine ursprüngliche erosive Form war. E. SEEFELDNER argumentierte, daß, wenn tatsächlich ursprünglich ein Felsriegel über das Tal bestanden hätte, er talaufwärts einen See aufgedämmt haben müßte, als sich das Eis zurückzog. Er suchte vergeblich nach den steil einfallenden Deltaschichten, die einen solchen See beweisen würden und fand nur horizontal geschichtete fluviatile Ablagerungen. Diese wurden während der gegenwärtigen Geländearbeit wieder untersucht und die Feststellungen E. SEEFELDNERS bestätigt. Das Fehlen eines Sees zeigt, daß die Aufwölbung nicht ursprünglich sein konnte, sondern

[1] „Postglazial" bedeutet hier die Datierung angefangen vom lokalen Rückzug des Eises vor 9000 Jahren [E. SEEFELDNER 1954]. Dies mag äquivalent zum „Spätglazial" jener Autoren sein, welche in einem umfassenderen Begriff an kleine Vorstöße in höher gelegenen Teilen der Alpen denken.

postglazialer Entstehung ist und daß ihr Ausmaß jenes der Tiefenerosion des Flusses nicht übertraf, die in der Lage war, mit ihr Schritt zu halten. Die Salzachöfen bieten damit ein Beispiel für Antezedenz.

Im Lichte dieses Hintergrundes ist die Aufnahme der Terrassen zu verstehen.

3. Die Untersuchungsmethode

Die beste österreichische Karte ist jene im Maßstabe 1: 25.000 mit einer Äquidistanz der Isohypsen von 20 m im allgemeinen und von 10 m im größten Teil des Untersuchungsgebietes. Sie gibt ein ausgezeichnetes Bild des allgemeinen Reliefs und zeigt viele Terrassenabfälle durch eine Signatur. Aber sie reicht nicht aus, um eine genaue Höhenanalyse der Terrassen zu gestatten, die für den vorliegenden Zweck durchgeführt werden mußte, so daß eine Ergänzung durch Instrumente nötig war. Die angewandte Methode bestand in der Erstellung zusätzlicher Höhenkoten durch ein Aufnahmeaneroid (Sparks 1953), welches Werte mit einer Genauigkeit bis zu 5 Fuß (1, 34 m) geben kann. In der Praxis ist der Fehler gewöhnlich noch kleiner [2]. Diese Methode erfordert, daß jede Verquerung an einem höhenmäßig genau bekannten Punkt innerhalb einer Stunde abgeschlossen wird, um den genauen Anteil der Abweichung zu ermitteln, die auf wechselnde Luftdruckverhältnisse zurückgeht. Leider sind in Österreich solche Höhenkoten spärlich und manche befinden sich auf Gipfeln, die in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit nicht erreichbar sind. Die einzigen Punkte, welche wirklich benutzt werden konnten, waren gewisse Höhenangaben an der Bahnstrecke, hauptsächlich in den Stationen. Dieser Umstand brachte es mit sich, daß beim Arbeiten in größerer Entfernung von der Station die Gehzeit nach und von dem aufgenommenen Punkt die Arbeitszeit überschritt. Aber zum Ausgleich für dieses Übermaß an verlorenen Wegstrecken konnten die Terrassen sehr leicht kartiert werden. Ihre scharfe Ausprägung ist eine Freude für den Geomorphologen und darüber hinaus sind sie praktisch unzerschnitten. Da war wenig Anlaß zu persönlicher Beurteilung und sie konnten objektiver kartiert werden als irgend welche Terrassen, mit denen Verf. in England zu tun hatte.

Annähernd 150 Terrassenabschnitte wurden untersucht und über 700 neue Höhenkoten erstellt. Das englische Höhenmaß, das Fuß (1 m = 3,28 Fuß), wurde bei diesen Messungen verwendet und ist in einem gewissen Ausmaß im Text beibehalten, um den Gebrauch von Dezimalen zu vermeiden.

4. Beschreibung und Interpretation der Terrassen

a) Auswahl des Gebietes

Ein Abschnitt von 26,5 km Länge wurde ausgewählt, um sowohl die 13 km lange Schlucht von Werfen bis Ofenau als auch eine ähnlich große Strecke des breiteren Tales weiter flußabwärts einzuschließen. Hallein erwies sich als er-

[2] Zwei Stellen, die bei verschiedenen Verquerungen wiederholt gemessen wurden, ergaben die folgende typische Wertreihe: a) 1536, 1536, 1536, 1537, 1535 Fuß. b) 1648, 1648, 1646, 1645, 1645 Fuß.

wünschter Endpunkt, weil hier die ersten merkbaren Gefällsknicke an der Salzach unterhalb jenen der Salzachöfen entgegentreten. Eine Serie von Wehren in der Stadt erniedrigt den Wasserspiegel um mindestens 5 m unter die Alluvialebene, welche daher aufhört eine solche zu sein und sich als Terrasse weiter flußabwärts loslöst. Kein ähnlicher Übergang ist innerhalb der 13,5 km langen Strecke aufwärts bis Ofenau zu beobachten und für diesen Abschnitt wirkt die Oberkante des Gefällsknicks bei Hallein als lokale Erosionsbasis. Dieser Umstand bewirkt eine Gleichförmigkeit, durch welche die Terrassen umso leichter vergleichbar sind. Da der Angelpunkt der Untersuchung auf die Salzachöfen selbst konzentriert war, erwies es sich als günstig, die Aufnahme nach beiden Richtungen in derselben Entfernung davon abzuschließen.

Aus dem Höhenabstandsdiagramm (Abb. 1 und 2) ergibt sich ganz klar, daß ein völliger Bruch in der Kontinuität zwischen den Terrassen oberhalb und unterhalb der Salzachöfen vorliegt. Das wäre auf jeden Fall zu erwarten, sogar wenn der Gefällsbruch an den Salzachöfen nur das Ergebnis einer glazial gebildeten Stufe an der Grenze widerständiger Schichtköpfe wäre, umsomehr aber dann, wenn solch ein Knick durch tektonische Hebung akzentuiert wurde. Es wird daher vorgeschlagen, die zwei Serien getrennt zu beschreiben und zu interpretieren und dann den Versuch zu machen, sie wieder in Zusammenhang zu bringen, wenn die Abtragungschronologie des ganzen Gebietes rekonstruiert wird.

b) Die Terrassen zwischen Hallein und Ofenau

Die niedrigsten unterscheidbaren Flächen sind jene, die durch den Lokalnamen „Au“ gekennzeichnet sind. Es handelt sich um unzusammenhängende Streifen einer tiefliegenden Aufschüttung, die oft im konvexen Bogen einer Flußkrümmung auftritt. Sie sind von typischem Auwald bedeckt. Es ist nicht anzunehmen, daß sie ein gesondertes Erosionsniveau repräsentieren, sondern sie sind beginnende Erweiterungen der Alluvialebene, die nur einer Alluvialdecke bedürfen, um sie zum normalen landwirtschaftlich verwertbaren Niveau zu heben.

Die Alluvialebene selbst ist um weniger als 1 m höher, aber sie ist eine richtige zusammenhängende Fläche. Sie steigt allmählich mit dem Flußniveau von 445 m (1460 Fuß) bei Hallein auf 472 m (1549 Fuß) bei Ofenau. Stellenweise, besonders gegen das obere Ende, ist sie in einen tieferen und höheren Teil gegliedert. Die beiden sind durch einen niederen, etwa 1 m hohen Abfall voneinander getrennt. Beide Teile sind gelegentlich durch etwa 1 m (2—4 Fuß) tiefe Rinnen unterbrochen, die wenigstens zum Teil die seichten Verzweigungen sind, durch welche der Fluß ursprünglich auf der Alluvialebene hin- und herpendelte. Sehr häufig begegnet man einer derartigen Rinne nahe am Fuße des Abfalles der nächst höheren Terrasse. Die Fläche im ganzen fällt gegen diese Rinne ab, indem sie einen kleinen Uferdamm entlang des Flußrandes bildet. Bei den Höhenmessungen wurden diese Rinnen stets sorgfältig vermieden. Im Gegensatz zu der Vielfalt früherer Flußläufe, die offenbar sehr seicht waren, ist die Salzach in ihrem gegenwärtigen regulierten Bett ungewöhnlich tief.

Über die Alluvialebene erhebt sich gewöhnlich eine niedere Terrasse, welche einen scharfen Stirnabfall von 3—6 Fuß Höhe hat. Ihre Oberfläche ist breit und frisch und hat vielfach ähnliche Züge wie die Alluvialebene. Sie ist ebenso unzerschnitten und entwickelt eine gleiche Tendenz zu einem Gegengefälle von einem kleinen Uferdamm weg zu einer seichten Rinne am dem Fluß abge-

wandten Rand der Terrasse. Sie nimmt fast dasselbe Areal wie die Alluvialebene ein, aber, da letztere seitlich in sie einschneidet, muß sie ursprünglich zweimal so breit gewesen sein.

Gleich über dieser niederen Terrasse ist eine weniger gut entwickelte Fläche. Innerhalb der untersten 8 km des Untersuchungsgebietes ist sie nicht vorhanden, sondern tritt zuerst bei Kuchl auf, und zwar als seichter Einschnitt in die Front der nächst höheren oder Hauptterrasse. Nördlich Golling ist sie durch kleine Fragmente an beiden Talseiten repräsentiert. Jene am rechten Ufer haben deutlich sanftere Hänge als dies in unserem Gebiet die Regel ist, und zwar sowohl zu den niederen als auch höheren Terrassen. Es ist zu vermuten, daß in dieser Phase Hanggleitungsvorgänge größere Wirkung hatten als in einer anderen. Südlich von Golling ist diese Zwischenterrasse deutlicher und zusammenhängender ausgeprägt. Sie hat mithin eine Verbreitung, die gegensätzlich zur normalen Terrassenentwicklung ist, da sie flußabwärts abnimmt und verschwindet.

Die Hauptterrasse ist aus zwei Gründen bei weitem die eindrucksvollste, weil ihre Oberfläche am ausgedehntesten und ihr Stirnabfall hoch und auffällig ist. Es finden sich schwache Spuren von Rinnenbildung, doch sind sie seltener als auf den tieferen Formen und auch die Tendenz zu einem Gegengefälle [3] ist weniger betont und fehlt lokal überhaupt. Die ungeheure Fläche, welche sich über 5 km zwischen Jadorf und Golling erstreckt, gibt ein besonders klares Bild dieser früheren „Alluvialebene", welche an Ausdehnung sowohl die des heutigen als auch jene des niederen Terrassenstadiums übertroffen haben muß. Die Terrasse wird ursprünglich über 2 km breit gewesen sein. Sie erstreckt sich bis zur glazial bearbeiteten, felsigen Talwand hin und umschließt an drei Stellen durch den Gletscher modellierte Hügel, welche sie um 24 m überragen. Das sind Beispiele für „Steine des Anstoßes", wie sie A. Heim im Rheintal beschrieben hat. Der Georgenberg ist besonders erwähnenswert, da er 1 km lang ist. Südlich Golling gliedert sich die Hauptterrasse in zwei Teile (obere und untere Staffel), die durch einen bis zu 6 Fuß hohen Abfall voneinander getrennt sind. Eine ähnliche Verdoppelung der Fläche dieser Phase tritt am rechten Ufer flußaufwärts von Torren auf.

Im Mündungstrichter der Lammer ist die Hauptterrasse nicht mehr die höchste Fläche, sondern wird durch einen nicht unter 12,5 m hohen Abfall überragt. Dieser gehört einer Terrasse der Lammer an, die im Höhenabstandsdiagramm und in der Diskussion nicht behandelt wird. Drei Terrassen des Tauglbaches wurden aber in das Diagramm aufgenommen, um die Beziehung der Salzachflächen zu jenen der Nebentäler zu zeigen; wo jedoch der Torrener Bach und die Lammer fast einander gegenüber einmünden, hätte jeder Versuch, ihre zahlreichen und gewundenen Terrassen graphisch darzustellen, wegen des Reichtums an Einzelheiten zur Unleserlichkeit geführt.

c) Interpretation der Terrassenmorphologie

Es ist zunächst notwendig, das postglaziale Alter der untersuchten Terrassen festzustellen. Ein Hinweis ist durch die Beziehung zum St. Margarethener Konglomerat gegeben, das ein R—W interglaziales Seedelta ist. Auf 2 km Erstreckung von Hallein bis Kuchl ist dieses Konglomerat durch die Hauptterrasse abgeschnitten, welche daher jünger sein muß. Dasselbe gilt vom Südende des

[3] Gemeint ist ein Gefälle in der Richtung vom Talweg gegen den Talhang wie bei Schwemmkegeln (Anmerkung des Schriftleiters).

Georgenberges. So bleibt nur die Würm- oder Nachwürmzeit für die Bildung der Terrassen. Sie können keinesfalls während der Würmvergletscherung entstanden sein, da jede Spur von Oberflächenunregelmäßigkeit und Moränenresten fehlt, welche die Gletscherzunge notwendigerweise zurückgelassen haben müßte. Die Oberflächen sind außerordentlich eben und die 28—35° geböschten Frontalabfälle wie gemeißelt. Es sind unzweifelhaft postglaziale Formen, was besagt, daß sie alle innerhalb der letzten 9000 Jahre, nach dem Schwinden des Gletschers aus diesem Talabschnitt, entstanden sind.

Zweitens muß das Alter der Terrassen in Beziehung zueinander bestimmt werden. Ihre scharf geschnittenen Formen lassen wenig Zweifel, daß sie in einfacher absteigender Abfolge eingeschnitten wurden; aber es gibt noch weitere unterstützende Hinweise. Formen, die auf der Alluvialebene am deutlichsten sind (nämlich ein Damm, ein Gegengefälle [4] und Rinnenbildung), werden nach oben zu weniger deutlich, ein Zeichen, daß die Zeit fähig war, diese Unregelmäßigkeiten auszugleichen und daß eine einfache Beziehung zwischen Alter und Höhe besteht.

Der dritte wichtige Hinweis besteht darin, daß sich die Terrassen gegen S vermehren. Bei Hallein gibt es nur die Alluvialebene, die niedere und die Hauptterrasse, aber südwärts schalten sich allmählich zusätzliche Terrassen ein. Sowohl die Alluvialebene als auch die Hauptterrasse spalten sich in zwei Glieder: Die Zwischenterrasse erscheint und spaltet sich dann in ähnlicher Weise auf, während am linken Ufer eine Alluvialebene und eine niedere Terrasse entwickelt sind, welche ein höheres Niveau haben als die korrespondierenden Formen am rechten Ufer. Das Höhenabstandsdiagramm zeigt diese Entfaltung als ein divergierendes Bündel von Terrassen, die flußaufwärts zu einem großen morphologischen Crescendo aufsteigen und am Eingang der Salzachöfen plötzlich enden.

Die Vermehrung der Terrassen wurde nicht innerhalb desselben Vertikalabstandes erreicht als die einfachere Abfolge bei Hallein. Hier beträgt der Spielraum zwischen dem tiefsten Punkt auf der Alluvialebene und dem höchsten Punkt auf der Hauptterrasse 8 m (26 Fuß), während er bei Ofenau 16 m (52 Fuß), also genau das Doppelte beträgt.

In einem „normalen" Tal vermehren sich die Terrassen abwärts, da zusätzliche durch talauf wandernde Gefällssteilen — Kerbenscheitel — erzeugt werden. Auch der Abstand zwischen der Alluvialebene und der höchsten Terrasse wächst in einem solchen Tal flußabwärts. Im vorliegenden Fall aber verhält es sich genau umgekehrt und dies stimmt mit der angenommenen Hebung flußaufwärts überein. SEEFELDNER führt aus, daß das Maximum postglazialer Hebung entlang der Bewegungsachse 30—40 m (100—120 Fuß) beträgt. Es scheint, daß dieser Wert bei Ofenau, näher der Grenze der Wirksamkeit, auf etwa 16 m (53 Fuß) abgenommen hat und daß nördlich von Kuchl keine merkliche Wirkung mehr zu beobachten ist. Das ergibt sich aus dem Longitudinalgefälle.

Das Transversalgefälle, quer zum Tal, bietet einen weiteren Beweis. Wenn die Hebungsachse nicht genau einen rechten Winkel mit der Tallängsachse bildet, muß offenbar jede Bewegung die zwei Talseiten verschieden beeinflussen. Dies würde sich in einem sehr weiten Tal wie hier besonders deutlich äußern. Tatsächlich sind die Terrassen am linken Ufer konstant um einige Fuß höher als die korrespondierenden rechts, eine Unterscheidung, welche in abnehmendem Maße bis Kuchl hinab gilt, von wo an abwärts sie annähernd dieselbe Höhe

[4] Vgl. Anmerkung 3, S. 185.

besitzen. Dies bestätigt die durch das Longitudinalgefälle nahe gelegte Annahme, daß der Bereich rezenter Krustenbewegungen bei Kuchl endet. Die ebenfalls mögliche Vermutung, daß die transversale Höhendiskrepanz durch das Auftreten von nicht paarweise aufscheinenden Terrassen bedingt ist, muß angesichts der Geländeverhältnisse fallen gelassen werden. Die Untersuchung ihrer Abfolge an beiden Talseiten zeigt eine auffällige Ähnlichkeit. In beiden Fällen weicht eine komplexe Alluvialebene dem kurzen Abfall der breiten niederen Terrasse, um dann entweder den weniger deutlichen Fragmenten der Zwischenterrasse oder direkt der hohen Front der sehr ausgedehnten Hauptterrasse Raum zu geben. Unpaarige Terrassen könnten kaum eine so gut spiegelbildlich paarige Anordnung der Formen zeigen.

Eine weitere mögliche Erklärung, daß nämlich die Vermehrung der Terrassen von Hallein bis Ofenau das Ergebnis von Klimaschwankungen ist, kann ebenso abgelehnt werden. Wenn dies der Fall gewesen wäre, müßte auf der ganzen Strecke dieselbe Anzahl von Terrassen vorhanden sein, da das Klima innerhalb einer so kurzen Entfernung nicht wesentlich verschieden gewesen sein kann. Eine ausgesprochene lokale Ursache, wie etwa tektonische Bewegungen, entspricht den Tatsachen besser. Die homogene Natur der Ablagerungen, welche im nächsten Kapitel beschrieben werden soll, fügt sich auch nicht in die Annahme von klimatischen Gründen für die Terrassenbildung.

Es ist möglich, das Longitudinalgefälle zu verwerten, um das Hebungsausmaß von Phase zu Phase zu bestimmen und das Quergefälle für die Abschätzung der Richtung, in welcher die Hebungsachse verlaufen sein muß. Diese beiden Aufgaben erfordern einen eingehenden Bezug auf das Höhenabstandsdiagramm, daher sei einiges über seine Konstruktion, Leistungsfähigkeit und Beschränkung gesagt.

Dieses Diagramm wurde in zwei neuen Publikationen behandelt [A. COLEMAN 1954, und A. A. MILLER 1955]. Es ist eine orthographische Projektion der Terrassenoberflächen auf eine vertikale Ebene, die annähernd der Flußlinie folgt. Ihr Prinzip, den Höhenabstand der Flächen auf ihrer Längenausdehnung aufzutragen, ist einfach. Von grundlegender Bedeutung ist die Wahl der Richtung der Linie, welche die Abszisse bildet. Sie sollte longitudinal zum Tal sein und den Hauptwindungen folgen. So wird in unserem Fall eine N—S-Linie von Werfen zum Paß Lueg von kurzen NE- und WNW-Abschnitten abgelöst, um der Hauptwindung beim Paß Lueg gerecht zu werden. Nördlich davon ergeben sich Komplikationen. Die Interpretation wurde jedoch erleichtert durch die Wahl einiger verschiedener Abszissenlinien zum Zwecke des Vergleiches und um die Daten auf jeder von ihnen nacheinander auftragen zu können. Eine verlief NNW mit dem Tal, eine andere genau N und eine dritte mehr NE. Keine war ganz befriedigend: Jede bot ihre eigenen Probleme. Aber es ist ein Vorteil des Höhenabstandsdiagramms, daß seine Probleme jene des Geländes genau widerspiegeln und schon ihre Diskussion allein ist gewinnbringend.

Die erste, dem Tal folgende Linie brachte sehr deutlich die Ungleichheit der Höhen zwischen den Terrassen auf den zwei gegenüberliegenden Ufern zum Ausdruck. Unterhalb Kuchl stimmen sie überein. Oberhalb vermischten sich die Alluvialebenen des Westens in sehr verwirrender Art mit der niederen Terrasse im E. In der Tat schienen die beiden miteinander in Korrelation zu stehen, obgleich viele Geländebeobachtungen dieser Möglichkeit widersprachen. Von dieser Linie wurde daher Abstand genommen, da sie irreführend ist.

Die genau N verlaufende Linie, die schließlich gewählt wurde, ist leicht schräg zur Tallinie. An zwei Stellen, südlich der Taugl und bei Golling, dreht sich die Tallinie ein wenig auf die N-Linie zu mit dem Ergebnis, daß das Längsgefälle an beiden Orten etwas flacher zu werden scheint und bei oberflächlicher Beurteilung an Gefällsteilen gedacht werden könnte. Aber man kann diese offensichtlichen Verflachungen ignorieren. Der Endeffekt der Verwendung der N—S-Linie ist, die höheren Terrassen links ein wenig flußaufwärts von ihren wahren Nachbarn wegzuversetzen und sie dadurch etwas herauszusondern. Die Alluvialebene am linken Ufer z. B. fällt dann nicht mehr so verwirrend mit der niederen Terrasse am rechten Ufer zusammen, doch ist sie auch nicht ganz auf das Niveau der Alluvialebene am rechten Ufer reduziert. Die transversale Höhenungleichheit kommt noch zum Ausdruck, aber in einer viel leichter lesbaren Form als vorher.

Die dritte Abszissenlinie, die sich etwas nach E wendet, konnte die gegenüberliegenden Terrassen auf eine bestimmte Entfernung hin auf ein gleiches Niveau reduzieren, aber nun war die longitudinale Verstellung zu einem Ausmaß vergrößert, bei dem sie ebenso viele Probleme schuf als löste. Die N—S-Linie ist für alle Zwecke die beste Linie, um die erreichten Schlußfolgerungen zu demonstrieren. Man kann aber nicht genug die Schwierigkeit betonen, die sich bei der Konstruktion eines solchen Diagramms für ein Gebiet ergibt, welches in den letzten 9000 Jahren in verschiedenen Ausmaßen bis zu 26 Fuß emporgestiegen ist, noch die Notwendigkeit, dieses sehr nützliche Hilfsmittel ganz zu verstehen.

Es wurde bereits erwähnt, daß Krustenbewegungen die zwei Talseiten nur dann in gleicher Weise beeinflussen würden, wenn ihre Achse das Tal unter rechtem Winkel quert. Umgekehrt würde der Effekt auf die zwei Seiten am stärksten dann verschieden sein, wenn die Achse auf einer Seite des Flusses und annähernd parallel dazu verliefe. Auf dieser Basis können die durch die drei Abszissenlinien gebotenen Daten dazu verwendet werden, den annähernden Verlauf der Paß Lueg-Achse anzuzeigen. Von den dreien zeigt die NNW-Abszissenlinie die größte Differenzierung und muß eher fast parallel mit der Achse sein. Im Gegensatz dazu verkleinert die NNE-Linie die Ungleichheit und legt die Vermutung nahe, daß die Achse ungefähr im rechten Winkel dazu liegt, d. h. in WNW—ESE-Richtung streicht. Eine Kontrolle ist möglich, indem man die WNW-Abszissenlinie, die für die N-Seite des Paß Lueg-Mäanders gebraucht wurde, untersucht. Da diese parallel zur geforderten Achsenrichtung verläuft, müßte die maximale Höhendifferenz hier erkennbar sein, was auch tatsächlich der Fall ist, denn der obere Teil der Alluvialebene unterscheidet sich um fast 10 Fuß auf den zwei Seiten des Flusses. Die WNW—ESE-Richtung wird deshalb als wahrscheinlich angenommen, obgleich sie nicht mit der NE—SW-Richtung übereinstimmt, wie sie E. SEEFELDNER angenommen hat. Die Möglichkeit, daß die Achse etwas schwankt, darf nicht außer acht gelassen werden und vielleicht könnte die Anwendung der gefügekundlichen Methode bei der Strukturanalyse weiteres Licht auf die Frage werfen.

Die garbenähnliche Divergenz der Terrassen flußaufwärts läßt vermuten, daß die Hebung während der ganzen Periode der Terrassenbildung immer weiter gegen Norden ausgriff. Die Terrassen selbst sind so vollkommen entwickelt, daß ihre Oberflächengestaltung nur während stabiler Bedingungen erreicht werden konnte, während die Abfälle das rasche Einschneiden bei Hebungsphasen anzeigen. Wahrscheinlich war die Abfolge der Ereignisse folgende:

1. Eine Ruheperiode: Bildung der Hauptterrasse.
2. Eine Hebungsperiode: Die Hebung betrug etwa 5—6 Fuß am Schluchtausgang und klang bei Golling aus. Der Abfall unter der oberen Fläche (obere Staffel) der Hauptterrasse wurde eingeschnitten.
3. Eine Ruheperiode: Die untere Fläche der Hauptterrasse (untere Staffel) wurde planiert, die glatt in die ursprüngliche, unveränderte Hauptterrasse unterhalb Golling übergeht.
4. Eine Hebung von ungefähr 8—9 Fuß am Schluchtausgang erstreckte sich flußabwärts bis Kuchl. Dadurch hoben sich beide Flächen der Hauptterrasse und es entstand auf der ganzen Strecke ein Stirnabfall.
5. Ein kurzer Stillstand gestattete die Einebnung einer kleinen Zwischenterrasse.
6. Eine Hebung von einigen Fuß am Schluchtausgang und ihr Abklingen etwas N von Golling war von weiterem Einschneiden eines Abfalles begleitet.
7. Ein noch kürzerer Stillstand gestattete die Bildung der kleinen niedrigeren Fläche der Zwischenterrasse.
8. Eine Gefällssteile wanderte flußaufwärts an Hallein vorbei und wurde an der Paß Lueg-Stufe festgehalten. Auf ihrem Weg schuf sie einen neuen Terrassenabfall von 10—20 Fuß. Die Abfälle, die während dieser Periode eingeschnitten wurden, sind manchmal weniger steil als jene, welche nur durch Hebung geschaffen wurden.
9. Ein ziemlich langer Stillstand brachte die Einebnung der niederen Terrasse.
10. Eine weitere Gefällssteilenwanderung mit oder ohne fortgesetzte Hebung verursachte erneuert das Einschneiden von Abfällen.

11.—12. Zwei Ruheperioden mit Alluvialebenenbildung waren durch eine Hebung von fast 10 Fuß am Schluchteingang voneinander getrennt, welche nach N rasch abnahm und etwas N von Kuchl ausklang.

Während dieser Periode von unterbrochener Hebung stieg das Land annähernd 26 Fuß, während der Flußspiegel als Ergebnis der Gefällssteilenwanderung um denselben Betrag sank.

d) Interpretation der Terrassenablagerungen

In bezug auf Material als auch auf Morphologie wurde ein Gegensatz zwischen den Terrassen oberhalb und unterhalb Ofenau beobachtet. Wiederum erfordern die zwei Abschnitte anfänglich getrennte Behandlung.

Unterhalb Ofenau sind Aufschlüsse in allen Terrassen vorhanden. Anstehender Kalk tritt in den Stirnabfällen der Alluvialebene, der niederen, Zwischen- und Hauptterrasse unmittelbar unterhalb der Salzachöfen und an der Front der Alluvialebene bei Tannhauser und im Lammerbett bei Pichler, beide innerhalb einer halben Meile vom Schluchtausgang entfernt, auf.

Aber abgesehen von diesen wenigen Felsbänken besitzen die Terrassenablagerungen innerhalb der untersuchten 13,5 km unterhalb Ofenau eine auffällige Einheitlichkeit. Sie bestehen aus grobem Schotter mit gerundeten Geröllen von gewöhnlich bis zu 25 cm Durchmesser. Lokale Komponenten herrschen vor. Kalke verschiedener Typen überwiegen, aber auch andere Gesteine kommen vor wie Lias- und Kreidemergel, Werfener Schiefer und gelegentlich kristalline, vor allem grüne Gesteine aus den Hohen Tauern. Diese Schotter nehmen die Gesamthöhe jedes Terrassenabfalles ein und setzen sich direkt von einer Terrasse zur andern fort. Sowohl dieser Zusammenschluß zu einer Masse

als auch ihre einheitliche Zusammensetzung weisen eher auf eine einheitliche mächtige Aufschüttung als auf getrennte Ablagerungen jeder Terrassenphase hin.

Die Grundmasse der Schotter kann sandig oder tonig sein. Die feinere Struktur ist gewöhnlich nahe dem Hangenden und mag von der überall vorhandenen darüberlagernden Bedeckung stammen. Letztere besteht aus einem feinen, im Wasser abgelagerten Lehm, der einige wenige kleine Gerölle enthält. Die Bedeckung ruht auf einer unregelmäßigen, nur seicht zerfurchten Schotteroberfläche. Ihre Zusammensetzung und unregelmäßig gestaltete Sohle zeigt, daß ihr Alter und Ursprung von der Schottermasse verschieden ist. Der Sandgehalt der Deckschicht scheint nach unten von Terrasse zu Terrasse zu wachsen und erreicht den Höhepunkt im reinen, feinen Sand des gegenwärtigen Flußufers [5]. Dieser Wechsel, der im Gegensatz zu der Einheitlichkeit der Schotter steht, läßt vermuten, daß die Bedeckung bei jedem Terrassenstadium gesondert entstand.

Diese Tatsachen werden auf folgende Weise erklärt: Alle Schotter bilden einen Teil eines Deltas in dem postglazialen See, welcher zwischen dem zurückweichenden Gletscher und der Würmmoräne abgedämmt wurde, die unterhalb Salzburgs in der Nähe von Burghausen gelegen ist. Die Schotter nehmen daher die ganze Tiefe der Terrassen ein, die in sie eingeschnitten sind und reichen wahrscheinlich auch weit unter das heutige Flußniveau, wo sie auf einem unregelmäßig erodierten Felsboden aufruhen. Eine solche Unregelmäßigkeit ist zweifellos für das Aufragen von Anstehendem bis zur Alluvialebene bei Tannhauser verantwortlich. Die anderen Felsbänke können als das Ergebnis kleiner Rückerosion jenseits der S-Grenze des ehemaligen Sees erklärt werden. Ihre Lage fügt sich völlig logisch in die lakustre Interpretation.

Die oben beschriebenen postglazialen Seesedimente haben ihr in interglazialen Seen gebildetes Gegenstück in derselben Lage, aber in höherem Niveau. Diese Ablagerungen sind nun als verfestigte Konglomerate erhalten, z. B. das Konglomerat von St. Margarethen, das auf S. 185 erwähnt ist. Das frische, unverfestigte Aussehen der terrassierten Schotter ist ein weiterer Beweis für ihr rezentes Alter. In diese wurden die Terrassenflächen eingeschnitten.

Die angenommene Präexistenz der Schotter macht es auch leichter, die ungeheure Weite der Einebnungen glaubhaft zu machen, die während der morphologisch kurzen Zeitspanne von 9000 Jahren seit dem lokalen Rückzug des Eises erfolgte. Die Breite dieses Talabschnittes war durch die starke glaziale Erodierung eines Beckens bestimmt, welches später von einem See eingenommen war. Der Fluß konnte in jeder Ruhephase die lockeren Schotter leicht einebnen und zur wichtigen Hauptterrassenperiode fegte er quer über sie hinweg, bis er durch die feste Felswand des glazial bearbeiteten Tales aufgehalten wurde. Er hatte aber nicht Kraft genug, widerständigere Hindernisse einzuebnen und so blieben diese merkwürdigen „Steine des Anstoßes“ als Inseln in der Schotterebene zurück. Das kleine Areal von in Fels geschnittenen Terrassen am Ausgang der Salzachöfen steht in auffälligem Gegensatz zu den breiten, in losen Schotter geschnittenen Flächen, die während derselben Zeitspanne entstanden.

Diese Einebnungsphasen müssen die Ablagerung einer Abfolge oberflächlicher feiner Schichten auf der zerfurchten Schotteroberfläche der jeweiligen Terrassen eingeschlossen haben. Die Terrassen sind aber hauptsächlich „ge-

[5] Die Salzach lagert haupsächlich Sand ab, während die Nebenflüsse mehr oder weniger grobe Schotter herunterbringen.

schnittene" (Erosions-)Formen: Die Aufschüttung auf der Erosionsfläche überschreitet nicht 1 oder 2 Fuß.

Diese Schlußfolgerung hat Bedeutung für das Hauptthema der Untersuchung. In einem Gebiet, wo eine intermittierende Hebung an der flußaufwärtigen Seite erfolgte, ist es schwierig, sich Terrassen vorzustellen, auf denen sich bedeutendere Ablagerungen ansammeln konnten. Man muß flächenhaftes Tieferlegen bei Lateralerosion während der Ruheperioden annehmen. Die hier untersuchten Ablagerungen bestätigen, daß dies tatsächlich der Fall war: Auf die Zerschneidung der Flächen folgte Seitenerosion und flächenhafte Tieferlegung, die Akkumulation blieb auf eine dünne Decke beschränkt. Dies spricht für die Behauptung, daß im Gebiet des Paß Lueg eine Hebung erfolgte. Das ist ein von den im letzten Kapitel vorgebrachten morphologischen Argumenten unabhängiger Beweis, der aber zu demselben Schluß führt.

Eine zweite Stütze, die durch die Schotterablagerungen geboten wird, kommt von ihrer Einheitlichkeit. Wären die Terrassen in ein differenziertes Material geschnitten worden, könnte wenigstens die eine oder andere ihrer durch die Höhe bedingten Variation lithologisch bestimmt sein. Aber unter den gegebenen Bedingungen kommt es nicht in Frage, daß der lithologische Faktor die Vorherrschaft des tektonischen Einflusses beeinträchtigen könnte.

e) Die Terrassen zwischen Ofenau und Werfen

Diese Terrassen wurden bereits sehr eingehend von H. Wehrli [1927] und E. Seefeldner [1951] beschrieben. Es möge daher hier genügen zu sagen, daß sie ebenso scharf ausgeprägt sind wie jene des breiten Talabschnittes und in ähnlicher Weise vom Fluß weg geneigt sind. Aber in einer anderen Hinsicht sind sie ganz verschieden. Da der Fluß innerhalb der widerständigen Felswände der Schlucht eng eingeschlossen ist, sind sie viel weniger ausgedehnt. Der Fluß tendierte dahin, immer wieder denselben Lauf einzuschlagen, indem er dabei die oberen Terrassen zerstörte, um für tiefere an derselben Stelle Platz zu machen. Die Terrassen sind daher nur im Bereich der konvexen Flußwindungen erhalten und werden praktisch nie an beiden Talseiten zugleich angetroffen. Es ist auch zu bedauern, daß einige Terrassenreste auf dem Höhenabstandsdiagramm entfallen mußten, weil sich während der Untersuchung ungünstige barometrische Bedingungen ergaben und die Zeit fehlte, die Messungen zu wiederholen. Trotzdem ist eine Interpretation möglich. Im oberen und breiteren Teil des Schluchtabschnittes bei Werfen haben die Alluvialebene und zwei Terrassen die Gefällsverhältnisse einer einfach absteigenden Serie. Flußabwärts zeigt der Gradient jener Ebene zwei Unterbrechungen, und zwar unterhalb Bluntau und der Haltestelle Paß Lueg. Bei dieser Haltestelle sind drei Terrassen über der Alluvialebene vorhanden, wovon die zusätzliche, unterhalb der anderen zwei befindliche, in einer Weise eingeschaltet ist, wie sie gewöhnlich mit einer Gefällssteile verknüpft ist. Alle die einzelnen Fragmente in diesem letzteren Gebiet zeigen ein auffälliges longitudinales Gegengefälle und scheinen von der Hebungsachse weg schräggestellt worden zu sein. Das ist genau der Bereich, wo eine solche Schrägstellung logischerweise auftreten würde und sie wird sonst nirgends beobachtet. Punktierte Linien wurden angewendet, um eine mögliche Anordnung in Phasen vorzuschlagen, die mit der flußabwärts auftretenden Hebung harmonieren.

Auch in bezug auf das Material stehen die Terrassen des Schluchtabschnittes im Gegensatz zu jenen bereits analysierten flußabwärts, doch ist der Unterschied

ganz verständlich. Da im letzteren Gebiet die Ablagerung des feinen Sedimentes gleichzeitig mit der Bildung der Terrassenoberflächen erfolgte, sind wir nicht überrascht, in der Schlucht, wo keine Seeablagerungen vorhanden sind, festzustellen, daß die Terrassen vorherrschend aus solchem feinen Material bestehen. Es ist in der Tat ein feiner Sand, etwas grobkörniger als die Bedeckung des Ofenau—Hallein-Abschnittes, wie es dem größeren Gefälle dieses südlicheren Bereiches entspricht. Das Sediment zeigt auch eine Tendenz, vom Hangenden gegen das Liegende der Terrassenfolge ein wenig gröber zu werden.

Die Schichtung ist überall, wo sie zu sehen ist, horizontal mit etwas Kreuzschichtung und gelegentlichen Schottereinschaltungen. Auch mächtigere Schotter wurden stellenweise beobachtet, besonders am S-Ende der Schlucht, ferner N der Lauterbach- und Blühnbachmündung. Eine Ausnahme in dieser Verteilung gibt es an einem neuen Straßenaufschluß N der Haltestelle Paß Lueg, wo mindestens 4 Fuß feineren Schotters etwa 8 Fuß von normalem feinem Sand unterlagern.

Diese Variationen im Kaliber lassen sich unschwer erklären. Die Salzach transportierte wie im breiten Talabschnitt auch in der Schlucht vorwiegend feines, während die steileren Nebenflüsse gröberes Material zu Tal bringen. In der Mitte und im N der Schlucht hat das kalkige Gestein der Talhänge die Entwicklung von Nebenflüssen verhindert. Das einzige grobe Material ist hier der Schutt, der in völlig unsortiertem Zustand in der viel größeren Masse von akkumuliertem Sand begraben ist. Die Beschränkung der Schotter auf den S-Teil der Schlucht und besonders auf die flußabwärts von den Seitentalmündungen gelegenen Stellen ist so erklärt.

Das Auftreten eines basalen feinen Schotters in der Nähe der Salzachöfen paßt nicht recht in dieses Konzept. Aber es verbindet sich mit einer anderen fundamentaleren Tatsache. Diese Terrassen bestehen von oben bis unten, mit Ausnahme des erwähnten basalen Schotters, aus Sand, ohne eine unterscheidbare Bedeckung, ähnlich der unterhalb Ofenau. Aber das Kaliber der einzelnen Terrassenablagerungen ist verschieden. Man muß auf Aufschüttungs- und nicht Erosionsformen, auf verschieden- und nicht gleichaltrige Sedimente schließen. Das ist das genaue Gegenteil der Verhältnisse unterhalb Ofenau, eine natürliche Folge der Tatsache, daß hier die Hebungsachse flußabwärts statt flußaufwärts liegt. Oberhalb des Achsenbereiches der Hebung wird das Gefälle verringert, unterhalb versteilt. Oberhalb wird zuerst Schotter und später Sand abgelagert, wobei die Aufschüttungsmächtigkeit proportional zum Hebungsausmaß ist. Es ist sehr wahrscheinlich, daß es noch mehr basale Schotter gibt als jene, die bei der Haltestelle Paß Lueg sichtbar sind, aber es liegt in der Natur der Sache, daß sie, weil zuerst abgelagert, dazu bestimmt sind, verborgen zu bleiben, wenn nicht tiefe Einschnitte wie jener bis zu ihrem Niveau vordringen.

So befinden sich die Ablagerungen des Schluchtabschnittes trotz ihres Gegensatzes zu jenen des ebenen Talstückes im Einklang mit der Vorstellung einer Hebung quer über die Salzachöfen.

f) Denudationschronologie

Es ist eine etwas komplizierte Aufgabe, aus den zwei bisher getrennt behandelten Terrassenkomplexen eine vollständige Denudationschronologie aufzustellen, da es scheint, daß die Terrassenflächen eines Abschnittes nicht mit ähnlichen Formen des anderen Abschnittes verbunden werden können. Betrachten

wir eine einzelne Phase des intermittierenden Hebungszyklus. Zuerst veranlaßt eine Hebung entlang der Achse den Fluß zur Ausgleichung des Gefälles und zur Bildung einer Terrassenfläche flußaufwärts. Gleichzeitig verursacht sie flußabwärts das Einschneiden eines Terrassenabfalles. Die flußaufwärts gelegene Terrassenfläche ist das zeitliche Äquivalent des flußabwärtigen Terrassenabfalles. Umgekehrt, wenn tektonische Stabilität nachfolgt, beginnt der Fluß eine seitliche Einebnung unterhalb der Achse, während an der Achse selbst die Tiefenerosion nun eine Senkung der Erosionsbasis verursacht, welche flußaufwärts sich als Terrassen zerschneidende Tätigkeit widerspiegelt. Wieder erweisen sich Terrassen- und Terrassenabfallbildung in ihren entsprechenden Abschnitten als gleichzeitig.

Im flußabwärtigen Gebiet kann eine Verspätung zwischen der tektonischen Ursache und dem Erosionseffekt auftreten. Wenn Stabilität folgt, können immer noch einige Fuß Land für die Tiefenerosion zur Verfügung stehen, bevor der Fluß ein für seitliche Einebnung geeignetes Niveau erreicht. In diesem Fall würde die letzte Phase der Terrassenzerschneidung dem Beginn einer neuen Abfallbildungsepoche flußaufwärts entsprechen. Theoretisch hätte sich eine ähnliche Verspätung auch flußaufwärts ereignen können, doch war dies nicht der Fall: Dies ist durch das Fehlen von Seeablagerungen bewiesen, welche sich in einem solchen Falle gebildet hätten. Die Hebung muß immer langsam genug gewesen sein, so daß der Fluß mit seiner Gefällsangleichung Schritt halten konnte. In diesem Licht dürfte es wahrscheinlich sein, daß die Tiefenerosion flußabwärts ebenfalls Schritt halten konnte und Verf. ist geneigt, eine ziemlich einfache zeitliche Entsprechung von Terrassenfläche und -abfall und umgekehrt anzunehmen.

Ein Hindernis exakter Korrelation ist die Tatsache, daß eine der ersten rasch nachfolgende zweite Hebung deutliche Spuren in Gestalt von zwei Terrassen im flußabwärtigen Gebiet zurückläßt, die aber oberhalb der Achse sich zu einer einzigen Akkumulationsfläche vereinigen können.

Unter Berücksichtigung dieser Grundsätze soll eine Korrelation versucht werden. Diese wurde durch Untersuchungen von der Alluvialebene an nach aufwärts abgeleitet, und zwar unter der Annahme (die durch Geländebeobachtungen der Flußufer bestätigt wurde), daß die gegenwärtige Periode stabil ist. Im Interesse einer klaren Darstellung soll die Denudationschronologie von oben nach unten fortschreitend geboten und dabei mit den ältesten Formen begonnen werden. Sie ist versuchsweise und nur annähernd.

Golling-Gebiet		Haltestelle Paß Lueg
1. Einschneiden zur Hauptterrasse	—	Aufbau der oberen Terrasse.
2. Einebnung der Hauptterrasse	—	Zerschneidung der oberen Terrasse.
3. Zerschneidung der Hauptterrasse	—	Aufbau der mittleren Terrasse.
4. Einebnung der Zwischenterrasse	—	Zerschneidung der mittleren Terrasse.
5. Zerschneidung der Zwischenterrasse	—	Aufbau der niederen Terrasse.
6. Einebnung der niederen Terrasse	—	Zerschneidung der niederen Terrasse.
7. Zerschneidung der niederen Terrasse	—	Aufbau der Alluvialebene.
8. Einebnung der Alluvialebene	—	Einschneiden unter die Alluvialebene.

Anscheinend ist die Geschwindigkeit der Hebung nur eine Teilursache des Verschwindens der Terrassen in den Salzachöfen. Die Ruhepausen waren mit

Ausnahme vielleicht der unmittelbaren Nachbarschaft der tektonischen Achse lang genug, um die Terrassenbildung zu gestatten, hätte nicht das Gestein selbst einer raschen Einebnung widerstanden. Die Plötzlichkeit, mit der die Terrassen an der Grenze des Dachsteinkalkes bei Ofenau enden, ist ein guter Beweis für das Ausmaß, bis zu welchem der lithologische Faktor das Auftreten oder Fehlen von Terrassen bestimmt.

Dieselbe Lithologie hat auch Bedeutung für den Antezedenztypus, den die Salzachschlucht darbietet. Die Antezedenz wird als ein empfindliches Gleichgewicht zwischen dem Ausmaß der Hebung und jenem der Flußerosion aufgefaßt, wobei die erstere nie die letztere übertrifft. In weichem Gestein ist die fluviatile Tiefenerosion rascher, weshalb auch die Hebung schneller fortschreiten kann, ohne das Gleichgewicht der Ausmaße zu stören, das nötig ist, um normale Antezedenz zu erhalten. In widerständigem Gestein aber, erfordert die Erhaltung dieses Gleichgewichtes ein langsameres Hebungstempo. Zahlen waren vorläufig nicht verfügbar, um zu unterscheiden, was in diesem Zusammenhang mit langsam und schnell gemeint ist. Es wird nun angenommen, daß 30—40 m (100—120 Fuß) in 9000 Jahren im widerständigen Dachsteinkalk nahe der Hebungsachse als langsam bezeichnet werden kann. Das ist vielleicht eine überraschende Schlußfolgerung, aber eine, welche dem ganzen Mechanismus der Antezedenz bemerkenswerte zusätzliche Wahrscheinlichkeit verleiht. Sie zeigt an, daß Bewegungsimpulse, welche dieses Ausmaß weit überschreiten, in Gebieten weicheren Gesteins auftreten können und immer noch eine kompensierende Tiefenerosion gestatten, ohne irgend eine Ablenkung des Flußlaufes zu veranlassen.

5. *Zusätzliche Beweisdaten*

E. SEEFELDNERS Argument sowie die Befunde, die aus der Morphologie und der Zusammensetzung der Terrassen gewonnen wurden, sind drei konvergente Beweise für die Realität der jungen Hebung in der Nachbarschaft der Salzachöfen. Aber da H. BAULIG versichert: „Wahrheit in der Geomorphologie ist tatsächlich selten mehr als wachsende Wahrscheinlichkeit“, ist es immer erwünscht, nach mehr Argumenten zu suchen, welche die jeweilige These unterstützen und keine außeracht zu lassen, welche die offensichtliche Wahrscheinlichkeit widerlegen könnten. Wir wollen hier zwei solche zusätzliche Untersuchungsrichtungen heranziehen.

a) Der lokale Befund

Es würde ein stützendes Argument sein, wenn man zeigen könnte, daß irgendeine in diesem Gebiet wirksame tektonische Bewegung logischerweise bei der angenommenen Achse lokalisiert wäre, anstatt etwa ein halbes Dutzend Meilen nördlich oder südlich davon. Eine solche Demonstration ist tatsächlich möglich. Das Studium der geologischen Karte läßt nämlich vermuten, daß eine weithin beständig, differenziert verbogene Achse entlang der Front des Hagen- und Tennengebirges von ESE nach WNW verläuft und die Salzachöfen quert. Die Tirolische Decke liegt im S dieser Linie ziemlich flach, taucht aber dann hier dramatisch gegen N und NE, wie an den entlang der Schlucht aufgeschlossenen

Schichtbänken zu sehen ist. Das obertriasische Dachsteinkalkplateau reicht bei der Haltestelle Paß Lueg weit über 2000 m hinauf, während es kaum 8 km weiter nördlich in einem Niveau von nur 470 m unter der Alluvialebene verschwindet und von hier an durch sehr mächtige, weniger widerständige jurassische und Kreideschichten bedeckt ist. Wenn nicht diese große Monokline an dieser Stelle dazwischengekommen wäre, würde sich der Dachsteinkalk in der Höhe des Plateaus nach N fortsetzen, anstatt tief begraben zu sein. Das Ausstreichen des Dachsteinkalkes ist so durch ein Hauptstrukturgefälle nach NE bestimmt oder durch eine Heraushebung gegen SE, welche vielleicht der wahrscheinlichere Mechanismus in einer jungen Gebirgskette ist. Es ist verständlich, daß jede Wiederbelebung von Bewegungen entlang derselben Achse lokalisiert sein würde.

Es ist daher kein Zufall, daß die junge Hebung mit der Grenze der widerständigen Gesteine zusammenfällt, da die letzteren ihre Lage zu einem guten Teil einer Serie früherer Hebungen entlang derselben Achse verdanken.

b) Vergleich mit anderen Gebieten

Die vergleichende Betrachtung ist morphologisch sehr wichtig und soll hier mit Vorteil angewendet werden. Die Bedeutung einer postglazialen Terrassenabfolge mit einem Abstand bis zu 17 m über dem Fluß erscheint sofort in einer klaren Perspektive, wenn sie mit den in England während derselben Periode entwickelten Landformen verglichen wird. Hier repräsentieren die „Buried Channel"-Phasen die niedrigen Meeresspiegelstände der letzten Eiszeit und die postglaziale Geschichte ist gekennzeichnet durch die nachfolgende flandrische Transgression und die Verschlammungen der daraus resultierenden Buchten und Ästuare. Die englische Alluvialebene ist die einzige verfügbare Landform, die zeitlich mit der ganzen Serie der hier diskutierten Salzachterrassen verglichen werden kann. In Westschottland, wo hingegen eine postglaziale Hebung des Landes erfolgte [W. B. Wright 1937], sind andere Verhältnisse und bestehen Terrassen. In ähnlicher Weise hat in Norwegen die isostatische Hebung nach der Inlandeisbedeckung postglaziale Terrassen entstehen lassen, die in vom Betrag der lokalen Hebung abhängigen Höhenlagen auftreten [J. Rekstad 1922]. Um nur ein Beispiel anzuführen: Bei Dale (61° N 5,5° E) zieht die Terrassenflucht bis 50 m über das Fjordniveau hin [A. Coleman und S. A. Beaver 1955]. Sowohl die Terrassen in Schottland als auch in Norwegen sind durch scharfe Abfälle begrenzt und ähneln sehr denen an der Salzach. Bei beiden nördlichen Beispielen wird junge Hebung als Ursache angenommen. In Gebieten, wo keine postglaziale Hebung wirkte, wie in Südengland, sind die Terrassen alle pleistozän oder älter und in ihren Formen verwischt. Der transkontinentale Vergleich scheint also die Annahme der im Salzachtal erfolgten jungen Hebung zu stützen.

6. Schlußfolgerungen

Vier zusätzliche Untersuchungsrichtungen haben sich nun in Übereinstimmung mit E. Seefeldners Beweisführung vereinigt, um zu zeigen, daß postglaziale Krustenbewegungen einen Abschnitt des Salzachtales betroffen haben. Es wird bemerkt, daß die Position der Bewegungen nun erwiesen ist. Durch die

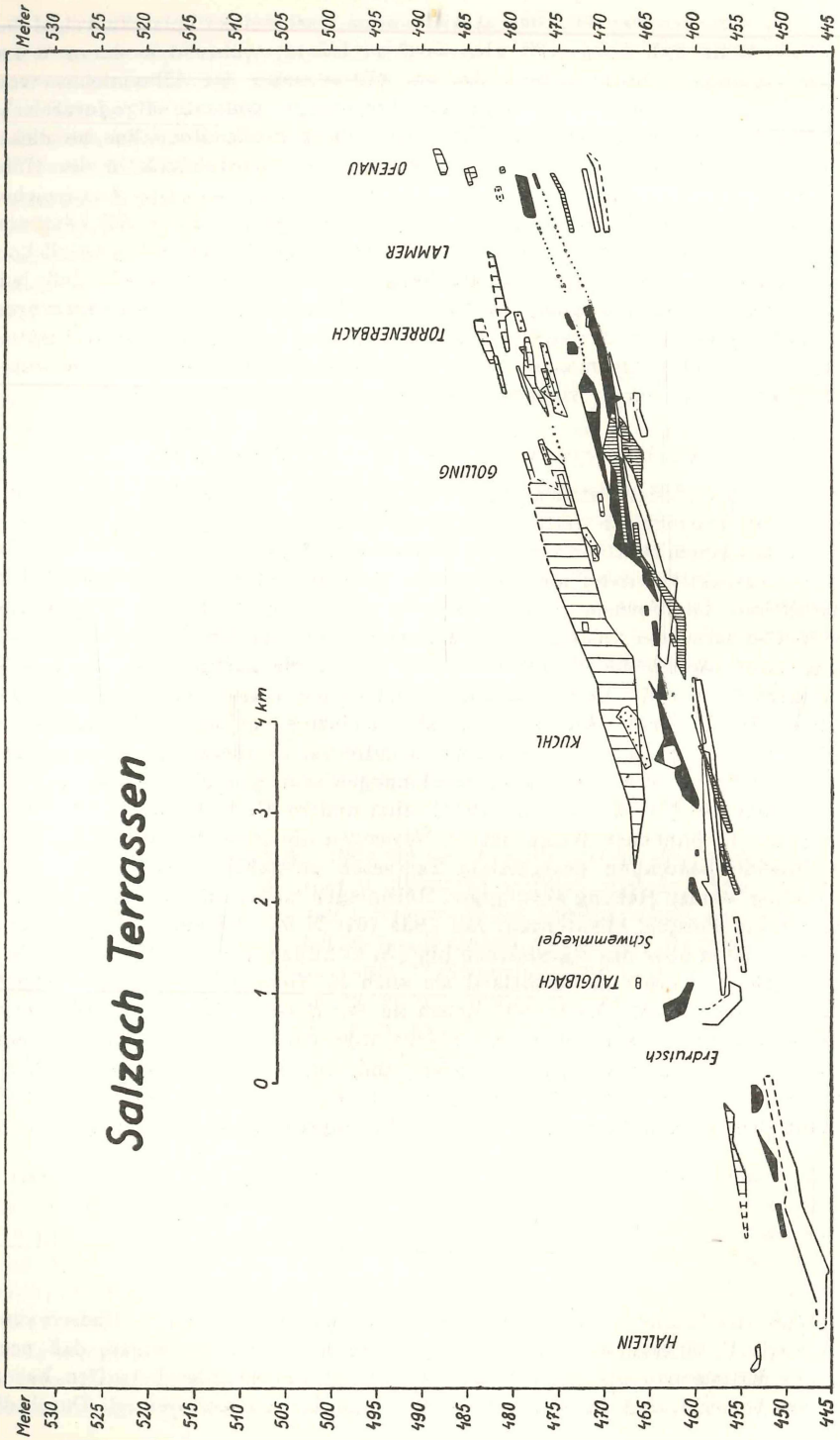

Abb. 1. Höhenabstandsdiagramm der Salzachterrassen (Hallein-Ofenau).

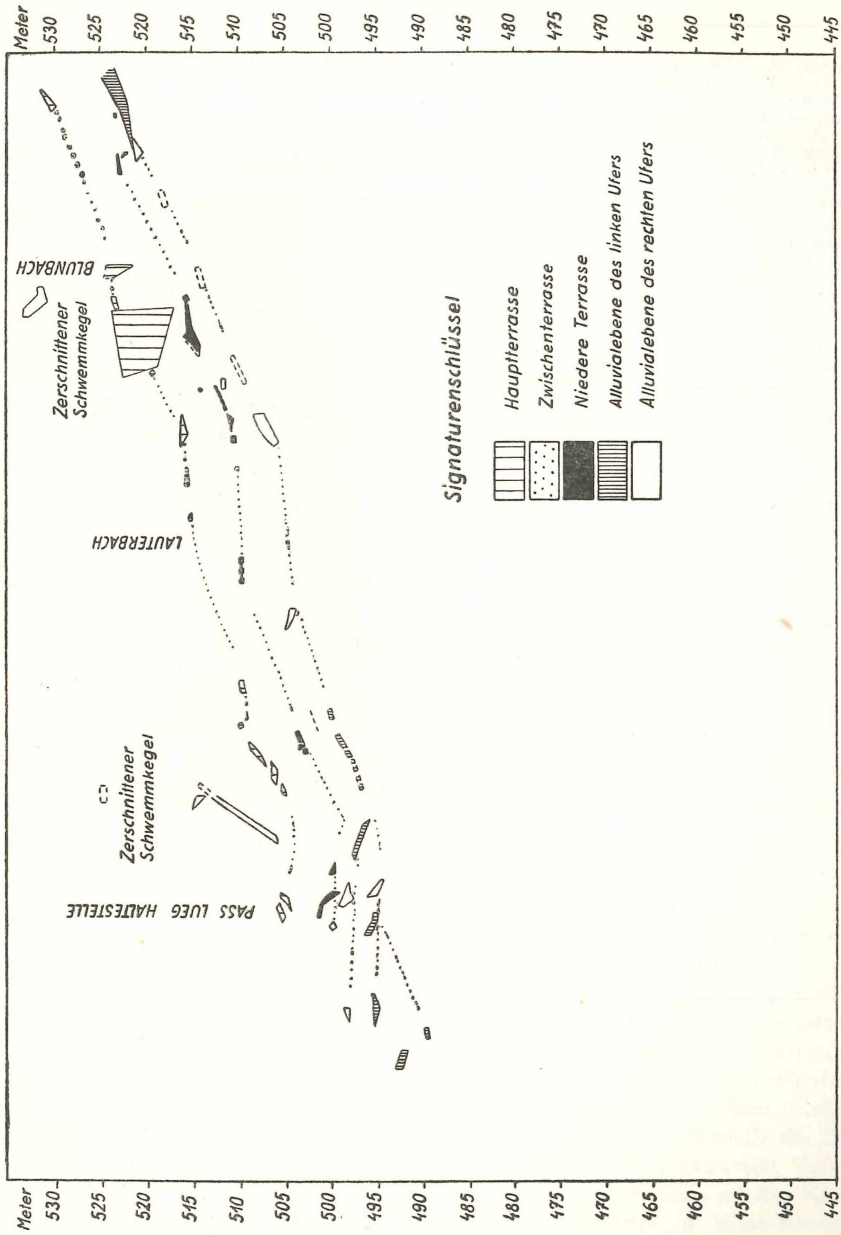

Abb. 2. Höhenabstandsdiagramm der Salzachterrassen (Ofenau-Werfen).

vorliegenden Ausführungen ist gezeigt worden, welche besondere Eigenheiten diese Bewegungen in der Morphologie der Flußterrassen zurückgelassen haben. In der Zukunft würde sich dieser Bereich des Salzachtales als sehr geeignetes Gebiet für weitere Untersuchung der Beziehung zwischen Krustenbewegung und Erosion erweisen.

Literaturhinweise

BAULIG H., 1955: The Changing Sea Level. Trans. Inst. Brit. Geogr. Nr. 3, p. 44.
COLEMAN A., 1954: The Use of the Height Range Diagramm in Morphological Analysis. Vol. 1, Nr. 1, p. 19—26.
COLEMAN A. & BEAVER S. H., 1955: Dale-i-Sunnfjord. A Study on Changing Geographical Values. Geogr. Journal, Vol. 121, p. 51 bis 63. (Weitere Angaben siehe COLEMAN A. in: The Press, Proc. of the Geologist's Association.)
CORNELIUS H. P., 1936: Golling-Bischofshofen-Bruck. Führer für die Quartärexkursionen in Österreich. Teil 2, p. 7—10.
GÖTZINGER G., 1936: Das Salzachtal von Salzburg bis Golling. Führer für die Quartärexkursionen in Österreich. Teil 2, p. 1—6.
— 1936: Salzburg und der Gaisberg. Führer für die Quartärexkursionen in Österreich. Teil 1, p. 135—148.
— 1936: Das österreichische Salzachgletschergebiet, der westliche Innkreis. Führer für die Quartärexkursionen in Österreich. p. 120 bis 134.
MILLER A. A., 1955: Notes on the Use of the Height Range Diagram. Geographical Studies Vol. 2, Nr. 2, p. 111—115.
PENCK A. u. BRÜCKNER E., 1909: Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig.
PIPPAN TH., 1949: Das Problem der Taxenbacher Enge. Vhdlg. Geol. B. A. Wien, H. 10—12, p. 193—236.
REKSTAD J., 1922: Norges Herning efter Istiden. Norges geologiske Under Sokelser. 96 Kristiana.
SEEFELDNER E., 1951: Die Entstehung der Salzachöfen. Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde. Bd. 91, p. 153 bis 169.
— 1954: Entstehung und Alter der Salzburger Ebene. Mitt. d. Ges. f. Salzburger Ldkde. Bd. 94, pp. 202—228.
SPARKS B. W., 1953: Effects of Weather on the Determination of Heights by Aneroid Barometer in Great Britain. Geogr. Journ. CXIX p. 73—80.
STUMMER E., 1936: Die interglazialen Seen von Salzburg. Vhdlg. Geol. B. A. Wien.
WEHRLI H., 1927: Glazialgeologische Beobachtungen im Salzachtal zwischen Bruck-Fusch und Paß Lueg. Die Eiszeit, 4. Bd.
WRIGHT W. B., 1937: The Quaternary Ice Age. London, p. 421—3.

Manuskript eingelangt im November 1955

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1956

Band/Volume: 98

Autor(en)/Author(s): Coleman Alice

Artikel/Article: Die Terrassen und die Antezedenz eines Abschnittes des Salzachflusses 181-198