

Über die Form andiner Krustenbewegungen und ihre Beziehungen zur Sedimentation.

Von Professor **Walther Penck** (Leipzig, † 29. September 1923).

(Mit 1 Textfigur.)

Der Gegenstand, dem die nachfolgenden Erörterungen gelten, fügt sich durch die Art der Problemstellung und ihre Behandlung einer Entwicklungsrichtung an, die sich in der allgemeinen Geologie seit noch nicht sehr langer Zeit bemerkbar macht: die Entwicklung zur physikalischen Geologie in einem strengerem Sinn. Diesen Weg ist zuerst wohl der Vulkanismus gegangen, der unter dem Einfluß der Errungenschaften der physikalischen Chemie aus einer Art Vulkankunde zur Lehre von den Bewegungen des Magmas und ihren mannigfachen Abhängigkeiten von der Natur des Stoffes und des Milieus zwischen Ursprungsort und Ort seiner geologischen Gestaltung usw. geworden ist. Ähnlich beginnt nun auch zu den Fragen der Lagerung und Lagerungsstörungen, einer Tektonik im engeren Sinn, mehr und mehr als Gegenstand systematischer Untersuchung der große Fragenkomplex der Krustenbewegungen und ihrer beiden Wirkungen zu treten: der Struktur und Höhengestaltung der Erdkruste. Diese Fragen sind an sich nicht neu. Was sie in ein neues Licht treten läßt, ist die Heraushebung und schärfere Erfassung der Bewegungsvorgänge. Diese sind Massenverlagerungen, hier solche innerhalb der Erdkruste, innerhalb des Erdkörpers. Von ihnen stehen in

Abhängigkeit Massenverlagerungen entlang der Erdoberfläche. Diese gehören zum dritten, uns näher interessierenden Fragenkreis der physikalischen Geologie.

Besser als in den anderen Kreisen lassen sich hier schon einige Zusammenhänge zwischen den Erscheinungen und den sie erzeugenden Vorgängen überblicken, da nicht nur jene, sondern in größerem Umfang auch diese unmittelbarer Beobachtung zugänglich sind. Insbesondere ist heute mit voller Bestimmtheit erkannt, daß die exogenen Massenverlagerungen ohne Ausnahme Gravitationsströme sind, Bewegungsvorgänge also, für die gleichviel in welchem Medium sie sich abspielen, die treibende Kraft die Schwerkraft ist. Damit sind Richtung und Ablauf jener Massenverlagerungen bestimmt. Sie folgen einem Gefälle, und zwar ist gerade für die geologisch wichtigsten Vorgänge dieser Art, für diejenigen nämlich, die kraft der Dichte der bewegten Materie und Medien an der Oberfläche der Erdkruste haften, das Oberflächengefälle des Landes bestimmend.

In dieser Abhängigkeit wurzelt die außerordentlich enge Verbindung des ganzen Fragenkreises mit dem Problem der Krustenbewegungen. Diese sind es, welche auf dem Planeten den Wechsel von Hoch und Tief, auf dem Lande ein Oberflächengefälle erzeugen, und damit die exogenen Massenverlagerungen überhaupt erst ermöglichen. Von selbst versteht sich, daß daher auch deren Wirkungen in Abhängigkeit von den Krustenbewegungen stehen¹⁾.

In zwei Gruppen ordnen sich jene Wirkungen ein und in gesonderten Räumen treten sie auf: die Abtragungsformen im Nährgebiet der Gravitationsströme und die Sedimentation an deren unterem Ende. Die Erforschung der Abtragungsformen ist in den letzten Jahrzehnten zum überwiegenden Teil von Geographen gefördert worden. Eine große Summe von Beobachtungen und gesicherten Erkenntnissen wurde auf diesem Gebiet gewonnen. Und darauf liegt das Schwergewicht, nicht auf den verschiedenen Richtungen morphologischer Betrachtungsweise, die von den Vertretern der einzelnen Schulen gepflegt werden. Aber die Vorgänge der Sedimentation mit ihren mannigfachen Abhängigkeiten fanden in der geographisch-morphologischen Fragestellung kaum einen Platz. Sie sind dagegen seit langem Arbeitsfeld des Geologen, und ich brauche kaum besonders auf die wichtigen hierbei erzielten Ergebnisse und ihre Tragweite für tektonische Fragen und für die Frage der Krustenbewegungen hinzuweisen. Erinnert sei nur an die eminente Bedeutung, welche die Untersuchung der Fazies etwa für die Auflösung verwickelter Lagerungsverhältnisse wie in den Alpen gewonnen hat; welch weite Ausblicke auf manche Wesenszüge der Krustenbewegungen die immer näher erkannten Beziehungen der Fazies zur Art des Sedimentationsraumes eröffnen, wie sie beispielsweise in der Gegenüberstellung der zyklisch gebauten epikontinentalen Transgressionssedimente und der Geosynklinalbildungen enthalten sind.

Beschaffenheit des Absatzgebietes, auch hinsichtlich seiner endogenen Veranlagung, worunter alle Verhältnisse krustaler Bewegungen zu verstehen sind, denen ein Sedimentationsraum unterworfen ist, ferner Art der Stoffzufuhr und Stoffart bestimmen Lagerung und Fazies der entstehenden Schichten und sind die Umstände, welche den Untersuchungen die Richtung wiesen.

Hierzu kommt jedoch noch ein weiterer, sehr wichtiger Punkt: die Abhängigkeit der Sedimentation von der Beschaffenheit des Einzugs- oder Nährgebietes. Dieses bestimmt nicht nur durch seine geologische Zusammensetzung, sondern ebenso durch seine Höhengestaltung, aber auch durch seinen Formenschatz und insbesondere

¹⁾ Näheres hierüber in WALTHER PENCK, Wesen und Grundlagen der morphologischen Analyse. Ber. d. math.-phys. Kl. d. Sächs. Akad. d. Wiss. 1920, LXXII, S. 65.

durch dessen Anordnung die Stoffart und Art der Stoffzufuhr nach dem Ablagerungsgebiet. Eine ganze Anzahl wichtiger noch ungelöster Probleme von allgemeiner Bedeutung tritt hier entgegen, auf einem Gebiet, das gleichsam eine Verbindungsstrecke zwischen den Problemen der Sedimentation und der Morphologie üblicher Fassung darstellt. Namentlich auf folgenden Zusammenhang ist hier hinzuweisen: Abtragungsformen und Höhengestaltung des Einzugsgebietes sind selbst das Werk der Abtragung und der Krustenbewegungen. Somit besteht neben den zahlreichen anderen Abhängigkeiten auch eine solche der Sedimentation von denjenigen Krustenbewegungen, denen der Abtragungsbezirk unterworfen ist, und zwar kommen als bestimmende Faktoren die Art, Stärke und der Ablauf jener Bewegungen in Frage. Die Beziehungen sind mittelbarer und recht verwickelter Natur und sie finden ihren Niederschlag in der Fazies der Sedimente und deren Anordnung. Darauf bezügliche Untersuchungen habe ich in den nordwestargentinischen Anden ausgeführt, und hierüber soll im folgenden berichtet¹⁾ werden.

Über die allgemeine geologische Situation schicke ich folgendes voraus. Dem jungmesozoisch-tertiären Faltenstrang der argentinischen Hochkordillere ist im Osten eine Reihe meridionaler Gebirgsketten vorgelagert, die sich isoliert aus den Ebenen Zentralargentinens erheben, im Streichen nach N zahlreicher werden, sich enger reihen und schließlich in das Hochland der Puna de Atacama eintreten. Zusammensetzung und innerer Bau lassen in diesen Ketten, den pampinen Sierren, Stücke der brasilischen Masse erkennen, die von der andinen Gebirgsbildung ergriffen, emporgetragen worden und damit Bestandteil des andinen Kettensystems geworden sind. Mehrere sich überdeckende Schieferungsgenerationen, wiederholte Umprägung der kristallinen Felsarten und die Verwischung der an anderen Stellen sichtbaren Diskordanz zwischen archaischen und algonkischen und wohl auch altpaläozoischen Sedimenten zeigen an, daß mehrere Perioden der Gebirgsbildung die alten Massen betroffen haben, die letzte allem Anschein nach im Obersilur. Diskordant über diesem komplizierten, näherer Auflösung noch harrenden Unterbau werden Denudationsreste von örtlich karbonen, allgemeiner verbreiteten permischen und triadischen Festlandsedimenten der Gondwanaformation angetroffen. Diese bildeten ehemals höchst wahrscheinlich einen geschlossenen Schichtmantel von, wie man heute weiß, sehr wechselnder Mächtigkeit über dem abgetragenen, doch keineswegs eingeebneten Untergrund.

In den zentralargentinischen Teilen der pampinen Sierren und nach Norden bis zum Südostrand der Puna de Atacama zeigen die dürftigen Reste von Gondwanaschichten wohl tektonische Störungen, aber keine Faltung. Das ist gegen Westen und Nordwesten, wo die Gondwanaschichten in ungleich größerer Verbreitung und Vollständigkeit erhalten sind, anders. Ihre unteren, den Talchir- und Kaharbaribeds entsprechenden Abteilungen sind dort mit den liegenden Silur-Devonkomplexen intensiv verfalzt und verschuppt, und diskordant über diesem Deckenbau von ostalpinem Typus²⁾ liegen die höheren permotriadischen Horizonte der Gondwanaserie. Es handelt sich um den permischen Faltenstrang der Vorkordillere, der sich mit nach SW konvexem Bogen um die älteren Strukturen der brasilischen Masse herumlegt, mit dieser zur Einheit verschweißt ist. Beide zusammen bilden den Unterbau, der auch

¹⁾ Ergänzung und weiteres ausführlicheres Belegmaterial zu den hier niedergelegten Beobachtungen findet sich in WALTHER PENCK, Der Südrand der Puna de Atacama. Abh. d. Sächs. Akad. d. Wiss. Leipzig, math.-phys. Kl., XXXVII, 1920. Hier auch die einschlägige Literatur bis 1915.

²⁾ H. KEIDEL, Observaciones geológicas en la Precordillera de San Juan y Mendoza. Anales Minist. Agric. Seccion Geol. XV, N. 2. Buenos Aires 1921.

an verschiedenen Stellen der Hochkordillere durch die andinen Bewegungen hoch emporgetragen, unter der mesozoischen Schichtfolge der sogenannten andinen Geosynklinale zum Vorschein kommt. Es ist also im weiteren Sinne die Unterlage des andinen Faltenstranges, die in den pampinen Sierren sichtbar ist.

Die äußere Gestalt der pampinen Sierren ist die von langgestreckten Gewölben, deren öfters ungleich steile, meist vollkommen zertalte Flanken eine allgemeine mittlere Neigung von 5—10° besitzen — auch die als steile Abstürze erscheinenden Abdachungen sind nicht steiler! —, und deren Kammlinien die Auflösung in Gipfel nach Art alpiner Ketten vermissen lassen. Daher treten die Sierren im ganzen als geschlossene, wallartige Ketten entgegen, zwischen denen sich in Zentralargentinien weitgespannte Alluvialebenen dehnen. Gegen die Puna de Atacama hin ist diese Gestaltung noch ausgeprägter: die zahlreicher gewordenen Ketten bilden ein zusammenhängendes System, in dem an Stelle der weiten Alluvialebenen Senken von annähernd gleicher Erstreckung und Spannweite, von gleicher Größenordnung wie die Ketten, treten. Zum Teil sind jene Senken Aufschüttungsgebiete und werden Bolsones genannt; zu einem Teil dagegen sind sie samt ihrer älteren Sedimentfüllung ganz oder teilweise in den Bereich der Abtragung gerückt. Ausgezeichnete Aufschlüsse über Lagerung und Ausbildung der jungen Schichten sind hier geschaffen, Aufschlüsse allerdings, die auf die Nähe der Puna, einen Bezirk sehr lebhafter allgemeiner Hebung geologisch jungen Datums beschränkt sind.

Gliederung in Ketten und Senken zeichnet in ausgeprägter Weise die Puna selbst aus, in welche die Ketten der benachbarten pampinen Sierren von Süden her ohne Höhenverlust eintreten, während ihre Senken mit einem Male in großer absoluter Höhe liegen. Im übrigen sind die Punasenken die unmittelbare tektonische und orographische Fortsetzung der Bolsones südlich von ihr.

Wie die alten Strukturen der pampinen Sierren, so setzt auch der perimische Faltenstrang und ein Teil jener Zone mesozoischer Meeressedimente in die Puna fort, die heute den andinen Faltenstrang bildet und in der argentinischen Hochkordillere zu bedeutenden Höhen emporgestiegen ist. Den westlichen Teil der Puna baut der andine Faltenstrang auf. Und hier sieht man, daß auch die Faltenbündel jurassischer Ablagerungen zu meridional streichenden Senken und Ketten zusammengefaßt sind, die sich in ihrer Tektonik und äußeren Gestaltung (von der vulkanischen Bedeckung abgesehen) in nichts unterscheiden von den östlicheren Ketten, deren innerer Bau strukturell der Vorkordillere bzw. dem älteren Faltenbau der pampinen Sierren entspricht.

Undeutlicher dagegen wird die Gliederung des Gebirgskörpers in Ketten und Senken im Bereich der andinen Geosynklinale südlich der Puna. Man könnte dort versucht sein, an der früheren Vorstellung festzuhalten, daß der Zusammenschub der Schichten einen einheitlichen Gebirgsstamm, eben die argentinische Hochkordillere, „aufgefaltet“ habe, wenn nicht mehrfach das Erscheinen der Unterlage des andinen Faltenstranges in großer Meereshöhe, so im Aconcaguagebiet, in der Sierra del Viento und südwärts in zunehmendem Umfang, anzeigte, daß das Gebirge auch dort als solches durch das Emporrücken eines ganzen Krustenstreifens entstanden ist, welcher Träger des andinen Faltenstranges ist. In welchem Umfang diese Bewegungen eine Gliederung in Ketten und Senken erzeugt haben, läßt sich derzeit noch nicht übersehen, nicht weil es an dahingehenden Anzeichen¹⁾ und darauf

¹⁾ Ihrer tut unter anderen H. RASMUS Erwähnung (Minist. de Agricult. Dir. Gal. de Minas usw., Boletin 28, Serie B. Buenos Aires 1922), und F.

gerichteten Beobachtungen etwa ganz fehlte, sondern weil die Beobachtung hier durch eine weitgehende Durchtalung und Auflösung des Gebirges, welcher Ketten und Senken unterworfen sind, sehr beeinträchtigt erscheint. Zum Teil scheinen nicht unähnliche Verhältnisse vorzuliegen wie in den Ostalpen, in denen die Natur der tief zertalten Senken zwischen den in ein Gipfelmeer aufgelösten Ketten erst gegen den Ostrand des Gebirges hin durch die eingelagerten Tertiärschichten auch strukturell und stratigraphisch erkennbar ist, während sie in den westlichen Gebietsteilen nur auf morphologischem Wege und durch gewisse Verhältnisse der jüngeren, quartären Sedimentation, allerdings mit nicht geringerer Sicherheit, zu erschließen ist. Solche feinere Untersuchungen, über die ich anderwärts berichten werde, fehlen in jenen Teilen der Anden noch vollkommen, und daher ist uns in diesem Punkt vorerst noch einige Reserve aufgelegt. Unter voller Wahrung derselben kann jedoch zusammengefaßt werden, daß die Kettenbildung der Grundzug andiner Krustenbewegungen ist, soweit die Höhen-gestaltung und tektonische Gliederung des Gebirgskörpers in Frage kommt.

Zwei Probleme knüpfen an diese Erkenntnis an: 1. Welches ist das Wesen der Ketten, die in großer Zahl und enger Reihung das andino System zusammensetzen?, und 2. In welcher Beziehung steht die Kettenbildung zur Faltung der Schichten?

Die pampinen Sierras Zentralargentiniens, diese eindrucksvollsten Vorbilder von Gebirgsketten, haben fast alle ihre Erforscher veranlaßt, zu der ersten Frage Stellung zu nehmen. Die Lösung des Problems stieß hier jedoch genau wie in den nordamerikanischen Basin Ranges, die in wesentlichen Punkten den pampinen Sierras gleichen, auf eine Schwierigkeit: in weitem Umfang fehlen nämlich jüngere Bildungen, etwa zusammenhängende Stücke eines die alten Massen überkleidenden, mitbewegten Sedimentmantels, durch dessen gegenwärtige Lagerung die Natur der Ketten unmittelbar sichtbar gemacht wäre. Wohl sind größere Komplexe der Gondwanaserie an einigen Stellen noch vorhanden, so in Depressionen im Innern mancher Ketten wie in der südlichen Famatinakette beispielsweise in der Umgebung des Trancastales, wo die bruchlose Einmuldung der Schichten keinen Zweifel über den Charakter jener Sekundärsenke läßt. Auch an den Kettenrändern treten hier und da Reste des alten Schichtmantels auf, die einfach geschleppt, empor-gewölbt sind wie auf der Westseite der südlichen Famatinakette, oder auch mit Brüchen gegen die alten Massen der benachbarten Kette absetzen. Aber einheitlichen Aufschluß gewähren jene verstreuten und anscheinend von Brüchen ziemlich stark betroffenen Schichtrelikte nicht und namentlich lösen sie nicht die Frage nach dem Alter der Störungen. Jüngere Absätze treten ebenfalls stark zurück. Sie liegen offenbar hauptsächlich unter den Alluvionen der zentralargentiniischen Ebenen, welche im Ostteil des Systems ziemlich unmittelbar den Saum der Ketten berühren. In den westlicheren Regionen sind in einiger Ausdehnung festländische Absätze bekannt, die der oberen Kreide zugerechnet werden und schon gestört am Rande einiger Ketten zum Vorschein kommen. In den breiten Räumen zwischen den Ketten herrscht flache Lagerung, wo immer vorquartäre Sedimente zutage liegen.

So ist den Annahmen über das Wesen der Ketten weiter Spielraum gelassen, und mehr als Annahmen sind bislang nicht gemacht worden. BRACKEBUSCH verglich die Ketten mit Antiklinen, ähnlich wie dies CLARENCE KING, dieser gestützt auf eine Reihe halbvergessener Beobachtungen, vor Jahr-

KÜHN stellte sie bis in den äußersten Süden fest, die Senken dort vom „patagonischen Inlandeis“ erfüllt findend (Zeitschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1922, Nr. 7—10).

zehnten schon von den Basin ranges im westlichen Nordamerika äußerte¹⁾. Als dort weitere Untersuchungen die Tatsache zutage förderten, daß der Saum mancher Ketten und zwar gewöhnlich nur auf einer Seite von Brüchen begleitet wird, wurde die Ansicht KINGS von den durch Bruchdislokation modifizierten Antiklinen verlassen, und allgemein G. K. GILBERT gefolgt, der in den Basin ranges einseitig schräggestellte, an Brüchen gegeneinander bewegte Krustenstreifen oder Blöcke sah²⁾. Hierin wird ein besonderer Störungstypus erblickt, der unter der Bezeichnung basin range structure bekannt ist. Seither wird allgemein der Bruchbildung entscheidende Bedeutung bei der Kettenbildung zugeschrieben: werden die Ketten für Blöcke gehalten, die einseitig herausgehoben und dabei schräggestellt wurden, oder als Horste über die zurückbleibenden Gräben emporstiegen. Ein Blick in die Literatur über die Kettenysteme der Erde zeigt, daß bis in die jüngste Zeit nicht allzuviel Gewicht auf die Frage gelegt wird, ob die Brüche, die gefordert und angenommen werden, auch wirklich vorhanden sind³⁾. Befriedigen kann dieser Stand der Dinge nicht.

Basin range structure ist nach der gegenwärtigen Auffassung argentinischer Geologen der Bautypus auch der pampinen Sierran⁴⁾. Der geologische Nachweis ist allerdings nicht geführt und wird auch, wie bemerkt, nicht leicht zu führen sein. Nur an wenigen Stellen sind in Zentralargentinien die Ausstriche streichender Verwerfungen wirklich festgestellt. Gewöhnlich wird angenommen, daß die großen Verwürfe, von den Alluvionen der Ebenen bedeckt, dem Kettenfuß entlangziehen. Wie in Nordamerika wurde auch hier versucht, die Existenz der unsichtbaren Brüche auf morphologischem Wege zu erweisen⁵⁾. Die benützten Kriterien sind zum überwiegenden Teil dieselben, die W. M. DAVIS auf dem Boden seiner Zyklenlehre theoretisch abgeleitet hat und auf die Basin ranges anzuwenden versuchte⁶⁾. Sie sind jedoch ganz unzureichender Natur, da nicht eindeutig, und ruhen wie DAVIS' Lehre vom Erosionszyklus auf der irrigen Voraussetzung, daß die Abtragung erst in Aktion tritt, wenn die Krustenbewegung schon beendet ist. Auf solcher Unterlage läßt sich die Existenz der vermuteten Brüche nicht wahrscheinlich machen. Systeme quartärer und älterer Hebungsterrassen in den Gebirgstälern, die am Saume der Ketten in nach unten konvergierende Felsterrassen und

1) C. KING, Report of the Geol. Survey of the Fortieth Parallel. Bd. III. Mining Industry. Washington 1870. Bd. I. Systematic Geology. Washington 1878.

2) G. K. GILBERT, Geogr. and Geol. Explor. and Surveys West of the One Hundredth Meridian. III. Geology. Washington 1875.

3) Gelegentlich wird eine Untersuchung der Frage nicht nur unterlassen, sondern anscheinend selbst für überflüssig erachtet, da man sich das (relative) Sinken der Längsfurchen nicht „anders als grabenartig . . . vorzustellen vermag“, wie G. FLIEGEL in seinem Versuch, einen Überblick über die jüngere Gebirgsgeschichte Anatoliens zu geben, wörtlich bekennt (Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. Berlin, LXXIII, 1921, Monatsher. Nr. 1—3, S. 15). Daß der Bau des anatolischen Kettensystems gänzlich anders geartet ist, als FLIEGEL darstellt, dem die Bedeutung von Aushildung und Lagerung des korrelaten Neogens für die Entzifferung des Gebirgsbaus ganz entgangen zu sein scheint, werde ich an anderer Stelle nochmals ausführlicher zeigen.

4) H. RASSMUS, Rasgos geológicos de las Sierras pampeanas. Minist. Agr. Dir. Gal. de Minas usw. Bol. 13, Serie B. Buenos Aires 1916.

5) O. SCHMIEDER, Apuntes geomorfológicos de la Sierra Grande de Cordoba. Bol. Ac. Nac. de Cienc. Cordoba, XXV, 1921, S. 183.

6) W. M. DAVIS, The Ranges of the Great Basin. Science XIV, 1901, S. 457; The Mountain Ranges of the Great Basin. Bull. Mus. Comp. Zoology, XLII, 1903, S. 129.

zerschnittene, ineinander geschachtelte Schuttkegel übergehen, zeigen zudem an, daß die Ketten bis in die jüngste Zeit aufwärts bewegt worden sind und zwar gegenüber ihrem eigenen Rand.

Mit Annäherung an die Hochkordillere im W, insonderheit gegen N gegen die Puna de Atacama hin, in welchen Richtungen das enger gereichte Ketten-system im ganzen stärker herausgehoben ist, und der Abtragungsbereich auch auf die schmaler werdenden Längsfurchen übergreift, gehören nun in der Tat streckenweise wohl erschlossene Längsbrüche und aus ihnen hervorgegangene, steile Überschiebungen zu den Merkmalen des tektonischen Gefüges¹⁾. Man kann diese Störungslinien jedoch keineswegs, wie geschehen ist, als Beleg dafür benützen, daß die Ketten Horste oder schräggestellte Blöcke nach Art der Basin range-structure seien. Schon nicht aus dem einfachen und überzeugenden Grunde, weil — wie erwiesen worden ist — dieselben Brüche gegen den Rand der Puna de Atacama auskeilen, zu Ende gehen, die Ketten aber nicht. Diese treten vielmehr ohne jede Änderung ihrer Höhengestaltung und ihres sonstigen tektonischen Gefüges als einfache Antiklinen in das Hochland ein.

Aus dieser Sachlage leitet sich zunächst der unwiderlegliche Schluß her, daß Kettenbildung und Bruchbildung zueinander nicht in dem kausalen Verhältnis stehen können, das dem Begriff der Basin range-structure zugrunde liegt. Dieser setzt voraus, daß zwischen der Höhengestaltung der Kette und der Sprunghöhe des Bruches Übereinstimmung oder eine nahe Abhängigkeit besteht, wenn die Kette ein Horst oder schräggestellter Block, die benachbarte Senke ein Graben oder bruchdisziplinierter Senkungsraum ist.

Was man beobachtet, ist von ganz anderer Art. Näheren Einblick in das Wesen und die Entwicklung der Ketten gewinnt man an den Stellen, an denen die von den Ketten stammenden Abtragungsprodukte zu Schichtkomplexen angereichert sind, wo also die der Kettenentwicklung zeitlich und kausal parallel gehende Sedimentationsgeschichte der Beobachtung zugänglich ist. In großem Umfang sind solche korrelierte Schichten in den Senken nahe der Puna de Atacama erschlossen. Sie sind durchweg festländischer Fazies und reichen von der Gegenwart bis in die obere Kreide zurück, ohne daß man freilich wegen der Fossilarmut angeben könnte, welchen Stufen des Tertiärs und der oberen Kreide die einzelnen Abteilungen zuzurechnen sind. Die Mächtigkeit der Schichten, die gelegentlich 10 km überschreitet, bekundet, daß sie auf sinkender Unterlage abgesetzt worden sind. Jede Abteilung gliedert sich in eine grobklastische gebirgsnahe und sandige gebirgsferne Fazies. Die erstere besitzt durchaus die strukturellen Merkmale von Schuttkegelbildungen und ist der zugehörigen Kette an- bzw. deren Rand aufgelagert; die feinklastische Fazies findet unter den modernen Alluvionen ihr Analogon in den mit den Schuttkegeln verknüpften feinsandigen Aufschüttungen, die heute im Inneren der Bolsone entstehen und dort oft parkettebene Böden bilden. Nicht in allen Senken sind alle Abteilungen der korrelierten Schichten vorhanden, sondern naturgemäß nur in jenen, die am frühesten Senken und Ablagerungsräume des andinen Systems wurden und diesen Charakter dauernd bewahrt haben.

Das vollständigste bisher untersuchte Profil, über welches hier berichtet werden soll, findet sich in der Senke, deren einfassende Ketten, Sierra de Fiambalá im O, Famatinakette im W, in die Puna hineinstreichen und sich

¹⁾ W. PENCK, Hauptzüge im Bau des Südrandes der Puna de Atacama. N. J. f. Min., B. B. 38, 1914, S. 643; H. RASSMUS, La Sierra de Aconquija. Soc. Argent. de Cienc. nat., Buenos Aires 1918, S. 47; G. BODENBENDER, El Nevado Famatina. Bol. Acad. Nac. de Cienc. Cordoba, XXI, S. 100, 1916; H. HAUSEN, Sierra de Umango Area. Acta Acad. Aboensis, Math. et Phys. I, Åbo 1921.

dort, weithin nach N fortsetzend, als Angehörige der beiden Systeme zeigen, die zwischen sich das interandine Hochland des Nordens einschließen.

Auf einer Abtragungsfläche, welche über teilweise ansehnlich mächtige Komplexe von Gondwanaschichten, daneben über präkambrische und altpaläozoische Felsarten und alte Strukturen hinweggeht, treten als älteste Korrelate braune und rote Sandsteine auf, die, nach weiteren Zusammenhängen zu urteilen, der oberen Kreide angehören. Ihre Unterfläche ist, wo sie triadische Gondwanaschichten überspannt, eine Erosions-, keine Fal-tungsgediskordanz¹⁾. Die Schichten sind beiderseits der Sierra de Fiambalá verbreitet und fehlen in deren Bereich. Sie sind dort nicht etwa abgetragen worden, sondern niemals vorhanden gewesen. Das geht aus dem Übergreifen der konkordant hangenden, wahrscheinlich untertertiären Schichten gegen das Gebirge hin und aus deren Zusammensetzung hervor: sie gliedern sich nämlich in eine konglomeratische, gegen die Kette übergreifende, gebirgsnahe Fazies, an deren Zusammensetzung die alten Gesteine der Kette bereits wesentlich beteiligt sind, und in eine gebirgsferne feinsandige Ausbildung, die in den damals überaus weiten Ablagerungszonen im Osten und Westen konkordant über den Kreidesandsteinen liegt (Fig. 1).

Aus dieser Situation folgt zweierlei: 1. Die Kette muß in der oberen Kreide erschienen sein; wir sagen: sie ist oberkretazischer Anlage. 2. Während die Kette als werdender Abtragungsbezirk zunächst feinkörnige Stoffe lieferte, warf sie im unteren Tertiär grobklastische Derivate in die benachbarten Aufschüttungsgebiete. Das kann nichts anderes bedeuten, als daß die Gefällsverhältnisse der Kette bis zum unteren Tertiär steiler geworden sein müssen als sie es in der Kreide noch waren, so steil nämlich, daß die Gewässer grobe Korngrößen transportieren konnten, nachdem sie vorher nur kleine Körper zu verfrachten imstande waren. Steilere Gefälle können aber

¹⁾ Dieser Umstand ist für die Datierung einiger junger Granitstöcke in der Famatinakette wichtig, welche durch ihre Intrusion das pseudokonkordante Schichtsystem zur Seite gedrängt und gleichsinnig gefaltet haben. Sie sind also sicher jünger als obere Kreide (WALTHER PENCK, Der Südrand der Puna de Atacama, a. a. O. S. 319—331). In der Tat sind Apophysen in den oberkretazisch-alttertiären Schichten gefunden und beschrieben worden (a. a. O. S. 261, 270) und ist von einem Massiv selbst das Eindringen in jungtertiäre Konglomerate beobachtet und sein Kontakt mit charakteristischen endomorphen und exomorphen Kontakterscheinungen abgebildet worden (a. a. O. S. 324 und Abb. 30). Dies alles scheint H. GERTH ganz entgangen zu sein, der in seinem Referat über meine Aufnahmeergebnisse am Pinarand den fraglichen Graniten obertriadisches Alter zuschreiben möchte, um sie den Quarzporphyren dieses Alters anzureihen, die am Ostrand der Cordilleren bis nach Feuerland verbreitet sind (Geol. Rundschau XII, H 6/8, 1921, S. 320). Eine solche Umstellung und Vereinigung mit petrographisch ganz anderen Bildungen — die erwähnten Granite der Famatinakette neigen zur Reihe Hornblende-granit—Tonalit — erscheint doch etwas gewagt, wenn sie nur unter Beiseitsetzung der festgestellten Verbandsverhältnisse gelingt und nicht auf eigenen, ergänzenden Beobachtungen beruht. Daß auf solcher Unterlage meine Theorie vom Mechanismus der Großfaltung (durch magmatische Intrusion) in irgendeinem Punkt erschüttert worden sei, wie GERTH vermeint, kann ich nicht finden, zumal jene Granite zwar Illustration, aber nicht Ausgangspunkt noch Beleg für die Theorie bildeten. Diese Rolle spielen die überwältigenden andesitischen Effusionen jungen Datums (Kreide bis jetzt), welche ebensolche Intrusionen voraussetzen. Deren Raumbedürfnis innerhalb der Kruste wird auch GERTH nicht wohl in Abrede stellen wollen (vgl. hierzu besonders S. 335 bis 361 meines Buches).

nur dann eintreten, wenn der Höhenabstand zwischen Scheitel und Saum einer Kette (bei annähernd gleichbleibender horizontaler Entfernung jener beiden Punkte voneinander) zunimmt. Mit anderen Worten: Die Fazies der Korrelate lehrt, daß die Kette bis zum unteren Tertiär höher geworden ist.

Die Schichten sind heute lebhaft gestört, auf der Ostseite der Sierra de Fiambalá von dieser überschoben, auf ihrer Westseite kräftig gefaltet. Hiervon sehen wir zunächst ab und verfolgen die Verhältnisse im Bereich der westlichen Nachbarkette, der Famatinakette. Sie liegt in der betrachteten Gegend (Sierra Narvaez) ganz in der Zone gebirgsferner Kreide-Untertertiärschichten und hat dieselben durch ihr Erscheinen zunächst antiklinal emporgewölbt, wozu seither Faltung und Überschiebung jener Decksedimente entlang dem Ostfuß und ihre Abtragung vom Scheitel der Kette getreten ist. Somit ist die Famatinakette in den behandelten Breiten nachuntertertiärer Anlage. Und sie wie auch die ältere Sierra de Fiambalá warfen ihre Abtragungstoffe in die zwischen beiden verbliebene Senke. Die Schichten führen mittelmiozäne Pflanzenreste und bestehen zu unterst aus nur feinkörnigen, also gebirgsfernen Sandsteinen, die sich gerade über die Faziesgrenze des Untertertiärs ausbreiten, also konkordant einerseits über Konglomeraten, andererseits über Sandsteinen ruhen.

Das ist jedoch nur im Inneren der Senke der Fall. Am Saum der Famatinakette gehen die gleichen Schichten über dieselben, hier aber geschleppten Liegendebenen diskordant hinweg und greifen mit höheren, in gebirgsnaher konglomeratischer Fazies ausgebildeten Horizonten gegen die neue, werdende Kette über. Und zwar reicht das grobe Korn in den höheren Horizonten immer weiter gegen das Innere der Senke hinaus (Fig. 2). Das Faziesbild lehrt wieder, daß die neu erscheinende Kette im Westen zunächst feinkörnige Stoffe lieferte, die im Senkentieftem angereichert wurden, später dagegen — wie schon viel früher die ältere Fiambalákette — in zunehmendem Umfang grobklastisches Material. Die Entwicklung der Famatinakette (Sierra Narvaez) seit ihrem Erscheinen vollzog sich demnach analog der östlichen Nachbarkette, d. h. in der Richtung zunehmender Höhe.

Besondere Aufmerksamkeit verdienen zwei Erscheinungen. In erster Linie die an den Kettenrand gebundene Diskordanz zwischen den beiden Abteilungen der tertiären Korrelate. Sie zieht nicht unter der Senke durch, sondern geht, wie man Schritt für Schritt verfolgen kann, gegen deren Inneres unter Vervollständigung des stratigraphischen Profils in eine Schichtfuge über. Die Erscheinung ist kein Spezifikum der untersuchten Gegend, sondern sie ist kennzeichnend für den tektonischen Typus und kehrt daher in den verschiedenen Kettensystemen der Erde wieder, wo korrelate Schichten in einigem Umfang vorhanden sind. So wurde sie vor längerem schon im nordamerikanischen Kettensystem festgestellt; ich fand sie an zahlreichen Stellen in Kleinasien, und auch am Rande des Tienschansystems scheint sie beobachtet zu sein. Für die Beurteilung der Oberflächenformen haben jene Diskordanzen große Bedeutung; gehen sie, wie bemerkt, einerseits nach dem Inneren der Senken in Schichtfugen über, so laufen sie andererseits gegen die Ketten in ganz bestimmte Abtragungsformen aus, von denen die Diskordanzen ja nichts anderes als durch übergreifende Horizonte bedeckte Stücke sind. Im hier erörterten Fall geht die intratertiäre Diskordanz in eine wohlhaltene Rumpffläche auf dem Scheitel der Sierra Narvaez (Famatinakette) über, auf der Seite der Sierra de Fiambalá dagegen nicht in die Rumpffläche, die auch dort auf der Gebirgshöhe in Stücken erhalten ist (und die in der Basisfläche der untertertiären Konglomerate-Sandsteine fortsetzt), sondern in ein Talniveau, das in jene ältere Rumpffläche eingesenkt ist und heute allerdings

Erläuterung zu Fig. 1—3.



Obere Kreide.

-----1 Grenzfläche zwischen ob. Kreide und unt. Tertiär.



Unteres Tertiär.

-----2 Grenzfläche zwischen unt. und mittl. Tertiär.



Mittleres (bis oberes) Tertiär = untere Punaschichten.

.....3 Grenzfläche zwischen mittl. und oberstem Tertiär.



Oberstes Tertiär = obere Punaschichten.



Quartär.

Anm.: Die grobe Fazies der Ablagerungen ist durch Ringe oder stärkere Punkte (im Quartär durch Kreuzchen) angedeutet.

dc = Diskorkanz zwischen Unter- und Mitteltertiär.

kc = Konkordanz " " " "

dp = Diskordanz zwischen Mittel- und Obertertiär.

D = Zone der Diskordanzen.

K = Zone durchgehender Konkordanz.

x = Beispiel für Wiederholung des gleichen Fazieszyklus in verschiedenem stratigraphischen Niveau.

SF = Sierra de Fiambalá, *N* = Sierra Narvaez (Teil der Famatinakette).

hoch über den höchsten Talterrassen liegt. Es zeigt sich hier recht deutlich, daß die alten Rumpfflächen auf benachbarten Ketten durchaus nicht gleich alt sein müssen noch zu sein pflegen, und daß sie noch viel weniger, wie gewöhnlich aber in geringem Einklang mit den Tatsachen angenommen wird, emporgetragene Stücke einer einzigen Rumpffläche sind, deren versenkte Verbindungsstücke an der Sohle der zwischenliegenden Senken durchziehen. Jene Rumpfflächen sind vielmehr den einzelnen Ketten eigentümliche Bildungen.

Die zweite Erscheinung, auf die ich besonders aufmerksam mache, da auch sie allgemeine Bedeutung hat und zu Mißverständnissen führen kann, ist der wiederholte Wechsel der Fazies in ein und demselben Vertikalprofil. In einem etwa bei *x* der Fig. 2 liegenden Aufschluß findet man von unten nach oben: Sandstein—Konglomerat—Sandstein—Konglomerat. Und die Vervollständigung des Profiles bis zur Gegenwart wird an der gleichen Stelle (*x* der Fig. 3) noch zweimal den gleichen Schichtenzyklus in höherem stratigraphischem Niveau zeigen. Die Abhängigkeit der Korngröße von den Gefällsverhältnissen des Einzugsgebietes vor Augen, könnte ein solches Einzelprofil leicht zum Ausgangspunkt für die — irrige — Meinung werden, daß der zugehörige Abtragungsraum zweimal hoch, gebirgig, steil gewesen sei und dazwischen zweimal niedrig und flach, so daß nur feine Stoffe noch den Ablagerungsraum erreichten. Tatsächlich sind ähnliche Schlußfolgerungen öfters gezogen worden, und wurden die feinklastischen Horizonte für die Anzeichen jener Perioden der Einrumpfung und tektonischen Ruhe betrachtet,

die für das Zustandekommen der Rumpfflächen für unbedingt erforderlich gehalten werden und auch gehalten werden müssen, solange in den Rumpfflächen schlechthin nichts anderes als peneplains, d. h. nach der Theorie des Erosionszyklus entstandene Endrumpfflächen gesehen werden.

Das Gesamtprofil der Faziesanordnung lehrt jedoch etwas ganz anderes. Vergleicht man die Sedimentationsverhältnisse in der untertertiären Senke mit denen in der eingeeengten mittel-obertertiären und stellt daneben, was in jedem Bolson, ob schmal oder breit, zu sehen ist, so findet man übereinstimmende Anordnung der Fazieszonen: das Muldentiefste ist stets der Ort der Anreicherung vorzugsweise feinkörniger Stoffe und beiderseits findet der Übergang in die grobe gebirgsnahe Zone entsprechend der Schuttkegelzone statt. Diese Anordnung ist die Folge der Saigerung des durch bewegtes Wasser in den Aufschüttungsraum transportierten Materials, und sie wird in gleicher Regelmäßigkeit in allen festländischen Senken der geologischen Vergangenheit und der Gegenwart angetroffen, sofern sie nur Ablagerungsräume sind. Was sich im vorliegenden Fall geändert hat, ist zweierlei: 1. Das Faziesgebiet des Muldentiefsten ist eingeeengt im Mittel- bis Obertertiär gegenüber dem Untertertiär, und weiter eingeeengt bis zur Gegenwart gegenüber dem oberen Tertiär. 2. Das Muldentiefste ist gegenüber den vorausgegangenen Zeiten verlagert. Es bewahrt nicht seine Lage, sondern verschiebt sich in horizontaler Richtung, und damit verschieben sich naturgemäß die Faziesgebiete. Die Ursache dieser Verlagerung findet sich nicht in einer Änderung der Stärke oder Art der Bewegung der schon vorhandenen Ketten, überhaupt nicht in einem Vorgang, welcher deren Entwicklung betrifft, sondern die Ursache liegt im Auftauchen der neuen Kette, einer neuen Abtragungszone, aus dem Inneren des noch überaus breiten untertertiären Aufschüttungsbezirkes.

Die Erscheinungen wiederholen sich. Während am Saum der Sierra de Fiambalá seit dem unteren Tertiär, an dem der gegenüberliegenden Famatina-kette seit dem Beginn etwa des oberen Tertiärs bis heute nichts anderes mehr als grobe Sedimente abgesetzt worden sind und zwar in zunehmender Ausbreitung und Mächtigkeit, ist der normale Sedimentationsgang im Muldentiefsten abermals unterbrochen worden durch das Erscheinen einer neuen, jüngsten Kette. Sie besteht noch ganz aus den mächtigen Korrelaten der Kreide und des Tertiärs, die emporgewölbt und gefaltet worden sind. Ihre Unterlage ist noch nicht sichtbar. Sieht man der Einfachheit halber von dem Faltenwurf ab, so stellt sich das Faziesprofil nach den Beobachtungen dar wie in Fig. 3.

Die neue Kette warf vom Moment ihres Erscheinens im Obertertiär (sagen wir unverbindlich Obermiozän) Abtragungstoffe in die beiderseits verbliebenen schmalen Mulden und zwar zunächst vorwiegend feinkörniges, später ebenfalls proklastisches Material. Die Zone gebirgsferner Fazies ist gegenüber dem „Mitteltertiär“ außerordentlich verengt. Sie tritt in zwei Streifen beiderseits der neuen Kette auf, ist aber nur westlich von dieser wohl entwickelt. Östlich von ihr, im Gebiet des heutigen Bolsons von Fiambalá, findet man reine Sandsteine in jenen Horizonten überhaupt nicht erschlossen, sondern nur geröllvermischte Sandsteine, die nach oben sehr rasch in grobe Schotter-Konglomerate übergehen. In ihnen wiegt Material der Sierra de Fiambalá vor, so daß leicht zu erkennen ist, wie die intensive Schuttzufuhr von dieser Seite das geringe Verbreitungsgebiet der gebirgsfernen Fazies bald überwältigte und die von der neuen Kette stammenden Schotter mit denen der beiden älteren und inzwischen höher gewordenen Nachbarketten im O und W zusammenwachsen. Bis zur Gegenwart ist die westliche Mulde in ganzer Ausdehnung dem Abtragungsbezirk angegliedert

worden, und nur von der westlichen ist im Bolson von Fiambalá ein überaus schmaler Sedimentationsraum geblieben. In ihm findet sich heute das verengte Muldentiefste mit normaler Ausbildung und Anordnung der Sedimentfazies, wie sichtbar, seit dem unteren Tertiär weit gegen Osten verlagert.

Die jüngste Kette ist wieder beiderseits von Diskordanzen begleitet, welche gegen die beiderseitigen Mulden in Schichtfugen zwischen den mittel- und obertertiären Korrelaten fortsetzen. Dieselbe Grenzfläche ist aber auch am Saume der älteren Ketten als Diskordanz entwickelt, und das zeigt neben einer Reihe anderer ebenso eindeutiger Erscheinungen auf dem Gebiet der Formentwicklung an, daß in der Phase, in welcher die jüngste Kette entstand und zu gegenwärtiger Höhe emporstieg, auch die schon vorhandenen Ketten weiterbewegt wurden und nicht etwa stillstanden.

Und das ist der Grundzug der Entwicklung, der in der kontinuierlichen Sedimententwicklung aufgezeichnet ist: die Kontinuität der Bewegung. Jede Kette rückt vom Moment ihres Erscheinens an unausgesetzt empor und zwar derart, daß sie an Höhe wächst. Vollkommen sicher ist, daß diese Bewegung der Ketten heute nicht beendet ist. Zieht man hierzu die korrelierte Entwicklung der Oberflächenformen in Betracht, von denen an anderer Stelle ausführlich gehandelt werden soll, so wird zweifelsfrei, daß der Höhepunkt der Aufwärtsbewegung, d. h. die bislang überhaupt erreichte, größte Intensität der Krustenbewegung in der Gegenwart noch nicht überschritten ist.

Welcher Art die Bewegung ist, geht aus der Lagerung der Korrelate hervor. Sie ist nahe dem Punarand, wo die Brüche, Überschiebungen und sonstigen komplizierenden Störungen verschwunden sind, in den Senken synklinal, gegen die Ketten antiklinal, und zwar ist das Schichtfallen in den tieferen stratigraphischen Niveaus immer steiler als im jeweils Hangenden. Die Senken sind Mulden, die Ketten Sättel. Daran ändert sich nicht das Geringste, wenn man weiter nach S geht, wo die Ketten durch das Erscheinen der Längsbrüche und -überschiebungen Merkmale der Basin range-structure erwerben. Es sind dort die Ketten ostwärts auf die relativ sinkenden Mulden aufgeschoben, und damit ist an verschiedenen Stellen Faltung der korrelierten Schichten — stellenweise auch noch der jüngsttertiären! — zeitlich und kausal verbunden. Das ist jedoch nicht die einzige Form junger Schichtfaltung, die hier östlich vom andinen Faltenstrang beobachtet wird. Im Bereich der Famatinakette sind obere Gondwanaschichten und pseudokonkordant hangende Kreide-Untertertiärschichten intensiv gefaltet und zwar nicht nur, wie schon erwähnt (Anm. 1, S. 308), am Kontakt junger, durchbrechender Granitstöcke, welche die Schichtkomplexe zur Seite geschoben haben, sondern namentlich auch in eingemuldeten Zonen, welche die aus mehreren Antiklinalelementen zusammengesetzte Kette gliedern und mächtige eingeklemmte Schichtpakete enthalten. Der Zusammenschub ist hier zwischen unterem und oberem Tertiär gleichzeitig mit der Anlage und dem Höhenwachstum der Kette (Sierra Narvaez) erfolgt und offensichtlich Folge- und Begleiterscheinung der Kettenbildung¹⁾.

¹⁾ Dasselbe Verhältnis beobachtete neuerdings H. HAUSEN auch in der Sierra de Umango westlich der Famatinakette (a. a. O.). Das schon erwähnte Fehlen dieser Faltungserscheinungen in den östlichen, zentralargentinischen Teilen des Systems beruht einzig darauf, daß dort die Krustenbewegungen, insbesondere die Kettenbildung (Großfaltung) nicht die große Intensität erreicht hat wie im W und NW in den zentraleren Gebirgstteilen. Darauf komme ich a. a. O. zurück.

Zusammenschub der Korrelate beobachtet man ebenso im Raum der vorgenannten jüngsten Kette. Die Faltung ist dort erst nach dem Mitteltertiär eingetreten und vor dem Ausgang des Tertiärs beendet gewesen, also wiederum gleichzeitig mit Anlage und Höhenwachstum der betreffenden Kette und im ganzen später als in der Famatinakette. Man sieht: Faltung der Schichten tritt hier nicht selbständig auf. Sie erfolgt nicht an allen Stellen des Systems gleichzeitig als eine selbständige Phase der Gebirgsbildung, die dem Akt der Kettenbildung etwa vorausgeht¹⁾, sondern sie tritt an den Stellen und in den Zeiten ein, da eine Kette erscheint und emporwächst. Sie ist Begleitakt dieses Wachstums, solange sich die Schichten in einer für die Faltung geeigneten Situation befinden und solange sie faltbar sind. Da beide Voraussetzungen nie in unbegrenztem Umfang gegeben sind, so überdauert das Wachstum der Kette die Faltung der Schichten, aus denen die Kette besteht oder die dieser an- bzw. aufgelagert sind. Ein Ausblick auf die Entstehung des andinen Faltenstranges an Stelle der mesozoischen Geosynklinale ist hiermit nicht gewonnen.

Die Bindung der Faltung der Korrelate an Entstehungsort und Entstehungszeit der einzelnen Kette innerhalb des Systems hat jedoch große symptomatische Bedeutung. Sie belegt, daß an der Kettenbildung tangentielle Kräfte beteiligt sind. Dies zusammen mit der den Ketten und Senken eigentümlichen Grundform — Sättel und Mulden! — legt bereits den Gedanken nahe, daß es sich um große Falten handelt. Großfalten wurden sie daher genannt. In der Tat besitzen die Ketten und Senken, was anderwärts näher auszuführen sein wird, die Merkmale echter Falten. Wie solche treten nämlich auch die Großfalten immer nur gesellig, Systeme bildend, niemals singulär wie Aufwölbungen auf. Und dann insbesondere: Sie vermehren wie echte Falten im Laufe ihrer Entwicklung dauernd die Länge, die Höhe oder Amplitude und zunächst auch die Breite oder Phase. In fortgeschrittenem Stadium der Entwicklung dagegen stellen die Großfalten genau wie die echten Falten das Breitenwachstum ein und beginnen ihre Phase wieder zu verkleinern. Dadurch unterscheiden sich die Großfalten grundsätzlich von den Aufwölbungen der Kruste, die wie die Appalachen, der Schwarzwald oder andere deutsche Mittelgebirge mit ihrer Höhe dauernd auch ihre Phase vergrößerten und, wie daraus hervorgeht, eben keine großen Falten sind. Zu Unrecht wird ihnen die Bezeichnung „Großfalten“ beigelegt.

Auf die Beobachtungen und Erscheinungen, die zu diesem Ergebnis führen, werde ich an anderer Stelle ausführlich zurückkommen²⁾.

Die Kettenbildung ist, um zusammenzufassen, eine Großfaltung. Diese beginnt in dem betrachteten Gebiet nach heutiger Kenntnis in der oberen Kreide, also in derselben Periode, in welche der Anfang der Hauptfaltung in der Geosynklinale nach oberjurasischer und mittelkretäzischer Vorläuferphase verlegt wird. Der weitere Gang der Entwicklung besteht im Höherwerden der vorhandenen Ketten — hierbei Eintreten von Bruch, Überschiebung und Schichtfaltung als Folge- und Nebenwirkung — und im Erscheinen neuer Ketten (ebenfalls unter bestimmten Umständen von Schichtfaltung begleitet), deren bis heute schon etwa fünf Generationen unterscheidbar sind. Die Vermehrung der Ketten zieht eine solche der

¹⁾ Auch in diesem Punkt steht die Wiedergabe durch H. GERTH in vollem Widerspruch mit den von mir berichteten Tatsachen (a. a. O. S. 335).

²⁾ Verfasser spielt hier wie an anderen Stellen auf ein von ihm im Manuskript hinterlassenes Werk „Morphologische Analyse“ an, das voraussichtlich veröffentlicht werden wird. Schriftl.

Mulden und deren fortschreitende Einengung naturnotwendig nach sich. Dieser Vorgang ist in der Ausbildung und Anordnung der Fazies der in den Mulden sich sammelnden korrelaten Schichten aufgezeichnet. Die Sedimentation ist kontinuierlich wie die Aufwärtsbewegung der Ketten und die auf diesen stattfindende Abtragung. Aber der Sedimentationsort erfährt im Laufe der Entwicklung nicht nur Einengung sondern Verlagerung innerhalb des von den ältesten Ketten gebildeten Rahmens. Die Fazies bekundet fortschreitendes Höhenwachstum der Ketten — die morphologische Entwicklung tut dasselbe in womöglich noch schärferer Form¹⁾ —, die Verlagerung der Fazieszonen ist Folge des Erscheinens immer neuer Ketten und hängt so unmittelbar vom Gang der Großfaltung ab. Dieser führt weiter und schließlich zu einer ständigen Ausbreitung der Abtragungsgebiete auf Kosten der Ablagerungsbezirke, von denen bis heute nahe dem Punarand nicht nur die Mehrzahl heutiger Senken, sondern das weitüberwiegende Areal dessen, was Sedimentationsraum war und mit vielen Kilometer mächtigen Schichten angefüllt ward, der Abtragung und gebirgigen Höhengestaltung einbezogen ist.

¹⁾ Vergl. hierzu W. PENCK, Der Südrand der Puna de Atacama a. a. O. Kapitel VI.