

**ÜBER STAUUNG UND ZERRUNG
DURCH EINMALIGE UND WIEDERHOLTE
STÖRUNGEN.**

VON
E. HAARMANN.

SONDER-ABDRUCK AUS DER
ZEITSCHRIFT DER DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT,
BAND 72, JAHRGANG 1920, ABHANDLUNGEN Nr. 3/4.

**Über Stauung und Zerrung
durch einmalige und wiederholte Störungen.**

Von Herrn ERICH HAARMANN in Berlin.

(Mit 8 Textfiguren.)

Inhalt.

| | Seite |
|--|-------|
| Einleitung | 218 |
| I. Stauung und Zerrung durch einmalige Störung | 220 |
| Lokale Zerrung bei Stauung | 220 |
| Klaffen der Sattel- und Muldenspalten | 220 |
| Zerrung bei drehendem Zusammenschub | 221 |
| Zerrung im Faltenlängsprofil | 221 |
| Auswalzung der Faltenschenkel im Querprofil | 221 |
| Regionale Zerrung bei Stauung | 221 |
| Zur Verständigung: Grundzüge eines Erklärungs- | |
| versuchs der Gebirgsbildung | 221 |
| Zerrung im Rücken der Faltengebirge | 222 |
| Zerrung im Rücken der Bruchfaltengebirge | 222 |
| II. Stauung und Zerrung durch wiederholte Störungen | 225 |
| Faltung und Gangbildung | 226 |
| Wiederholung und Durchkreuzung von Dehnungsver- | |
| werfungen | 226 |
| Durchkreuzung von Pressungsverwerfungen | 227 |
| Wiederholte Faltung | 229 |
| Gleiche Richtung der Faltungen | 229 |
| Verschiedene Richtungen der Faltungen | 229 |
| Vergesellschaftung mit Bruchbildung | 229 |
| Wesentlich bruchlose Faltenvergitterung | 230 |
| in normalen Gesteinsschichten | 230 |
| im hannoverschen Salzgebirge | 236 |
| Schluß | 244 |

Einleitung.

Infolge des Krieges und längerer Auslandsreisen ist es mir erst jetzt möglich, einige seit Anfang 1916 in den Hauptzügen fertiggestellte tektonische Studien abzuschließen und in Druck zu geben. Nur in einer Notiz über die tektonische Geschichte Mexikos (Centralbl. f. Min. 1917, S. 176—179) habe ich meine Gedanken über gebirgsbildende Vorgänge kurz dargestellt. Ein Teil meiner Untersuchungen wurde

mir ermöglicht durch eine von der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin gewährte Beihilfe, wofür ich auch an dieser Stelle meinen Dank sage. — Die nachstehenden Ausführungen müssen wegen des beschränkten Raumes teilweise in sehr knapper Form gebracht werden.

Bei Verfolgung der Ergebnisse tektonischer Untersuchungen stößt man immer wieder auf tiefgehende Meinungsverschiedenheiten zwischen den einzelnen Beobachtern. Die Ursache hierfür ist einerseits die verschiedene Deutung von Beobachtungen, die verschiedenen Arten des Beobachtens, die Unzulänglichkeit der Aufschlüsse, dann aber, wie mir scheint, hauptsächlich der Umstand, daß wir so außerordentlich oft in ein und demselben Gebiet sichere Anzeichen von Zusammenschub und von Zerrung beobachten können. Hieraus folgert der eine als Ursache der gebirgsbildenden Vorgänge Kompression, während der andere auf Zerrung schließt.

Das gemeinsame Auftreten von Pressungs- und Dehnungsstörungen, das im Gegensatz zu der in Lehrbüchern vertretenen Ansicht¹⁾ tatsächlich sehr häufig ist und das kinetisch so gegensätzlich erscheint, gehört geologisch oft eng zusammen, wie ich dies schon früher hervorgehoben habe. Oft geht es auf einfache, in vielen Fällen aber auf wiederholte Störungen zurück. Solche sind einerseits seit altersher bekannt — ich erinnere in dieser Beziehung nur an die Ganggebiete, in denen jedem Bergmann und Geologen ein wiederholtes Aufreißen der Gangspalten durchaus geläufig ist —, andererseits ist es sehr merkwürdig, daß sie oft nicht erkannt werden und daß häufig ihre Existenz überhaupt bestritten wird. Während z. B. v. KOENEN von einer herzynischen und einer rheinischen Dislokationsphase spricht, von denen die rheinische jünger sein soll, wird diese Meinung neuerdings von vielen Bearbeitern Mitteldeutschlands bestritten, und man hält sie vielfach für abgetan. Wir werden sehen, daß, obwohl Störungen herzynischer (nordwestlicher) und rheinischer (nordnordöstlicher) Richtung gleichaltrig sein können, die v. KOENENSche Meinung durchaus aufrechterhalten werden muß. Da durch mehrfache Dislokationen das tektonische Bild unter Umständen sehr verwirrt wird,

¹⁾ Siehe E. KAYSER, Allgemeine Geologie, 5. Auflage, S. 871, Abs. 2. Vgl. aber auch ebendort S. 876, Abs. 2!

so ist es verständlich, daß so verschiedene Meinungen und Deutungen geäußert werden können. Um sich aus dem oft recht komplizierten Bau in solchen Gebieten herauszufinden, genügt nicht immer allein Kartierung über Tage, sondern diese muß, wenn irgend möglich, durch detaillierte Untersuchung und Kartierung von Grubenaufschlüssen ergänzt werden. Weiterhin müssen die tektonischen Einzelbeobachtungen unter Berücksichtigung der regionalen Vorgänge betrachtet werden und zuletzt — und nicht zum wenigsten — ist es notwendig, die heutigen Ansichten über Gebirgsbildung zu revidieren, da mit einer auf der Kontraktions-theorie basierten Meinung nicht mehr gearbeitet werden kann und auch die isostatische Lehre keine befriedigende Erklärung für die Entstehung aller tektonischen Formen gibt.

I. Stauung und Zerrung durch einmalige Störung.

Von Gebirgsbewegungen, die gleichzeitig Zusammenschub und Zerrung verursachen, ist am bekanntesten die bei Faltung in den oberen Sattel- und unteren Muldentteilen eintretende Zerrung. In vielen Fällen wird dadurch in den Sätteln ein Einsturz von jüngeren Schichten hervorgerufen, wie dies sehr häufig beschrieben worden ist. Ein uns naheliegenderes Beispiel, bei dem die Sattelflügel stark gegeneinander verschoben sind, sind gewisse Teile des Bereichs der Osningüberschiebung, die uns besonders durch STILLE gut bekannt geworden ist. Hier finden sich in dem stark zusammengeschobenen Röt häufig Muschelkalk und Keuperfetzen eingelagert. Diese eingestürzten Stücke zeichnen sich, wie nicht anders zu erwarten, durch unregelmäßige Lage und vom Generalstreichen sehr abweichende Richtung aus. Gleich hier will ich hervorheben, daß unregelmäßiges Streichen oft ein wichtiges Indicium für Zerrung (Zerfall, Lockerung) ist. Anders zu deuten, als diese in Zerrspalten regellos eingebrochenen Hangendschichten, sind die ebenfalls in der Osning-Überschiebungzone auftretenden, oft kilometerlangen und gleichmäßig streichenden schmalen Streifen jüngeren Gebirges zwischen älterem (z. B. Jura zwischen Keuper). Diese sind entweder bei der in mehreren Schuppen erfolgten Überschiebung zurückgebliebene Blätter, oder möglicherweise so entstanden, wie die weiter unten besprochenen schmalen Störungszonen, die sich bei oszillierenden Vertikalbewegungen bilden. —

Ein Beispiel durch ungleichmäßigen Lateraldruck hervorgerufener Torsion und dadurch verursachter gleichzeitiger Stauung und Zerrung hat uns SEIDL²⁾ vom Graf-Moltke-Schacht bei Schönebeck bekanntgemacht, wo nach seiner Deutung zwei Schollen derartig gegeneinander verworfen sind, daß sie in einem Teil übereinandergeschoben, in einem anderen auseinandergezerrt wurden.

Ich habe schon früher darauf aufmerksam gemacht³⁾, daß, während bei Faltung im Querprofil eine Stauung erfolgt, im Längsprofil häufig eine Zerrung eintritt, und zwar dadurch, daß die einzelnen Teile der Falten nicht immer gleichmäßig weit ausgefaltet werden, so daß die Faltenachse eine mehr oder weniger gewellte Linie darstellt. Wenn das gefaltete Material spröde ist, so muß zum Ausgleich der im Längsprofil erfolgenden Zerrung das Gestein zerbrechen, und dies geschieht dann mit Dehnungsverwerfungen, also an Sprüngen. Bei weitergehender Faltung kommt es zu beiden Seiten der Sprünge häufig zu verschiedenartiger Ausformung der Falten⁴⁾. Auch im Faltenquerprofil, das im ganzen Stauung zeigt, finden wir oft Streckung der Faltschenkel, wie dies häufig beschrieben worden ist.

Die besprochenen Fälle des Zusammenauftretens von Zerrung und Stauung sind nur lokale Erscheinungen, es sind Begleiterscheinungen der Kompression. Sie haben daher keine regionale Bedeutung, und man darf bei ihrem Auftreten nicht etwa auf Zerrung als Ursache bei der Gebirgsbildung schließen.

Es gibt aber nicht nur lokale, sondern auch regionale Vorgänge, durch welche gleichzeitig Stauung und Zerrung hervorgerufen werden. Um richtig verstanden zu werden, muß ich hier ganz kurz, soweit es im Augenblick

2) E. SEIDL, Beiträge zur Morphologie und Genesis der permischen Salzlagerstätten Mitteldeutschlands. Diese Zeitschr. 65, 1913, S. 127, u. ders., Die permische Salzlagerstätte im Graf-Moltke-Schacht. Arch. f. Lagerstättenforsch., Heft 10, Berlin 1914. Nach SEIDLs Grundrissen und Profilen würde ich auf eine Durchkreuzung der herzynischen und der rheinischen Faltung schließen. Ich komme nach Befahrung der Aufschlüsse an anderer Stelle auf SEIDLs Deutung zurück.

3) HAARMANN. Die Ibbenbürener Bergplatte, ein „Bruch-sattel“, BRANCA-Festschr., 1914, S. 351 und Über den geologischen Bau Nordwestdeutschlands. Diese Zeitschr. 66, 1914. Monatsber. S. 360.

4) Vgl. HAARMANN, a. a. O. Diskuss.-Bemerk. S. 370.

für meine Ausführungen nötig ist, meine Auffassung über Gebirgsbildung darlegen, die auf Gedanken von C. F. NAUMANN⁵⁾, REYER, BERTRAND, v. RICHTHOFEN, A. PENCK, u. a. basiert und im Gegensatz steht zu Vorstellungen, die auch ich hierüber in Übereinstimmung mit anderen bisher gehegt habe, Vorstellungen, die auf der Kontraktionstheorie aufbauen und die noch heute eine so große Verbreitung haben. Meine jetzige Auffassung ist schon in einer Notiz über die tektonische Geschichte Mexikos niedergelegt⁶⁾ und ich behandle sie ausführlich in einer noch unveröffentlichten Arbeit („Die Oszillationstheorie, ein Erklärungsversuch der Gebirgsbildung“).

Ich nehme an, daß alle Gebirgsbildung unmittelbar oder mittelbar auf senkrechte Bewegungen — Hebungen und Senkungen — im Untergrunde der Erdkruste zurückgeht, und zwar auf Vertikalbewegungen, die von oberflächlichen horizontalen Massenverlagerungen wohl gefördert oder gehemmt werden können, in der Hauptsache aber unabhängig von diesen durch senkrechte Bewegungen des Untergrundes der Erdkruste verursacht werden. Faltung und Schollenbildung sind nur Begleit- und Folgeerscheinungen dieser senkrechten Bewegungen, indem durch diese, beispielsweise in Geosynklinalen, Teile der Erdkruste in eine schiefe Lage kommen und dann, zusammenrutschend, abgleiten, oder aber, bei geringerer Intensität des Vorgangs, nach den Senkungsgebieten hin sich seitlich zusammendrücken. Der Zusammenschub wird durch eine Zerrung im Rücken des Kompressionsgebietes kompensiert. Dadurch erklärt sich teilweise das so häufig im Rücken der Gebirge befindliche Bruchgebiet und die gerade dort besonders oft auftretenden vulkanischen Erscheinungen. Ihre heutige Höhenlage haben die Faltengebirge nicht durch die Faltung, sondern durch spätere Hebung erhalten. Faltung bedeutet an sich keine Hebung, und nicht jedes, selbst intensiv gefaltete Gebiet braucht ein geographisches Gebirge gebildet zu haben; die starke Faltung der Karbonschichten Westfalens zum Beispiel beweist nicht die Existenz „paläozoischer Alpen“ in jenem Gebiete.

Ähnliche Verhältnisse wie im Faltengebirge finden wir auch im Bruchfaltengebirge („Stauungs-Schollengebirge“).

⁵⁾ Lehrbuch der Geognosie, 1849, I, S. 991 f.

⁶⁾ HAARMANN, Zur tektonischen Geschichte Mexikos, Centralbl. f. Min. 1917, S. 176—179.

So sehen wir beispielsweise im mittel- und norddeutschen Bruchfaltenlande im Tiefsten des Niedersächsischen Beckens, wohin der Zusammenschub stattgefunden hat, und an seinem Hange Kompression, während wir südlich davon am oberen Rande dieses Beckens eine Auseinanderzerrung der Schichten und gerade hier vulkanische Erscheinungen beobachten können. Ich bin also nicht der Meinung STILLES⁷⁾, welcher die Tektonik sowohl Niederhessens als auch Nordhannovers durch Lateraldruck zu erklären sucht und in diesen Gebieten Beispiele für seine injektive Faltung sieht, wobei er die aufgepreßten nordhannoverschen Salzstöcke als ejektiv und die niederhessischen Gräben als dejektiv gefaltet ansieht. Für mich ist das südhannoversch-niederhessische Grabengebiet das den Zusammenschub des Beckeninnern und des Beckenhangs kompensierende Zerrgebiet. Ein solches hat uns GRUPE⁸⁾ auf einer schönen tektonischen Übersichtskarte des Sollings dargestellt. Diese zeigt in typischer Weise Dehnungsstörungen (Gräben). Es ist, als ob die einzelnen Schollen der flachlagernden Buntsandsteinplatte unter Bildung von Kastenbrüchen auf gleitender Unterlage (dem Salzgebirge) auseinandergeschwommen wären. Die Ränder der Schollen, zwischen welche jüngere Schichten eingesunken sind, um so den entstandenen Raumüberschuß (= Materialmangel) zu kompensieren, streichen nach allen Richtungen. Dieses Auseinanderschwimmen der Buntsandsteinplatte am oberen Rande des Niedersächsischen Beckens geschah im Ausgleich zu dem mehr nach dem Beckeninnern zu erfolgten Zusammenschub, wie ich dies schon oben erklärt habe.

Sehr wichtig ist die Untersuchung der Zerrungs- und Pressungserscheinungen, die bei Senkung entstehen. Über weichender Unterlage bricht das han-

⁷⁾ H. STILLE, Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen. Geol. Rundsch. VIII, 1917, S. 89—142. STILLE hat hier einen Gedanken ausgebaut, wie ich ihn (BRANCA-Festschr., 1914, S. 370) folgendermaßen ausdrückte: „ Hebungen und Senkungen, das sind in meinem Sinne bei Bruchfaltung: Faltung und Auspressung von Faltenteilen in den Bruchsätteln (nach oben) und in den Bruchmulden (nach unten). Dabei wiegt meistens in den einzelnen Gebieten Hebung oder Senkung vor.“ Auch DE MARGERIE und HEIM, TORNUST und WALTHER haben ähnliche Ansichten ausgesprochen.

⁸⁾ O. GRUPE, Präoligocäne und jungmiocäne Dislokationen und tertiäre Transgressionen im Solling und seinem nördlichen Vorlande. Jahrb. Kgl. Preuß. Geol. Land. f. 1908, XXIX, Teil I, Taf. 16.

gende Gebirge herein, und die herrschende Vorstellung ist wohl die, daß es dabei zu einem Zerfall, einer Lockerung kommt, daß also Senkungs- und Einbruchsfelder Zerrungsgebiete sind. Das ist auch im großen richtig, jedoch zeigen sich lokal so wichtige Besonderheiten, daß sie bei nicht genügender Kenntnis der Vorgänge zu gänzlich falscher Deutung führen müssen.

Bei der großen Bedeutung, welche der Gebirgs-einbruch über weichender Unterlage für meine Auffassung über Gebirgsbildung hat (vgl. oben), lag es mir nahe, die dabei entstehenden Störungsformen mit denjenigen zu vergleichen, die sich bei den durch Bergbau veranlaßten Bodensenkungen bilden. Die Entstehungsbedingungen sind in beiden Fällen durchaus gleichartig und so mußte ein Vergleich beider wichtige Aufschlüsse geben. Meine diesbezüglichen Arbeiten, die sich vornehmlich auf die Literatur stützten, sind inzwischen überholt worden durch einige wichtige Arbeiten K. LEHMANN⁹⁾, der seine Untersuchungen auf ein weit reicheres Tatsachenmaterial stützt, als es mir zur Verfügung stand. Seine Beobachtungen sind mir eine wertvolle Bestätigung meiner Ansichten, wenn ich auch seinen Folgerungen nicht durchweg beipflichten kann. Die bei Bodensenkungen infolge Abbaus entstehenden Verhältnisse werden durch Fig. 1 wiedergegeben. Wie man sieht, findet im oberen Teil der durch die Senkung hervorgerufenen Einmuldung (Fig. 1 bei a) eine Pressung, im unteren wesentlich Auflockerung statt: auch durch diese großartigen Experimente am natürlichen Objekt wird also der Zusammenschub nach dem Beckeninnern zu bestätigt. Die Stauung im oberen Teil der Einmuldung wird seitlich kompensiert durch Zerrungstreifen, welche die Mulde beiderseits begleiten bzw. ein Becken rings umziehen. In den Zerrungszonen kommt es zu lokalen Aufpressungen über das ursprüngliche Niveau (Fig. 1 bei b), die 5—7% der gesamten Senkung betragen können, ähnlich wie wir dies aus Dehnungsschollengebirgen seit langem kennen^{9a)}. Bei Boden-

⁹⁾ K. LEHMANN, Bewegungsvorgänge bei der Bildung von Pingen und Trögen. Glückauf 1919, S. 933—942. Das tektonische Bild des rheinisch-westfälischen Steinkohlengebirges. Glückauf 1920, S. 1—6, S. 21—27 und S. 41—49. Das rheinisch-westfälische Steinkohlengebirge als Ergebnis tektonischer Vorgänge in tektonischen Trögen. Glückauf 1920, S. 289—293.

^{9a)} Vgl. z. B. A. v. KOENEN, Über postglaciale Dislokationen. Jhrb. Preuß. Geol. Land. f. 1886, S. 6f. Bei anderer Gelegenheit gehe ich näher auf diese Erscheinungen ein.

senkungen finden nicht unbeträchtliche **Horizontalverschiebungen** statt.

Geologisch ist noch bemerkenswert, daß die Ränder des gestörten Gebiets über den Senkungsherd hinausgreifen, und zwar mit zunehmender Tiefe immer weiter, wie aus den **Grenzwinkeln** ersichtlich ist, durch welche die **letzten Störungsspuren** der Senkung bezeichnet werden. Zeitlich erfolgen im allgemeinen die Senkungen im Innern der Mulde zuerst, um sich dann von dort je nach Tiefe des Senkungsherdes und nach der Gesteinsbeschaffenheit nach den Rändern hin fortzupflanzen. Das Pressungsgebiet im oberen Teil

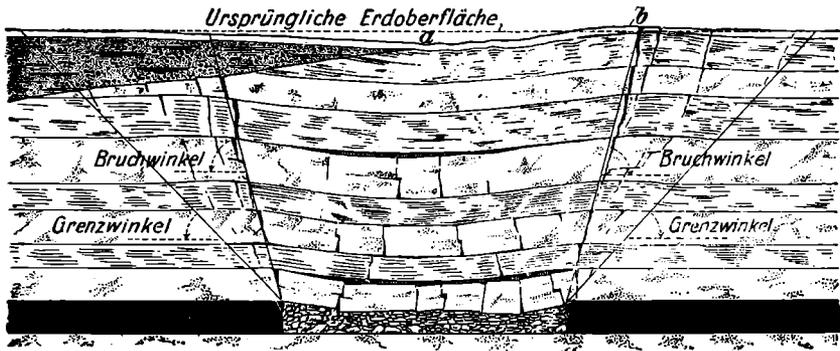


Fig. 1. Bodensenkungen infolge Bergbaus.
Aus HEISE-HERBST, Bergbaukunde I, 4. Aufl.

der Einmündung ist also zunächst sehr klein, wird natürlich auch dann schon von Zerrungszonen begleitet, diese werden bei fortschreitender Einsenkung gepreßt, so daß also das Gebiet zwischen dem Muldeninnersten, das nur gepreßt wurde, und den äußeren Rändern, die nur gezerzt wurden, zunächst eine Zerrung und dann eine Stauung über sich ergehen lassen mußte. Es sind das Vorgänge, die wir bei den Erklärungen unserer Naturbeobachtungen sehr berücksichtigen müssen; unter anderem werden sie auch zur richtigen Deutung des nord- und mitteldeutschen Bruchfaltengebirges beitragen.

II. Stauung und Zerrung durch wiederholte Störungen.

Zusammenschub und Zerfall treten häufig auch in ein und demselben Gebiete auf, ohne daß sie auf nur einen Vorgang zurückgeführt

werden könnten. Das auffälligste Beispiel hierfür sind die in Faltengebirgen auftretenden Gangzonen, die Zerfall, Zerrung bedeuten. Hier müssen wir zwei zeitlich getrennte Vorgänge annehmen; es geht nicht an, daß wir Faltung und Bildung von Tiefspalten auf Lateraldruck zurückführen, wie dies z. B. H. CREDNER¹⁰⁾ (mit vielen anderen) tat. Während die Faltung zumeist nach starker Senkung und dadurch ermöglichter Sedimentation submarin oder wenigstens unter dem Niveau des Meeresspiegels vor sich ging, erfolgt der mit der Gangbildung verbundene Zerfall der Schichten nach relativer Hebung eines (gefalteten oder ungefalteten) Blockes. Ich habe diese Verhältnisse für Mexiko dargestellt¹¹⁾; gleiche Erscheinungen finden wir aber auch in zahlreichen anderen Ganggebieten, wie z. B. im Siegerland, im Harz, und auch die Quersprünge in Faltengebirgen, soweit sie nicht primär bei der Faltung entstanden sind, gehören hierher.

Aber nicht nur, wo Zusammenschub und Zerrung auftreten, sondern auch dort, wo im wesentlichen nur eine dieser Erscheinungen vorhanden ist, finden wir häufig Beweise für wiederholte Schichtenstörungen.

Wiederholte Zerrung ist oft nicht ohne weiteres nachzuweisen. Selbst wenn ein Gebiet nur ein Mal von Dehnungsstörungen betroffen worden ist, so können die allerverschiedensten Richtungen auftreten, ganz ähnlich, wie wir das bei lokaler Zerrung, die bei Faltung eintritt, schon oben gesehen haben. Ein gutes Beispiel hierfür sind die angeführten Sollinggräben. In manchen Fällen freilich finden wir auch bei Zerrung ein stetigeres Streichen der Störungen, nämlich dann, wenn der den Zerfall verursachende Höhenunterschied zweier benachbarter Krustenteile sehr groß war. Die Abklüftungen erfolgten dann in dem höher gelegenen Teile zonenweise, in mehr oder weniger parallelen Spalten, wobei aber die einzelnen Klüfte, wie wir das von dem Verhalten der Gänge sehr gut kennen, sich scharen, zerteilen oder ganz zerschlagen mögen. In solchen Fällen schärfer ausgeprägten Streichens von Störungszonen kann man ihr Alter nach ihrer Richtung unterscheiden, wobei der Verwurf des einen durch das andere System Fingerzeige für das relative Alter gibt.

¹⁰⁾ H. CREDNER, Über das erzgebirgische Faltenystem. Vortrag, Dresden, 1883, S. 3 u. 8.

¹¹⁾ HAARMANN, Zur tektonischen Geschichte Mexikos. Centralbl. f. Min., 1917, S. 178 f.

Auch verschiedene Füllung von Spalten kann bei der Feststellung der Altersverhältnisse helfen.

Lange bekannt sind weiter die Sprungkreuzungen, von denen besonders G. KÖHLER schöne Darstellungen gibt. Bei mehrfachen Vertikalbewegungen geben die Schollen oft schmale Streifen und Stücke gegeneinander ab, die dann als kleine Gräben und Horste zwischen oft weithin regelmäßig gelagerten Schichten erscheinen. Eine dankenswerte Beleuchtung dieser Verhältnisse hat uns CLOOS¹²⁾ in einer Arbeit gegeben, der ich in allen wesentlichen Punkten beistimme. Wir hatten gesehen, daß wir für die Entstehung des nord- und mitteldeutschen Bruchfaltenlandes im großen wohl ein Kompressionsgebiet (im Innern des niedersächsischen Beckens) und ein dieses kompensierendes Zerrungsgebiet (an den Beckenrändern) unterscheiden können. Im einzelnen aber müssen wir zur Erklärung der tektonischen Formen differentielle und oszillierende Vertikalbewegungen heranziehen. Das ist besonders bei den Kleinschollen der Fall, die durch schmale „Horst-Graben-Zonen“ getrennt sind.

Ergänzend bemerke ich zu den Ausführungen von Cloos, daß solche bei dem Auf und Ab der Schollen an ihren Rändern entstehenden schmalen Störungszonen nicht nur durch „Sprungkreuzungen“, also durch wiederholte Dehnungsverwerfungen zustande kommen können, sondern ganz ebenso durch wiederholte Kompressionsverwerfungen, oder auch, was häufig der Fall ist, durch Kreuzung von Sprüngen und inversen Verwerfungen. Fig. 2 zeigt die Wirkung sich kreuzender Pressungsverwerfungen, wobei sehr einfache Verhältnisse angenommen sind. Liegen die Schichten nicht so flach, sondern fallen sie steiler ein und sind sie mehr oder weniger verdrückt, so kompliziert sich das Bild bedeutend. Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, entstehen Horste (Fig. 2 b, Horizontalschnitt 3) und Gräben (Horizontalschnitt 1), die teilweise unmittelbar nebeneinander auftreten (Horizontalschnitt 2). Ähnliche Verhältnisse finden wir in Gebieten differentieller oszillierender Vertikalbewegungen, die in Kompressionsfeldern der Becken- oder Massivbildungen von Großschollen liegen. In den zu diesen Pressungsfeldern gehörenden Zerrungsgebieten finden wir dann das von Cloos besonders behandelte Auftreten von Dehnungsverwerfungen in schmalen Störungs-

¹²⁾ H. CLOOS, Zur Entstehung schmaler Störungszonen. Geol. Rundsch. VII, S. 41—52.

zonen. Ich bespreche an anderer Stelle diese Verhältnisse ausführlicher als es mir hier möglich ist, möchte aber noch hervorheben, daß ich keineswegs der bei CLOOS zitierten Auffassung von CHAMBERLIN und SALISBURY bin, die 90 % aller Verwerfungen zu den normalen, also zu den Dehnungsverwerfungen rechnen.

Aus vorstehenden Darlegungen geht hervor, wie schwierig bei dem heutigen Stande unseres Wissens die Konstruktion von Profilen solcher Schollengebirge ist, in

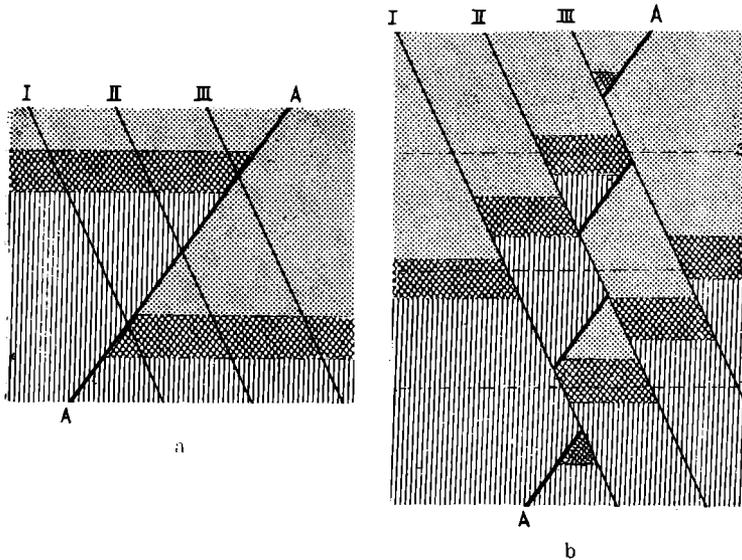


Fig. 2. Schematische Profile sich kreuzender Kompressionsverwerfungen.

denen schmale Störungszonen durch differentielle und oszillierende Vertikalbewegungen entstanden sind, wobei sich, je nachdem, ob man sich im Stauungs- oder im Dehnungsschollengebirge befindet, vorwiegend Kompressions- oder Zerrungsverwerfungen finden werden. Auch für Profilentwürfe ist eben in erster Linie wieder die Aufklärung der Position im geologischen Regionalbilde notwendig.

Durch wiederholte Vertikalbewegungen finden auch die Tiefseegräben eine ungezwungene Erklärung, tektonische Formen, die weder in den Rahmen der Kontraktionstheorie noch in den der isostatischen Lehre hineinpassen.

Wiederholte Faltung bei gleicher Richtung der beiden Faltungen ist dann leicht zu erkennen, wenn zwischen den Faltungen eine Periode der Abtragung liegt. Andernfalls ist der Nachweis wiederholter Faltung nicht immer möglich. In manchen Fällen sehen wir, wie nach einer gewissen Zusammenpressung die Falten an Überschiebungen zerreißen, wie wir das z. B. im westfälischen Karbon beobachten können. Eine der bedeutendsten Überschiebungen ist der Sutan, der bis 2000 m flache Verwurfshöhe hat. Ob die Bildung der Prä-Sutan-Falten, des Sutans und der Post-Sutan-Faltung einen kontinuierlichen oder einen periodischen Vorgang darstellt, können wir aus den Lagerungsverhältnissen nicht entscheiden.

Andere, sehr interessante Verhältnisse entstehen, wenn beide Faltungen verschiedene Richtungen haben. Die alsdann auftretenden Formen sind sehr verschiedenartig und hängen ab von der Intensität der Faltung und von der Beschaffenheit der von ihnen betroffenen Gesteine. Ist das Gestein spröde, so ist die Querfaltung von Schichtenzerreißen begleitet, und zwar (da es sich um einen Zusammenschub handelt) von Kompressionsverwerfungen. Es sind dies also entweder inverse Verwerfungen die quer, oder Horizontalverschiebungen, die parallel zur ersten Faltungsrichtung streichen. Finden wir als Querstörungen zur ersten Faltung keine Kompressions-, sondern Dehnungsverwerfungen (Sprünge oder Gänge), so zeigt uns dies, daß sie nicht durch einen späteren, quer zum ersten gerichteten Zusammenschub entstanden sein können. Es handelt sich vielmehr alsdann entweder um eine mit der ersten Faltung entstandene Quereinsattelung, wie oben beschrieben, oder um eine Querzerstückelung des Faltenbaus durch Zerfall, also um eine durch spätere Hebung hervorgerufene allgemeinere Auflockerung, die an anderer Stelle durch Stauung ausgeglichen wird. Wenn durch die erste Störungsphase sehr verschiedenartige Gesteine in ein Niveau gebracht worden sind, wie dies bei Bruchfaltung oft dann der Fall ist, wenn sie durch differentielle Vertikalbewegungen kompliziert wird, so kann eine durchgreifende Ausfaltung im Sinne des zweiten Zusammenschubs nicht überall erfolgen. Die jüngere Kompression gleicht sich alsdann oft in Verschiebungen aus, die man an den Randspalten der widerstandbietenden Horste vielfach erkennen kann. Ich habe solche herzynisch streichenden, also auf „rheinischen Druck“ zurückgehenden Geschiebe (mit horizontalen Rutschstreifen) an den Rändern

der Ibbenbürener Bergplatte nachgewiesen¹³⁾ und auch an Randspalten des Thüringer Waldes analoge Beobachtungen gemacht. Querstauung äußert sich oft auch in Überschiebungen, wie ich solche aus den Weißjuraquarziten des Geln bei Üffeln (Nordflügel des Piesbergsattels) beschrieben habe¹⁴⁾.

Ein relativ bruchloses Faltengitter¹⁵⁾ entsteht, wenn die Faltung nicht zu intensiv ist oder die Gesteine relativ plastisch sind. Eine derartige Faltenvergitterung habe ich bei Untersuchungen beobachtet, die ich gemeinschaftlich mit Herrn HARBORT in Katalonien machte. Dort sah man in den meist sehr flach in ostnordöstlicher Richtung gefalteten Oligocänschichten des Ebro-Beckens häufig schwach nordnordöstlich streichende Falten, deren Achsen in den durch die erste Faltung geneigten Schichtebenen verliefen. Nach meiner Rückkehr sehe ich, daß diese Verhältnisse für das Gebiet der Pyrenäen schon eingehend von ROUSSEL^{15a)} beschrieben worden sind. Die Übersichtskarte der Falten reicht bis ins Ebro-Becken hinunter und bestätigt durchaus das Auftreten der von mir dort beobachteten Faltenvergitterung. Die Querfalten der Pyrenäen finden ihre nördliche Fortsetzung in den Monts Corbières und weiterhin im Pariser Becken^{15b)}. Schon hieraus erkennt man, daß es sich bei Faltenvergitterung nicht um eine gelegentliche Lokalerscheinung, sondern um ein Phänomen von regionaler Bedeutung handelt. In der Bretagne hat BARROIS^{15c)} Faltdurchkreuzung nachgewiesen.

¹³⁾ HAARMANN, Die Ibbenbürener Bergplatte, ein „Bruch-sattel“. BRANCA-Festschr., 1914, S. 347 f. Vgl. hierzu auch unten Figur 3.

¹⁴⁾ HAARMANN, ebenda, S. 348 u. Fig. 9 u. 10.

¹⁵⁾ vgl. auch O. AMPFERER, Über den Wechsel von Falt- und Schubrichtungen beim Bau der Faltengebirge. Verh. d. K. K. geol. Reichsanst. 1915, S. 163—167. Über Faltdurchkreuzung in den Alpen siehe weiter: TH. LORENZ, Monographie des Fläscherberges. Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz, N. F. X., 1900, und die dort S. 60 angegebene Literatur.

^{15a)} JOSEPH ROUSSEL, Étude stratigraphique des Pyrénées. Bull. Serv. Carte Géol. de la France, Bd. V, 1894. Vgl. besonders S. 66 f und die schematische Übersichtskarte der Falten Taf. III. Fig. 5.

^{15b)} M. BERTRAND, Sur la continuité du phénomène de plissement dans le bassin de Paris. Bull. Soc. Géol. de France, 3. Serie, Bd. 20, 1892, S. 118—165.

^{15c)} CHARLES BARROIS, Le Bassin du Ménez-Belair, Annales Soc. Géol. du Nord, XXII, 1894, S. 181—352. Siehe S.253 ff., S. 263 unten ff. und S. 331 ff.

In Deutschland wurde die Vergitterung der zum carbonisch-permischen Dislokationszyklus gehörenden, niederländisch und herzynisch gerichteten Faltungen u. a. behandelt von LOSSEN^{15d)}, LORETZ^{15e)}, E. ZIMMERMANN I^{15f)} und BRANDES^{15g)}.

Über die Kreuzung der herzynisch und rheinisch streichenden Faltungen des kretazisch-tertiären Dislokationszyklus findet man Angaben bei FRANTZEN^{15h)}, PROESCHOLDT¹⁵ⁱ⁾ und besonders hat v. KOENEN^{15k)}, wie schon erwähnt, darauf hingewiesen, daß wir ein älteres herzynisches und ein jüngeres rheinisches Störungssystem unterscheiden müssen. Dagegen hält STILLE^{15l)} beide Faltungen für gleichzeitig. Ich gehe weiter unten auf tektonische Formen ein, welche diese im Salzgebirge hervorgerufen haben; auch weniger plastische Schichten haben aber die Wirkungen beider Dislokationsrichtungen bewahrt. So findet man ihre Durchkreuzung auf Blatt Heiligendorf (Lief. 185), wo ein flacher herzynischer Sattel von einer sich nach N heraushebenden rheinischen Mulde abgeschnitten wird. Die Vergitterung der Faltungen im Salzgebirge des auf demselben Blatt liegenden Einigkeit-Salzstocks ist uns längst (1911) durch STILLE bekannt

^{15d)} K. A. LOSSEN, Geologische und petrographische Beiträge zur Kenntnis des Harzes, II. Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1881, S. 1—50.

^{15e)} H. LORETZ, Zur Beurteilung der beiden Hauptstreichrichtungen im südöstlichen Thüringer Walde, besonders in der Gegend von Gräfenthal. Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1885, S. 84—104.

^{15f)} E. ZIMMERMANN I, Erläuterungen zu Blatt Hirschberg a. d. Saale, Berlin 1912.

^{15g)} TH. BRANDES, Die varistischen Züge im geologischen Bau Mitteldeutschlands, N. J. f. Min. Beilagebd. XLIII, 1919, S. 190—250.

^{15h)} W. FRANTZEN, Die Störungen in der Umgebung des Großen Dolmars bei Meiningen, Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1880, S. 106—130.

¹⁵ⁱ⁾ H. PROESCHOLDT, Die Marisfelder Mulde und der Feldstein bei Themar. Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1882, S. 190—218. DERS. Über gewisse nicht hercynische Störungen am Südwestrand des Thüringer Waldes, Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1887, S. 332—348.

^{15k)} Vgl. die Arbeiten v. KOENENS in den ersten Bänden des Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst., z. B. Jahrb. f. 1883, S. 194.

^{15l)} H. STILLE, Der Untergrund der Lüneburger Heide und die Verteilung ihrer Salzvorkommen. 4. Jahresber. d. Niedersächs. geol. Ver. f. 1911, S. 281 unten f. Siehe auch DENS., Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen. Geol. Rdsch., VIII, 1913, S. 97, Fig. 4.

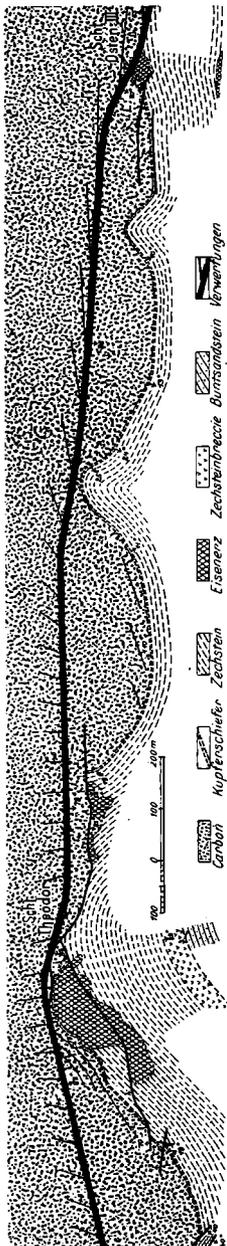


Fig. 3. Kreuzung herzynischer und rheinischer Falten am Südrande der Ibbenbürener Bergplatte. Zeche Friedrich-Wilhelm, Permerstollensohle.

gemacht worden. Weiter erinnere ich an die Richtungsänderung des Wiehengebirges bei Preußisch-Oldendorf und Lübbecke und die Änderungen im Verlaufe der Piesbergachse westlich vom Piesberg am Dütetalbruch bei Wersen und östlich vom Piesberg am Astruper Tertiär¹⁶⁾. Diese Richtungsänderungen und die nördlich oder nordöstlich gerichteten Bruchzonen erkläre ich als rheinische Querstörungen, über deren südliches Fortstreichen vielleicht die Kartierungen im Osning Aufschluß geben werden. Ein schönes Beispiel von Gitterfaltung ist durch die Aufschlüsse der Eisensteingrube Friedrich-Wilhelm am Südrande der Ibbenbürener Bergplatte aufgeschlossen. Hier ist, wie Fig. 3 zeigt, der zunächst herzynisch (ost—westlich) gefaltete Zechstein auch rheinisch gefaltet, was besonders gut an dem Verlauf des Kupferschiefers zu erkennen ist. Dieser ist zu drei rheinisch streichenden Falten zusammengeschoben worden, von denen die westliche am bedeutendsten und die östliche am kleinsten ist. Die Zusammenschiebung mitsamt einem schmalen Karbonstreifen hat entlang einer mächtigen mit Ton ausgefüllten Verwerfung stattgefunden, die schon mit dem herzynischen Zusammenschub entstanden ist. Sie bildete für die rheinische Pressung eine willkommene Gleitfläche, die den Ausgleich vermittelte zwischen dem

¹⁶⁾ HAARMANN, Die geologischen Verhältnisse des Piesbergsattels bei Osna-brück, Jahrb. Preuß. Geol. Land., XXX, I, S. 31, 33 u. Taf. 1.

leichter zusammenpreßbaren südlichen und dem widerstandleistenden nördlichen Teil, welcher das aus festen Karbonschichten bestehende Massiv der Ibbenbürener Bergplatte bildet. Die Ost—West streichende Verwerfung ist von der rheinischen Faltung leicht mit verbogen worden und zwar liegen die zu den beiden westlichen Falten gehörigen Biegestellen etwas westlich der Zechsteinfaltenscheitel: nach einer leichten Faltung des Gebirges einschließlich der Randverwerfungen wurde der leichter kompressible Südteil stärker zusammengedrückt und durch den von W wirkenden Schub weiter nach O gedrückt.

Die verschieden gerichteten Dislokationen haben die Schichten gelegentlich auch in der Weise zusammengeschoben, daß kuppelförmige Antiklinalen (quaquaversal oder dome structure) zustande kamen, so bei manchen Salzstöcken, am Teutoburger Walde usw. Ein schönes, gut aufgeschlossenes Beispiel für Kuppelbau bietet der aus Wellenkalk bestehende östliche Teil des Westerberges bei Osnabrück, den ich auf manchen Exkursionen zu zeigen Gelegenheit hatte. Gerade umlaufendes Streichen hat manche Beobachter veranlaßt, die Existenz zweier Faltungen zu bestreiten: sie haben gemeint, diese würden zwei ihnen entsprechende, und nicht alle möglichen Streichen hervorrufen und gerade das Auftreten verschiedener, ineinanderübergender Streichrichtungen beweise das Vorhandensein nur einer Faltungsperiode. Mir scheint aber, daß Kuppelbau oder Trichterform (z. B. von Salzstöcken) nur durch zweifache Faltung, nicht aber durch einen einzigen Lateraldruck erklärt werden kann. Finden wir nur eine Kuppel, so könnte ohne nähere Kenntnis der betreffenden Gegend vielleicht eine Deutung als magmatische Auftreibung versucht werden. Der Westerberg aber z. B. gehört nach seiner tektonischen Position so in das Osnabrücker Bruchfaltenland hinein, daß er nicht für sich betrachtet werden kann. Eine solche Erklärung würde von vornherein dort als abwegig erscheinen, wo wir nicht einzelne Kuppeln, sondern ein ganzes System von Domen finden, die, wenn auch auf beschränktem Raume, ein Gebiet schachbrettartig zerteilen. BÖSE und ich¹⁷⁾ haben solche Erscheinungen aus Mexiko beschrieben und auch sonst ist aus Nordamerika Periklinalbau öfters bekannt gemacht worden.

¹⁷⁾ HAAERMANN, Geologische Streifzüge in Coahuila, Diese Zeitschr. 65, 1913, Monatsber., S. 37 f.

Die außerordentliche Wichtigkeit richtiger Deutung der durch Rasterfaltung geschaffenen Verhältnisse möchte ich noch an einem Beispiel erläutern. In einem Gebiet hatte ich durch ausgedehnte regionale Untersuchungen festgestellt, daß zwei etwa senkrecht zueinander verlaufende Faltungen nachzuweisen waren: die ältere hatte die Schichten in nordwestlich, die jüngere in nordöstlich streichende Falten gelegt. Eine nordöstlich streichende Antiklinale war stark ölführend, und es wurde die Frage gestellt, ob sie sich jenseits einer geographischen Unterbrechung in ein in ihrer Fortsetzung liegendes Gebiet fortsetze. An Ort und Stelle zeigte sich nördlich jenes zu untersuchenden Gebietes, wie erwartet, die ältere Faltung mit ihrem nordwestlichen Streichen, im Fortsetzungsbereich der Antiklinale zunächst nicht, wie erhofft, nordöstliches, sondern fast nord-südliches und etwa ost-westliches Streichen — Richtungen, die auf den ersten Blick gänzlich aus dem tektonischen Gesamtbilde fielen. Wenn man jedoch überlegt, daß nordwestlich verlaufende Schichten, je nachdem, ob sie südwestlich oder nordöstlich einfallen, durch nordöstliche Faltung in ein der Nordsüd- bzw. der Ostwestlinie angenähertes Streichen kommen, so erklären sich die beobachteten Richtungen einfach: sie gehen auf die Wirkung der jüngeren, nordöstlichen Faltung zurück. In später aufgefundenen Aufschlüssen jener durch dichte Tropenvegetation wenig übersichtlichen Gegend konnte ich dann, in Bestätigung meiner Überlegungen, nordöstlich streichende Schichten diskordant über den ost-westlich und den nord-südlich gerichteten beobachten. Mit einem Stück Papier oder mit den Händen kann man sich die geschilderte Wirkung wiederholter Faltung anschaulich machen, auch habe ich in Fig. 4 den

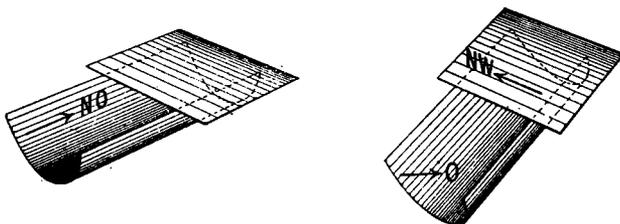


Fig. 4. Veränderung des Schichtenstreichens durch Querfaltung.

Versuch gemacht, eine Darstellung der Vorgänge zu geben. Es ist dort, wie man sieht, die nordöstliche Faltung die

ältere. Wird die nordöstlich streichende Mulde durch eine nordwestliche Faltung geneigt, so bekommt der nordwestliche Muldenflügel etwa ost-westliches, der südöstliche etwa nord-südliches Streichen. Man erkennt leicht, daß das resultierende Streichen in den erstgefalteten Schichten sehr abhängt von den Einfallswinkeln, die von der ersten und von der zweiten Faltung hervorgerufen werden. Durch Änderung dieser Einfallswinkel ist es möglich, jedes beliebige Streichen in den älteren Schichten zu erreichen, wie das tatsächlich auch beobachtet wird. Man sieht ohne weiteres die Bedeutung regionaler Untersuchungen sowie der Vertrautheit mit den durch wiederholte Störungen entstehenden Lageverhältnissen. Die Unkenntnis der wichtigen Tatsache, daß zwei sich kreuzende Faltungen von ganz bestimmter Richtung alle möglichen Schichtenstreichen hervorrufen können, hat oft zu Irrtümern Anlaß gegeben. Schon in unserem Bruchfaltengebirge hat man, wie schon erwähnt, das Auftreten der verschiedenen Streichrichtungen als Beweis gegen das Vorhandensein einer herzynischen und einer rheinischen Faltung ins Feld geführt, und in denselben Irrtum ist man, wie mir scheint, in Amerika verfallen. JONES¹⁸⁾ ist der Meinung, daß die Ölvorkommen im Appalachen- und im Mid-Continent-Bezirk sich im allgemeinen nicht den Strukturlinien anpassen, dagegen immer enge Beziehungen zu alten Küstenlinien zeigen. Die heutige Lage und Form der Ölvorkommen soll abhängen von Lage und Form der Lagunenablagerungen, denen sie ihre Entstehung verdanken. JONES stellt die Streichrichtungen der Längsachsen von größeren Ölvorkommen und der Antiklinalachsen wie in Fig. 5 vergleichsweise nebeneinander, womit er die Unabhängigkeit der Ölvorkommen von den Strukturlinien erweisen will. Ich bin dagegen der Meinung, daß die so sehr verschiedenen Streichrichtungen der Schichten vielleicht sehr wohl in der oben dargelegten Weise durch wiederholte Faltung verursacht sein können, eine Möglichkeit, die von JONES nicht geprüft worden ist. Ich werde in meiner Ansicht bestärkt, weil nach JONES¹⁹⁾ offenbar Gitterstruktur vorhanden ist. Auch die Darlegungen von JONES über den Mid-Continent-Bezirk, wo Dome auftreten, sind nicht über-

¹⁸⁾ WILLIAM F. JONES, The relation of oil pools to ancient shore lines. *Economic Geology*, XV, 1920, S. 81—87.

¹⁹⁾ JONES, a. a. O., S. 84, letzter Abs.

die Salzstöcke des hannoverschen Bruchfaltenlandes. Hier entstanden bei den gebirgsbildenden Vorgängen Spalten und Lücken und in diesen wurde das Salzgebirge ausgepreßt. Wegen der hohen Plastizität eines großen Teiles seiner Schichtglieder reagierte es aufs höchste auf den Gebirgsdruck und konservierte daher in schönster Weise dessen Wirkungen. In Gebieten herzynischer und rheinischer Kompression finden wir nun kennzeichnende Merkmale beider Faltungen. Dahingehende Beobachtungen habe ich seit vielen Jahren am Sarstedter Salzstock gemacht, ohne zu ihrer Veröffentlichung ermächtigt gewesen zu sein. Analoge Verhältnisse fand STIER²¹⁾ am Benther Salzstock und gab dazu eine schöne Beschreibung mit anschaulichen Figuren. Soweit ich heute über meine Beobachtungen berichten darf, zeigt das Salzgebirge im Bereich des Kaliwerks Glückauf-Sarstedt eine ausgeprägte herzynische Faltung, die in diesem Falle etwa ost-westlich gerichtet ist. Wie aus Fig. 6 zu ersehen ist, sind die Schichten zu steilen, ziemlich engen, fast isoklinalen Falten zusammengeschoben, die nach N überkippt sind. Im N ist das Salzgebirge von S her auf das jüngere Gebirge überschoben, so daß die Begrenzung des Salzstockes, ebenso wie das Salzgebirge, nach S einfällt. Im Salzstock selbst erkennt man im nördlichen Grubenfeld einen bedeutenden Sattel, in dem Älteres Steinsalz in breiter Zone heraustritt und südlich daran anschließend eine weite Mulde, die noch Roten Salzton und Jüngstes Steinsalz enthält. Im südlichsten Teil der Aufschlüsse kommt nochmals ein schmaler Sattel mit Älterem Steinsalz heraus, auf dessen Flanken das Hartsalzlager liegt, während der begleitende Salzton und Anhydrit hier ausgewalzt sind. Diese herzynisch streichenden Schichten sind nun in ihrem regelmäßigen Fortstreichen durch zwei rheinische Dislokationszonen gestört worden. Der rheinische, in west-östlicher Richtung wirkende Druck konnte das steil aufgerichtete und dadurch versteifte Salzgebirge nicht überall in seinem Sinne durchfalten. Die Faltung erfolgte daher teilweise derart, daß die Faltenachsen etwa innerhalb der aufgerichteten Schichtebenen verlaufen, also sehr steil stehen. Der Grundriß einer solchen rheinischen Falte, wie wir sie im westlichen Teil des Grubenfeldes sehen, bietet daher denselben Anblick, wie wir ihn sonst bei Falten-Profilen zu sehen gewohnt sind. Ob das Hartsalzlager in der angedeuteten, ungestörten Weise gefaltet

²¹⁾ K. STIER, Strukturbild des Benther Salzgebirges, 8. Jahresber. d. Niedersächs. geol. Ver., 1914, S. 1—14.

ist, steht dahin; es ist wahrscheinlich, daß es, wie der besser aufgeschlossene Sattelkern, mehrfach zerstückelt ist. Zu einer kleinen Zerreißung ist es bei der rheinischen Faltung an der östlichen Umbiegungsstelle dieser Falte gekommen. Dort sehen wir eine kleine, nach W einfallende Überschiebung; durch welche Hartsalz auf Salzton geschoben worden ist;

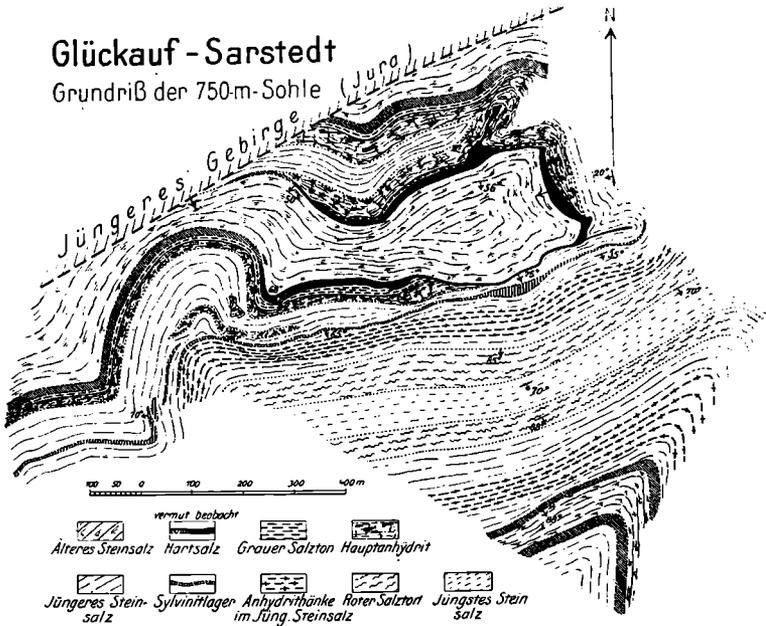


Fig. 6. Zwei rheinische Störungszone in herzynisch streichenden Schichten. Sarstedter Salzstock, nordwestlicher Teil.

sie zeigt deutliche Rutschstreifen und -wülste in der Falllinie. Eine zweite rheinische Störungszone finden wir im östlichen Teile des Grubenfeldes, wo sich der durch das Ältere Steinsalz gebildete Sattel schließt. Das Hartsalzlager läuft als geschlossenes Band um den Sattel, während Salzton, Anhydrit- und Sylvinitlager stellenweise ausgewalzt worden sind. Der Sattel wird durch eine rheinisch streichende Mulde abgeschnitten, deren Westflügel, wie mit dem Einfallzeichen angedeutet, überkippt ist. 200 Meter höher, auf der 550-m-Sohle, hat dieser Muldenflügel noch das normale Einfallen nach O; die Mulde ist also eine Fächerfalte, deren Ostschenkel noch nicht aufgeschlossen

ist. Begleiterscheinungen der jüngeren Störung sind die Verbiegung des nördlichen Flügels der herzynischen Antiklinale und der dort abgequetschte Hartsalzsattel, an dessen Begrenzung man durch horizontal, schräg und senkrecht gerichtete Rutschstreifen sehr schön feststellen kann, daß nicht nur eine Abquetschung in söhlicher Richtung erfolgte, wohin ja nur eine begrenzte Ausweichmöglichkeit bestand, sondern daß bei dieser Abquetschung auch eine Bewegung der Massen schräg und senkrecht nach oben stattgefunden hat, wie dies bei der im ganzen nach oben gerichteten Aufpressung des Salzgebirges nur zu erwarten ist. Im südlichen Teil des Grubenfeldes wird die Fortsetzung der rheinischen Störungszone nach S durch das zum Teil scharfe Umbiegen der Schichten gekennzeichnet.

Etwas weiter östlich der eben besprochenen Aufschlüsse, in der Richtung nach Fürstenhall zu, zeigt sich auf der 550-m-Sohle eine rheinische Störungszone, die durch den Verbindungsquerschlag der beiden Gruben in ausgezeichneter Weise aufgeschlossen worden ist; ich habe sie in Figur 7

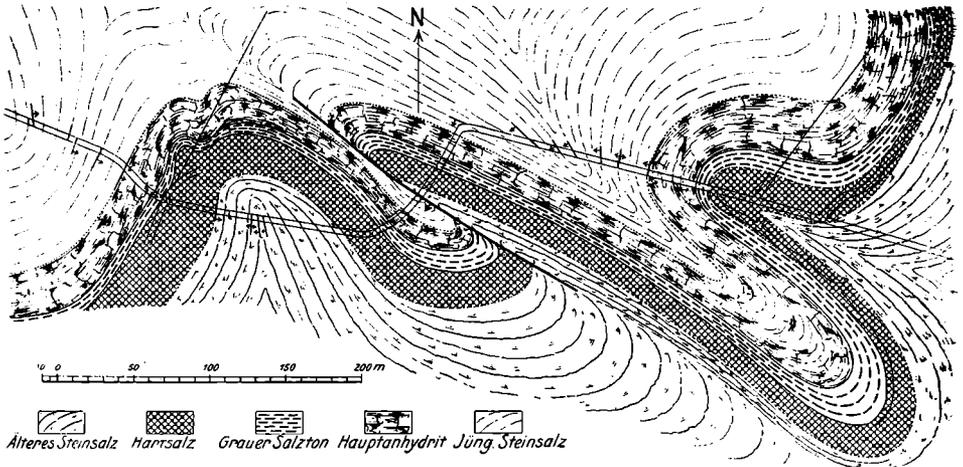


Fig. 7. Grundriß einer rheinischen Störung herzynisch steilgefalteter Schichten. Sarstedter Salzstock, Verbindungsquerschlag von Glückauf-Sarstedt nach Fürstenhall, 550-m-Sohle.

dargestellt. Hier sind die herzynisch streichenden Schichten, deren Richtung auf der linken Seite der Figur noch gerade angedeutet wird, durch rheinischen Druck zusammengestaucht und dabei ist es teilweise zu einer bruchlosen Faltung mit steil stehenden Faltenachsen gekommen. An

an einer Stelle jedoch sind bei dem Zusammenschub die Schichten zerrissen, was sich bei dieser Faltungsart als eine Verschiebung dokumentiert. Sie ist der analoge Vorgang, den man bei Faltung mit horizontal verlaufenden Faltenachsen als Überschiebung bezeichnet.

Endlich zeigt Figur 8 einen Teil des Grundrisses der 750-m-Sohle von Siegfried-Giesen (Südostecke des Sarstedter Salzstocks), in dem man wieder herzynisch streichende

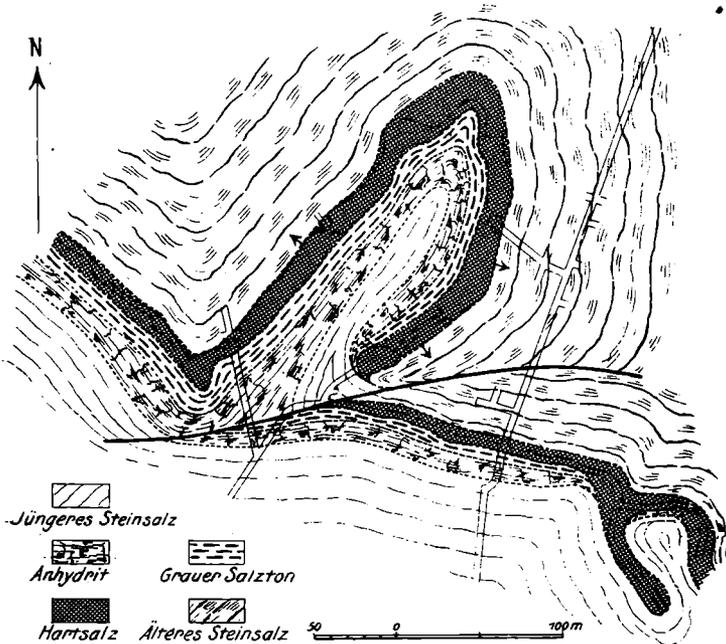


Fig. 8. Grundriß einer rheinischen Fächermulde, die von steilstehenden, herzynisch streichenden Schichten abgequetscht worden ist. Sarstedter Salzstock, südwestlicher Teil.

Nördliches Grubenfeld von Siegfried-Giesen, 750-m-Sohle.

Schichten erkennt. Von diesen ist später eine rheinische Mulde abgequetscht worden, deren Schichten sich in Sattelstellung befinden, also überkippt sind. Sie fallen flach ein und dadurch erklärt sich ihre Breite im Horizontal-Schnitt. Auch dieses ist also ein Muldenfächer. Die Abpressung der rheinischen Mulde ging nur an ihrer westlichen Umbiegungsstelle bruchlos vonstatten, während sie an der östlichen durch eine Verwerfung zerrissen wurde, die sich

auch in diesem Falle als ein Geschiebe kennzeichnet; die Verwerfungsfläche zeigt horizontale Rutschstreifen. Weiter nach O ist von dem Hartsalzlager ein ähnlicher schmaler Sattel abgequetscht worden, wie wir ihn von Glückauf-Sarstedt erwähnt haben. Bei der Abpressung der rheinischen Falten kommt es ebenso wie bei der herzynischen Auffaltung einerseits zur Streckung oder Auswalgung, und anderseits zur Zusammenstauchung einzelner Schichtglieder, was von großer Bedeutung für eine praktische Beurteilung ist: es stellt dieser Vorgang eine natürliche Aufbereitung, man könnte sagen eine „Druckaufbereitung“ des Salzgebirges dar.

Eine wichtige Beobachtung, über welche STIER vom Benther Salzgebirge berichtet, habe auch ich an mehreren Stellen gemacht, von denen ich heute nur die Grubenaufschlüsse am Sarstedter Salzstock erwähnen will. STIER²²⁾ schrieb darüber: „Mit auffallender Übereinstimmung sind in allen bislang aufgeschlossenen Grubenrevieren des Benther Salzgebirges, besonders im Felde Hansa-Silberberg, die Anzeichen herzynischer Faltung an die oberen Teufen gebunden, während sie sich nach der Tiefe zu abschwächen. Der Hauptangriffshorizont der herzynischen Faltungskräfte dürfte hier über der 700-m-, bzw. 600-m-Sohle liegen, die Schwerpunktsbasis der „rheinischen“ Kräfte ist indessen in großer Teufe zu suchen.“ Wenn STIER nun weiter schreibt: „Ein starker und vorherrschend „rheinischer“ Druck trieb die Salzmassen aus großer Teufe empor und schuf in großen Zügen die Konturen des Salzgebirges, an dessen charakteristischer Innenstruktur besonders in den oberen Teufen ein „herzynischer“ Druck mitarbeitete“, so kann ich dem nicht beistimmen, falls er sagen will, daß beide Faltungen gleichzeitig waren oder — wie ich dies eher für seine Meinung halte — daß die rheinische Faltung die ältere gewesen ist. Ich bin vielmehr der Meinung, daß, wie auch die eben berichtete Beobachtung zeigt, die herzynische Faltung älter ist. Durch sie wurde das Salzgebirge bis zu einem gewissen Grade emporgedrückt. Der jüngere rheinische Zusammenschub preßte dann die Salzgebirgs-Schichten weiter aus, und so war es natürlich, daß diese tiefer liegenden, später ausgepreßten Schichten nur die Anzeichen rheinischen Zusammenschubs bewahren

²²⁾ K. STIER, a. a. O., S. 10 und 14.

konnten und keine Spuren herzynischer **Faltung** zeigen, während die rheinische **Richtung** sich naturgemäß auch in den schon herzynisch gefalteten Schichten, häufig mit Ausnahme der in den obersten Teufen liegenden, mehr oder weniger geltend machen mußte. Im Sarstedter Salzstock ist die herzynische Faltung noch sehr deutlich und durchaus vorherrschend, während sie im Benther Salzgebirge auch in den oberen Teilen gegenüber der vorherrschenden rheinischen Richtung verhältnismäßig an Bedeutung zurücktritt. Wir finden andere Vorkommen, bei denen noch mehr als es schon bei Benthe der Fall ist, die rheinische Richtung überwiegt und die ältere herzynische Faltung sich nur in Querstörungszonen zeigt. Beispiele sind der Sehnder-, der Wendland-Teutonia-Salzstock, Wilhelmshall-Ölsburg u. a. Nach dem Vorwiegen der einen oder andern Richtung kann man verschiedene tektonische Tiefenstufen unterscheiden, die selbst innerhalb eines Salzstocks in verschiedenen Meereshöhen liegen können: die oberste ist die vorwiegend herzynischer und zurücktretend rheinischer Pressung (Rössing-Barnten, 500-m-Sohle), die mittlere ist die etwa gleichmäßiger Bedeutung beider Faltungen (Glückauf-Sarstedt, 750-m-Sohle, Siegfried-Giesen, 750-m-Sohle, Mittleres Leinetal zum Teil), und die unterste ist die vorwiegend rheinischer und zurücktretend herzynischer Richtung (Benther Salzstock²³), Sehnder Salzstock, Wendland-Teutonia). Wichtig ist die Klarheit über diese Verhältnisse für die gegenseitige Altersbestimmung der Faltungen. Mit Recht ist man im allgemeinen geneigt, die bedeutendere Faltung als die ältere anzusehen²⁴) und auch von diesem Gesichtspunkt aus müssen wir die herzynische Richtung, welche die durchaus vorherrschende im geologischen Gesamtbilde Nord- und Mitteldeutschlands ist, als die erstentstandene ansehen. Im einzelnen aber können, wie wir sahen, sehr weitgehende Abweichungen auftreten,

²³) Vgl. hierzu außer STIER, a. a. O., auch die beiden Grundrisse im Führer zu den Exkursionen der Dtsch. geol. Ges., Hannover 1914 und 1920, S. 126. Auch diese lassen in anschaulicher Weise das Zurücktreten der herzynischen Richtung nach der Teufe erkennen.

²⁴) E. ZIMMERMANN I, a. a. O., S. 172, hält das variscische Faltenystem „als das im allgemeinen kräftigere, engere, im Streichen länger aushaltende“ für älter als das herzynisch gerichtete, eine Meinung, der ich nur zustimmen kann.

indem die rheinische Richtung durchaus überwiegt oder gar allein herrscht. Man erkennt auch hier wieder die Wichtigkeit regionaler Untersuchungen für die richtige Deutung tektonischer Verhältnisse. Die große praktische Bedeutung von Klarheit über die tektonische Tiefenstufe, in der man sich befindet, liegt auf der Hand. Freilich ist zu bedenken, daß es wiederholte rheinische und wiederholte herzynische Kompressionen gegeben hat, wie sich aus dem Einbruch und der Faltung von Tertiärschichten ergibt, die jünger sind als die Hauptdislokationen. Diese post-humen Bewegungen scheinen aber, soweit wir heute sehen, verhältnismäßig nur geringe Bedeutung gehabt zu haben.

Auf jeden Fall zeigen uns Aufschlüsse wie die im Sarstedter und Benther Salzgebirge mit Sicherheit, daß wir verschiedenzeitliche Kompressionen in herzynischer und rheinischer Richtung unterscheiden müssen. Damit wird einerseits bestätigt, daß die Aufpressung des Salzgebirges gar nicht aus dem tektonischen Gesamtbilde zu trennen ist und daß es sich dabei nicht um ein regelloses Aufquellen plastischen Salzgebirges lediglich unter Einwirkung des Gewichts der benachbarten Gebirgsschollen auf das Salzgebirge handeln kann²⁵⁾. Andererseits wird die Meinung derjenigen widerlegt, welche die Ansicht über eine herzynische und eine jüngere rheinische Faltung für längst abgetan halten zu können glauben: hier im Salzgebirge finden wir den sicheren Beweis für diese Auffassung, und damit sind wir gezwungen, auch in anderen Gebieten, in denen wir diesen sicheren Nachweis nicht ohne weiteres führen können, nachzuprüfen, ob und inwieweit die Entstehung tektonischer Formen durch das Zusammenwirken der beiden Faltungen erklärt werden muß.

²⁵⁾ Daß die Hangendbelastung, auf die HARBORT ausschlaggebenden Wert legt, eine unentbehrliche Rolle spielt, will ich natürlich keineswegs leugnen: ist doch ohne sie weder die Aufpressung des Salzgebirges noch überhaupt irgendein tektonischer Vorgang denkbar. Im allgemeinen ist in der Erdkruste der Druck gleich dem Gewicht des hangenden Gebirges; würden wir dieses fortdenken, so würden wir damit auch auf den zu jeder tektonischen Bewegung notwendigen Druck verzichten. Auf die besonderen, uns durch JÄNECKE genauer bekannt gewordenen Einwirkungen, welche der Druck auf das Salzgebirge ausübt, kann ich hier nicht eingehen; sie ändern aber nichts an der dargelegten Auffassung.

Schluß.

Die vorstehenden Zeilen sind veranlaßt worden durch Literaturstudien und zahlreiche Besprechungen, die ich mit Fachgenossen über tektonische Fragen gehabt habe. Ich kam durch diese zu der Überzeugung, daß Pressungs- und Zerrungserscheinungen, wie sie durch einmalige und wiederholte Störungen entstehen, nicht immer richtig erkannt werden: es fehlt oft eine klare Vorstellung darüber, ob Dislokationen Kompressions- oder Zerrungsstörungen sind und ob sie regionale oder nur örtliche Bedeutung haben. In dem beschränkten Rahmen dieser Arbeit konnte ich nicht erschöpfend sein und ich habe Bekannteres nur soweit behandelt, als es mir zur Vervollständigung des Bildes nötig erschien; auch konnte ich auf die Literatur nicht soweit eingehen, wie es wünschenswert gewesen wäre und der Bedeutung mancher Arbeiten entsprochen hätte. Ich wollte vor allem auf die unbegrenzte Fülle tektonischer Ausformungsmöglichkeiten durch einfache und wiederholte Gebirgsbewegungen hinweisen und anregen, daß die Geologen von neuem der Aufklärung der oft so bunten Störungsbilder und deren Entstehung erhöhtes Interesse zuwenden möchten. Insbesondere ist es die durch Störungskreuzung entstehende Gitterstruktur, welche bei uns bisher zu wenig Beachtung gefunden hat und die, wie Störungswiederholungen überhaupt, auch in den Lehrbüchern^{25a)} nicht genügend berücksichtigt worden ist. Des weiteren wäre wichtig, wenn meine Ansichten über Gebirgsbildung anerkannt werden sollten, das danach jedem Kompressionsgebiet genetisch zugehörige, es kompensierende Zerrungsgebiet aufzusuchen. Auch werden sich Anhaltspunkte dafür finden, ob — wie ich vermute — sich kreuzende Zusammenschübe in ursächlichem Zusammenhange stehen²⁶⁾.

^{25a)} In der neuesten Ausgabe (5. Aufl., 1918, S. 899 f.) seiner ausgezeichneten Allgemeinen Geologie erwähnt zwar E. KAYSER Faltendurchkreuzungen, doch hält er sie für Ausnahmen, während nach ihm einmalige Faltung die Regel ist. Dagegen bin ich überzeugt, daß man immer mehr Fälle von Faltenvergitte- rung kennen lernen wird, wenn man allgemeiner ihr Auftreten in den Bereich der Möglichkeit zieht und die Aufschlüsse daraufhin prüft.

²⁶⁾ Auch O. AMPFERER, a. a. O., S. 166, denkt an einen Zusammenhang zwischen senkrecht zueinander verlaufenden Faltungsrichtungen, aber an einen Zusammenhang ganz anderer Art als ich. Er meint nämlich, daß die erste Faltung das Gleichgewicht gestört habe und die zweite es wieder herzustellen bestrebt sei. — Die Notwendigkeit einer Relation zwischen sich kreuzenden Faltungen im Rahmen der Kontraktionstheorie hob

Abrutschungen oder Pressungen finden statt, um ein infolge von Vertikalbewegungen gestörtes Gleichgewicht wieder herzustellen. Dies kann durch Abgleiten oder Zusammendrücken in nur einer Richtung nach dem Beckeninnern zu nicht vollkommen erreicht werden: durch einen mehr oder weniger quer zum ersten verlaufenden Zusammenschub findet ein besserer Ausgleich statt. Eine Feinkorrektur des Gleichgewichts mag durch weitere, posthume Rutschungen erreicht werden, soweit diese nicht auf die Fortdauer der Vertikalbewegungen zurückgehen.

F. M. STAFFE (Zur Mechanik der Schichtenfaltungen, N. J. f. Min., 1879, S. 295 f.) hervor: wenn „die Schichtenfaltungen Folge von Kontraktionen der Erdkruste sind, durch welche die Erde ihre Kugelform aber nicht einbüßte, so muß man auch zugeben, daß die Summe der Zusammenschübe in meridionaler Richtung gleich der Summe jener in äquatorialer ist“.
