Werk

Titel: Aufsätze und Mitteilungen

Ort: Leipzig

Jahr: 1917

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?345572157_0008|log18

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

I. Aufsätze und Mitteilungen.

Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen.

Von **Hans Stille** (Göttingen).[1])

(Mit 15 Figuren im Text.)

Inhalt.

	Seite
Einleitung: Die Begriffe »Injektivfaltung« und »Faltungsinjektion«	90
I. Die drei Haupttypen der saxonischen Faltung	92
1. Schilderung der Typen	92
a) Der niederhessische Faltungstypus (dejektive Faltung)	92
b) Der nordhannoversche Faltungstypus (ejektive Faltung)	94
c) Der südhannoversche Faltungstypus (kongruente Faltung)	95
2. Die Verknüpfung der Typen saxonischer Tektonik	96
a) Räumliche Verknüpfung	96
b) Verknüpfung durch Mittelformen	96
3. Hessische »Gräben« und nordhannoversche »Horste« als Teile von Falten	98
II. Vorbemerkungen zur Erklärung injektiver Faltungen	101
1. Die Faktoren Mobilität und Position beim Zustandekommen einer Faltung	101
a) Der Faktor Mobilität (Gefügigkeit gegen den orogenetischen Druck)	101
b) Der Faktor Position (Erreichbarkeit für den orogenetischen Druck)	107
c) Selektive Faltung nach Mobilität und Position	108
2. Faltung und Faltungsarbeit	109
III. Erklärung der kongruenten und injektiven saxonischen Faltung	112
1. Das Untergrundbild bei Eintritt der saxonischen Faltung	112
2. Selektive saxonische Faltung	114
3. Inkongruente Faltung infolge von ungleichmäßiger Druckwirkung	116
a) Dejektive Faltung bei starrerer Tiefe	117
b) Ejektive Faltung bei mobilerer Tiefe	119
4. Kongruente Faltung bei gleichmäßigerer Druckwirkung	125
5. Zusammenfassung	126
IV. Injektive Salzfaltung und Salzaufstieg	130
1. Injektive Salzfaltung und Mobilität	130
2. Isostatischer Auftrieb des spezifisch leichten Salzes nach ARRHENIUS-LACHMANN	134
3. Salzinjektion in Spalten	135
4. Terminologisches	135
V. Zur Systematik der Horste und Gräben	136
1. Begriff Horst und Graben. Haupteinteilung	136
2. Undulationshorste und Undulationsgräben	137

[1]) Vorgetragen auf der Hauptversammlung in Frankfurt a. M. am 6. Jan. 1917.

Seite
3. Undationshorste und Undationsgräben 138
4. Unterscheidung von Horsten und Gräben undatorischer und undulatorischer Entstehung 140
5. Hebung und Senkung bei der Entstehung der Horste und Gräben . 141

Textfiguren.

Fig. 1. Schematisches Bild eines hessischen Grabens (dejektive Faltung) . 93
Fig. 2. Schematisches Bild eines nordhannoverschen Horstes (ejektive Faltung) 94
Fig. 3. Schematisches Bild einer Falte von südhannoverschem Typus (kongruente Bruchfaltung) 95
Fig. 4. Der räumliche Zusammenhang zwischen den Haupttypen saxonischer Faltung 97
Fig. 5. Reihenfolge der Haupttypen saxonischer Faltung von S. nach N., veranschaulicht in einem schematischen Profile 98
Fig. 6. Profilreihe durch einen niederhessischen Graben. 99
Fig. 7. Die drei Haupttypen saxonischer Tektonik unter Vernachlässigung der Verwerfungen 100
Fig. 8. Formen der Einpassung auf engeren Raum. 111
Fig. 9. Untergrund und Faltungsform bei der saxonischen Gebirgsbildung. . 113
Fig. 10. Gesteinsmobilität und Faltungsform 122
Fig. 11. Ungleiche Hochbewegung von Hangendem und Liegendem bei ungleichmäßiger Einengung 124
Fig. 12. Schematische Veranschaulichung der Injektion komprimablerer Massen in Zonen geringerer Kompression 127
Fig. 13. Inkongruente Faltung und Faltungswiderstände 128
Fig. 14. Injektion und Gegenbewegung (Reaktion) bei inkongruenter Faltung 129
Fig. 15. Schmale (undulatorische) »Schollengräben« in einem weiten (undatorischen) »Beckengraben« 141

Einleitung:
Die Begriffe »Injektivfaltung« und »Faltungsinjektion«.

Unter »injektiver Faltung« verstehe ich eine Faltung unter gesteigertem Vortriebe einzelner Faltenelemente. Der Vortrieb kann ins Liegende, Hangende oder Nebengebirge gerichtet sein; erfolgt er ins Liegende, so spreche ich von dejektiver (dejektiv = abwärtig injektiv), erfolgt er ins Hangende, von ejektiver (ejektiv = aufwärtig injektiv) Faltung. Eine »Faltungsinjektion« (Injektion durch Faltung) ist ein Eintrieb von Gesteinsmaterial in benachbartes Gebirge durch den episodischen orogenetischen Druck (Faltungsdruck). Die Begriffe »injektive Faltung« und »Faltungsinjektion« decken sich nicht ganz, wenigstens solange man die Möglichkeit offen läßt, daß unter bestimmten Verhältnissen auch vulkanischer Glutbrei durch tektonischen Druck vorgetrieben werden kann (tektonische Injektion vulkanischen Materiales neben derjenigen nichtvulkanischen). Dazu ist injektive Faltung das Gesamtphänomen einer Faltung, die hinsichtlich einzelner Faltenelemente injektiv verfährt, die »Faltungsinjektion« dagegen der spezielle Vortrieb des einzelnen Faltenelementes.

Die Bezeichnung »injektive« Faltung ist ja der vulkanischen Nomenklatur entlehnt, denn in extremen Fällen haben die resultierenden Injektivkörper hinsichtlich ihrer Konturen und ihrer Lage zum Nebengebirge mancherlei Ähnlichkeit mit vulkanischen Intrusivmassen. So können z. B. die Gänge, die von sehr mobilen Tonmassen oder gar vom »Salzbrei« gebildet werden, den Gängen von »Glutbrei« als geologische Körper sehr ähneln, und auch die »Salzstöcke« können in manchen Fällen an Eruptivstöcke kleinerer Ausmessung erinnern. Aber auch hinsichtlich der wirkenden Kräfte und der ganzen Art des injektiven Vorganges scheinen Vergleichspunkte zwischen gewissen Arten vulkanischer Injektion und dem tektonischen Vorschube einzelner ungewöhnlich mobiler, dabei aber nichtvulkanischer Materialien zu bestehen.

Auch sonst sind in der geologischen Literatur zur Kennzeichnung von tektonischen Erscheinungen bereits Bilder aus dem Gebiete des Vulkanismus entlehnt worden. So sei, um nur bei den deutschen Verhältnissen zu bleiben, an das »eruptive« Röt E. Zimmermanns[1]) und an E. Harborts[2]) Ausführungen über das Aufsteigen der Salzmassen in Spalten nach Art eines Magmas erinnert. Allerdings wurden, besonders in letzterem Falle, die treibenden Kräfte anders aufgefaßt, wie ich es im folgenden tue, nämlich nicht als tangential gerichtet und episodisch wirkend, sondern als vertikal gerichtet und mehr oder weniger kontinuierlich andauernd. Auch F. Rinne[3]) spricht von einer »Injektion« der Salzmassen in ihr Nebengestein.

[1]) E. Zimmermann, Wissensch. Bericht über Aufnahmen auf den Blättern Stadtilm und Plaue. Jahrb. preuß. geol. Landesanst. f. 1889. S. LIV: »Innerhalb dieses [Störungs-]Streifens ist ein Sattel bemerkenswert, der unter den mancherlei Formen seiner Ausbildung auch eine solche zeigt, wo in der Achse des Sattels als ältestes Glied Mittlerer Muschelkalk hinzieht und mitten aus diesem eine nur ganz kleine (800 und 200 Schritt Durchmesser zeigende) linsenförmig umgrenzte Stelle zutage tritt, gebildet vorwiegend von Mittlerem und daneben von etwas Oberem Buntsandstein. Kartographisch ist das Bild dieses Auftretens eines tieferen Gesteins zwischen höher gelegenem, im Kern eines Sattels, mehr ähnlich dem eines Eruptivstockes, als dem eines Horstes! — Ich kann hier zugleich noch kurz hervorheben, daß ich in der Fortsetzung derselben Störungszone noch an mehreren Stellen Röt in einer Weise habe auftretend gefunden, daß das Kartenbild ganz an das eines Eruptivgesteinsganges erinnert, welcher bald eine mit Verwerfung verbundene Spalte benutzt, bald eine Spalte, neben welcher keine Verwerfung nachweisbar ist.«

Derselbe, Über eigentümliche »eruptive« Formen des Auftretens von Sedimentgesteinen bei Stadt Ilm. Ztschr. d. deutsch. Geol. Ges. 1895, S. 615.

[2]) Vgl. u. a. E. Harbort, Zur Geologie der nordhannoverschen Salzhorste. Ztschr. d. deutsch. geol. Ges. 1910, Monatsber., S. 330 und 331.

[3]) F. Rinne, Metamorphosen von Salzen und Silikatgesteinen. 7. Jahresber. d. Niedersächs. geolog. Ver. 1914, S. 252ff., spez. S. 255, 264/265. — S. 255: »Weiterhin kann es unter dem Einfluß des Hangenddruckes ebenfalls zu seitlichen Vorschüben kommen, wenn plastischem Material, etwa Salzen, die Gelegenheit zum Abfließen in Zonen geringeren Widerstandes der Gesteinsschale sich darbietet, in die sie dann gangförmig injiziert werden.«

I. Die drei Haupttypen der saxonischen Faltung.

1. Schilderung der Typen.

Aus der Fülle tektonischer Formen, zu denen die saxonische Bruchfaltung im mittel- und nordwestdeutschen Boden geführt hat, treten einige Haupttypen besonders hervor, die wieder durch Übergänge in weitestem Maße miteinander verknüpft sind. Es ist zunächst ein mittlerer Typus vorhanden, nämlich derjenige der normalen oder, wie ich ihn hier gleich nennen will, da in ihm die zerrissenen Sättel und Mulden einigermaßen kongruent entwickelt sind, der

kongruenten saxonischen Faltung.

Demgegenüber ist die

inkongruente saxonische Faltung

durch starke Verschiedenheit in der Entwicklung der Sättel und Mulden charakterisiert. Sie erscheint in den Formen der

dejektiven saxonischen Faltung,

wenn die Muldenzonen unverhältnismäßig tief eingesenkt sind, und der

ejektiven saxonischen Faltung,

wenn die Sattelzonen eine unverhältnismäßig weite Vorstülpung erfahren haben.

Diese Typen der saxonischen Faltung trennen sich auch regional, und nach den Hauptverbreitungsgebieten in den niederhessisch-niedersächsischen Landen unterscheide ich

1. den niederhessischen Typus (dejektive Faltung),
2. den südhannoverschen Typus (kongruente Faltung),
3. den nordhannoverschen Typus (ejektive Faltung).

Der niederhessische Typus kommt am auffälligsten in den hessischen »Grabenzonen« zum Ausdrucke; der nordhannoversche Typus hat seine Hauptverbreitung im mittleren und nördlichen Hannover, im Gebiete der »Horste«, d. h. der hochaufgepreßten Sattelkerne. Dazwischen liegt im Randgebiete des Niederdeutschen Beckens das Gebiet der kongruenten Bruchfaltung (südhannoverscher Typus).

a) Der niederhessische Faltungstypus (dejektive Faltung).

In der Hessischen Senke (Rheinische Tiefe vor dem Ostrande der Rheinischen Masse) finden wir, wenn wir absehen von den tertiären und eruptiven Gesteinen, die ja nach den Untersuchungen von Grupe, Bücking u. a. jünger als der Hauptteil der saxonischen Tektonik sind, in weitester Verbreitung flachlagernde oder schwach gewellte Tafeln älterer Trias, in die in schmalen, aber weit fortstreichenden Zonen jüngere Schichten, vorwiegend solche des Muschelkalks und Keupers, lokal auch des Juras, eingesenkt sind. Diese schmalen Zonen jüngeren Gesteins sind die hessischen Gräben. Wir haben also in Niederhessen sehr breite Bezirke der älteren Schichten und recht schmale Zonen jüngerer und finden die Dislokationen besonders dort,

wo die jüngeren Schichten auftreten. Diese Dislokationszonen sind eben in erster Linie die Grabenzonen, und wenn man einen Überblick über die Tektonik Hessens gewinnen will, so pflegt man ja zunächst den Verlauf der Grabenzonen zu verfolgen.

Fig. 1 zeigt uns einen schematischen Schnitt durch einen hessischen Graben, veranschaulicht an der Lage einer einzelnen Schicht.

Die Grabenzonen sind als Mulden, die dazwischen liegenden Bezirke älterer Sedimente als Sattelgebiete aufzufassen, wenn auch in letzteren die Schichten weithin völlig oder fast völlig flach liegen und die sattelförmige Anordnung erst mit Annäherung an die Grabenzonen etwas deutlicher in Erscheinung zu treten pflegt. Ich bezeichne diese Sattelzonen, die gegenüber den schmalen Muldenzonen eine ganz ungewöhnliche Breite haben, als »Breitsättel«.

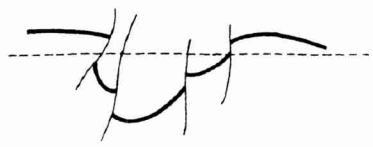


Fig. 1. Schematisches Bild eines hessischen Grabens (dejektive Faltung).

Hier und da treten in den Grabenzonen Niederhessens und der östlich angrenzenden thüringischen Gebiete schmale Streifen (»Aufpressungshorste«) älterer Schichten, und selbst solcher, die älter als die Schichten der angrenzenden Breitsättel sind, auf; recht häufig handelt es sich um Zechstein. Aber diese Aufpressungen werden nach Masse und Betrag durch Masse und Betrag der Einsenkungen in der Regel mehr als ausgeglichen, so daß auch dort, wo diese »Grabenhorste« auftreten, die tektonische Gesamtleistung auf die Niederziehung einer schmalen Erdzone hinauskommt. Allerdings ist somit der Bau der Grabenzone lokal wesentlich verwickelter, als das einfache Schema in Fig. 1 angibt; es sind tektonische Zonen, die entweder, was die Regel ist, ganz aus versenkten Schichten bestehen, oder in denen die versenkten Schichten doch räumlich außerordentlich vorwalten.

Es ist eine sehr auffällige Erscheinung, daß die erwähnten Schollen höheren Alters nicht, wie man nach Erfahrungen in anderen Gebieten saxonischer Bruchfaltung wohl zunächst erwarten müßte, im Kerne der sattelförmigen Aufwölbungen, sondern gerade in den Zonen der Muldengräben auftreten; es ist, als ob eine Reaktion der Tiefe gegen den Senkungsvorgang (vgl. unten) eingetreten wäre. Jedenfalls liegt aber in diesen älteren Schollen innerhalb der Grabenzonen wieder ein Hinweis darauf, daß in den durch die Gräben charakterisierten tektonischen Zonen Niederhessens und der angrenzenden thüringischen Gebiete Kräfte gewirkt haben, die unter Umständen auch zur Aufpressung von Schollen aus größerer Tiefe heraus befähigt sind.

b) Der nordhannoversche Faltungstypus (ejektive Faltung).

Die Umkehrung des hessischen Typus ist der nordhannoversche, wie wir ihn in seiner ausgesprochensten Entwicklung in Mittel- und Nordhannover kennen. Redet man in Hessen von den hessischen »Gräben«, um die tektonische Eigenart des Landes zu charakterisieren, so spricht man in Mittel- und Nordhannover von den hannoverschen »Horsten«, unter denen bekanntlich der »Salzhorst« eine ganz besondere Rolle spielt.

Das schematische Bild eines solchen Horstes gibt Fig. 2.

Wir haben hier weitverbreitet und weithin in recht flacher Lagerung die jüngeren Schichten (im Süden vorherrschend Kreide, im Norden vorherrschend Tertiär[1]), dazwischen in schmalen Zonen die älteren (Jura, Trias, Zechsteinsalz). Die Dislokationszonen sind die Horstzonen, und wenn wir einen Überblick über die Tektonik dieser Gebiete, z. B. der Lüneburger Heide, gewinnen wollen, so folgen wir den »Aufpressungshorsten«.

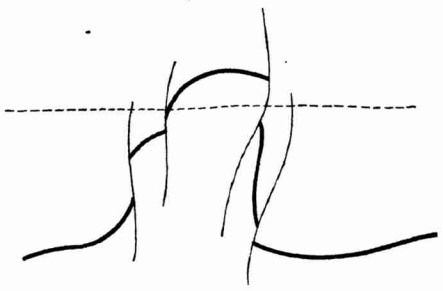


Fig. 2. Schematisches Bild eines nordhannoverschen Horstes (ejektive Faltung).

Zwischen den hochgepreßten Horstzonen (Sattelzonen) erstrecken sich die weiten »Breitmulden«, bestehend aus flach oder doch nur schwach muldenförmig gelagerten jüngeren Schichten.

Man betrachte die Bilder 1 und 2, um zu erkennen, daß der eine Typus die Umkehrung des anderen ist. Inwiefern das zutrifft, sei im folgenden zusammengestellt:

Niederhessen.	Nordhannover.
1. Ausgedehnte Bezirke ziemlich flachlagernder und verhältnismäßig wenig gestörter älterer Schichten (»Breitsättel«).	Ausgedehnte Bezirke ziemlich flachlagernder und verhältnismäßig wenig gestörter jüngerer Schichten (»Breitmulden«).
2. Schmale Zonen stark gestörter jüngerer Schichten (sog. Grabenzonen).	Schmale Zonen stark gestörter älterer Schichten (sog. Horstzonen).
3. Störungszonen hauptsächlich dort, wo die jüngeren Schichten auftreten.	Störungszonen hauptsächlich dort, wo die älteren Schichten auftreten.

[1]) Hier ist im Gegensatze zu Hessen (s. oben) ein wesentlicher Teil der saxonischen Gebirgsbildung noch jünger als das vorhandene Tertiär, und zwar auch noch als das Obermiozän (vgl. H. Stille, Untergrund der Lüneburger Heide usw. 4. Jahresber. d. Niedersächs. geol. Ver. 1911, S. 225ff., spez. S. 274—276).

Zusammenfassung.

Niederhessen:	Nordhannover:
Weitausgedehnte, schwachgefaltete bis flache Tafeln älterer Schichten, unterbrochen durch schmale, stark gestörte Zonen jüngerer.	Weitausgedehnte, schwachgefaltete bis flache Tafeln jüngerer Schichten, unterbrochen durch schmale, stark gestörte Zonen älterer.

Stellen wir die Bilder 1 und 2 übereinander, so ist das eine das Spiegelbild des anderen; was beim einen in abwärtiger Richtung eingetreten ist, hat sich beim anderen in aufwärtiger ereignet.

c) Der südhannoversche Faltungstypus (kongruente Faltung).

Zwischen dem Gebiete des niederhessischen und dem des nordhannoverschen Faltungstypus liegt eine Zone, in der trotz vielfacher örtlicher Abweichungen im großen und ganzen eine mehr gleichmäßige Entwicklung der Sättel und Mulden zu erkennen ist. Ein schematisches Bild der dortigen zerbrochenen Falten gibt Fig. 3. In dieser

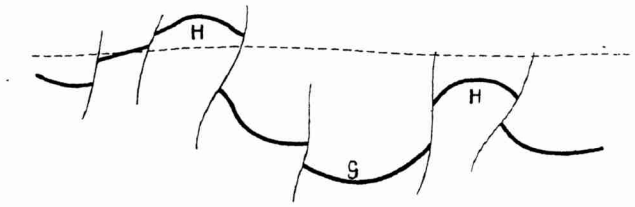


Fig. 3. Schematisches Bild einer Falte von südhannoverschem Typus (kongruente Bruchfaltung).

Art sind im allgemeinen z. B. die Falten des Egge-Vorlandes oder diejenigen Südhannovers nördlich des Sollinggebirges, das noch den niederhessischen tektonischen Typus zeigt, entwickelt.

Wir erkennen »versenkte Muldenkerne« (*G*) und »gehobene Sattelkerne« (*H*). Neben der Mulde erscheint als nach der Entwicklung gleichberechtigt der Sattel, neben dem »Graben« der »Horst«. Die Störungen setzen ziemlich gleichmäßig in jüngeren und älteren Schichten auf und das jüngere ist in der Verbreitung vor dem älteren und das ältere vor dem jüngeren nicht wesentlich bevorzugt, — soweit es sich nicht um transgredierende und nach der ältesten Faltungsphase abgelagerte Schichten handelt.

Das ist der südhannoversche Typus der saxonischen Gebirgsbildung.

2. Die Verknüpfung der Typen saxonischer Tektonik.

Die drei geschilderten Typen der saxonischen Tektonik sind eng miteinander verknüpft, und zwar

a) räumlich,

b) durch Mittelformen.

a) Räumliche Verknüpfung.

Weitaushaltende Systeme »rheinischer« und »herzynischer« Dislokationen setzen das saxonische Faltengitter zusammen, und die einzelnen Wellen durchkreuzen einander, häufig unter Interferenzerscheinungen, oder lenken auch wohl ineinander ein oder setzen sich nach ihrer Vereinigung in Mittelrichtungen fort. Eine infolge Kriegsausbruches leider bisher nicht zur Veröffentlichung gelangte tektonische Karte der niederhessisch-niedersächsischen Lande wird all diese Verhältnisse im einzelnen zeigen. Nord-südlich gerichtete Dislokationszonen verfolgen wir von Hessen aus weit nordwärts. So durchschneidet die »Schwalm—Leine—Nette-Zone« fast geradlinig ganz Niederhessen und kreuzt dabei die Fulda bei Altmorschen und die Werra oberhalb Witzenhausen, folgt bei Göttingen dem Leinetale und verläßt dieses bei Northeim, nachdem die Hauptfortsetzungen des Leinetalgrabens nach NW. abgebogen sind, setzt dann am Westrande des Harzes her und ist weiter nordwärts im flachen Hügellande und danach im Flachlande bis zur Aller, ja wahrscheinlich über diese hinaus bis zur Elbe und bis Mecklenburg zu verfolgen. Eine andere, die »Eder—Diemel—Egge-Zone«, führt von Hessen in nordwestlicher Richtung, sich immer mehr komplizierend, indem sie immer neue herzynische Stränge von Osten her aufnimmt, zum Eggegebirge und Osning. So haben wir einheitliche und zusammenhängende Zonen tektonischer Vorgänge, aber die Art der Vorgänge unterliegt innerhalb der Zonen großen Änderungen. Im Süden enthalten die Zonen die hessischen »Gräben«, weiter nördlich die südhannoverschen Sättel und Mulden und endlich in den Randgebieten des Flachlandes und in dem Flachlande selbst die nordhannoverschen »Horste«. Kommen wir z. B. aus Niederhessen nach Südhannover, so treten die typischen Gräben bald zurück und statt ihrer erscheinen die breiten »Versenkungsbecken« v. Koenens (Hilsmulde, Markoldendorfer Mulde; Gronauer Kreidemulde usw.), die schon deutlichst den Charakter der Mulde tragen und ja auch von alters her als solche bezeichnet worden sind. Gehen wir anderseits von der Lüneburger Heide südwärts, so treten an die Stelle der schmalen Horstzonen die sich verbreiternden Sättel, wie etwa der Hildesheimer Wald.

b) Verknüpfung durch Mittelformen.

Aber nicht nur räumliche Zusammenhänge verknüpfen die Typen saxonischer Gebirgsbildung, sondern alle formalen Übergänge vermitteln vom südhannoverschen sowohl zum niederhessischen, wie auch

zum nordhannoverschen Typus, und so verknüpfen sich über den südhannoverschen auch die in ihrer Form so entgegengesetzten niederhessischen und nordhannoverschen Typen miteinander. Der Graben verbreitert sich, der trennende Bezirk älterer Gebilde verschmälert sich, während die Wölbung der Schichten in ihm zunimmt, und aus dem »niederhessischen« wird ein »südhannoversches« Gebilde; — die nordhannoversche »Horstzone« gewinnt an Breite auf Kosten der trennenden Zonen flachlagernder jüngerer Sedimente, die eine zunehmende muldenförmige Anordnung erkennen lassen, — und aus dem nordhannoverschen Typus saxonischer Faltung entwickelt sich der südhannoversche. So sind die »niederhessischen«, »südhannoverschen« und »nordhannoverschen« Formen der saxonischen Gebirgsbildung nur Typen, und zwar die niederhessische und nordhannoversche Form sozusagen die extremsten, die südhannoversche Form ein mittlerer Typus in einer langen Reihe ineinander übergehender tektonischer Gebilde.

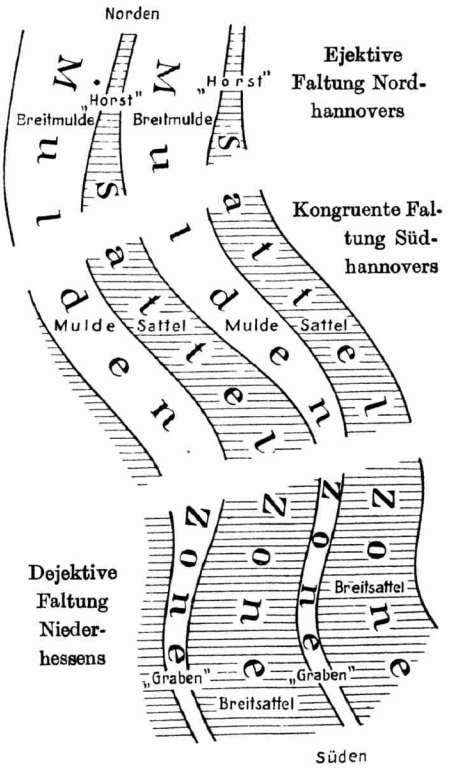


Fig. 4. Der räumliche Zusammenhang zwischen den Haupttypen saxonischer Faltung.

Den von Süden nach Norden erfolgenden Übergang vom niederhessischen zum südhannoverschen und weiter zum nordhannoverschen Typus veranschaulichen in ganz schematischer Weise Fig. 4 und 5, und zwar Fig. 4 in einer Grundrißdarstellung, Fig. 5 in einem von Norden nach Süden gelegten Profile. Fig. 4 soll speziell zeigen, wie sich räumlich der Breitsattel Niederhessens mit dem Sattel Südhannovers und dem Horst Nordhannovers und ferner der Graben Hessens mit der Mulde Südhannovers und der Breitmulde Nordhannovers verknüpft. In dieser Figur ist auch der bald herzynisch, bald rheinisch gerichtete Verlauf der saxonischen Faltungszonen angedeutet, und daß dabei für

den südhannoverschen Typus die herzynische Richtung gewählt wurde, mag andeuten, daß dieser Typus besonders deutlich dort entwickelt ist, wo die saxonische Faltung vorwiegend herzynisch geht, wenn er auch

Fig. 5. Reihenfolge der Haupttypen saxonischer Faltung von S. nach N., veranschaulicht in einem schematischen Profile.

an anderen Stellen ebensogut unter rheinischer Richtung oder unter Egge-Richtung (Mittelrichtung zwischen rheinischen und herzynischen Falten) auftritt.

3. Hessische Gräben und nordhannoversche Horste als Teile von Falten.

Sind die Gebilde Südhannovers »Falten«, entstanden durch seitlichen Druck, so sind auch einerseits die hessischen Gräben, andererseits die nordhannoverschen Horste Falten oder Teile von solchen, und zwar sind sie ganz extreme Formen der Faltung, die sich aus örtlichen Verhältnissen erklären. Es ist undenkbar, daß der hessische Graben, der im Fortstreichen zur südhannoverschen Mulde wird und mit dieser durch alle Übergangsformen verbunden ist, oder daß der nordhannoversche Horst, an dessen Stelle nach Süden ganz allmählich normale saxonische Sättel treten, durch ganz andere Kräfte erzeugt sein sollte, wie die eine Mittelstellung einnehmende südhannoversche Falte; verschieden war nur die örtliche Wirkungsweise der Kräfte. Oder wo wäre der Schnitt zu machen zwischen den Gebilden von südhannoverschem Typus, die man noch als Falten ansprechen dürfte, und denen von hannoverscher oder niederhessischer Art, denen diese Bezeichnung vorzuenthalten wäre?

Als Hauptargument dafür, daß die saxonische Gebirgsbildung eine Faltung ist, habe ich gegenüber der Suessschen Senkungstheorie unter genauer Darstellung der beweisenden Verhältnisse geltend gemacht[1]), daß sie mit einer Aufwärtsbewegung der sich in die Form der Mulden und Sättel legenden und dabei vielfach zerreißenden Gesteinsmassen verbunden war, wie ja überhaupt Faltungszonen Zonen der orogenetischen Aufwärtsbewegung sind. Und auch die hessischen Gräben sind gleichzeitig mit einer Aufwärtsbewegung des ganzen sie umschließenden Gebietes der hessischen Tiefe entstanden, — wie jedenfalls für ihre Fortsetzung im südöstlichen Westfalen aus der den tektonischen Bewegungen folgenden tiefeingreifenden Denudation der vorher versenkt

[1]) Vgl. u. a. H. Stille, Die saxonische »Faltung«. Zeitschr. d. d. geol. Ges. 1913, Bd. 65, Monatsber., S. 575ff.

liegenden Gesteinsmassen erweisbar ist. Wie aber bei einer Faltung innerhalb der aufsteigenden Faltungszone die Mulde hinsichtlich des Betrages der Aufwärtsbewegung hinter dem Sattel zurückbleibt, so sind auch die Gräben gegenüber den angrenzenden Zonen etwas zurückgeblieben und damit relativ gesunken. Legen wir einmal die Steinmannsche Einteilung der gebirgsbildenden Vorgänge in positive und negative[1]) zugrunde, so sind die hessischen Gräben keineswegs Erzeugnisse einer negativen, sondern einer durchaus positiven Gebirgsbildung.

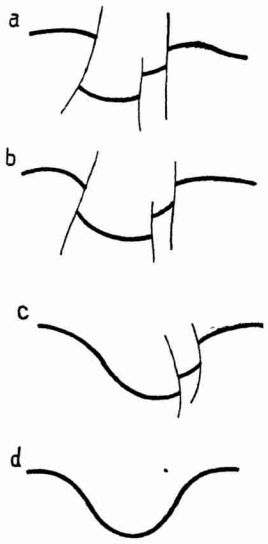


Fig. 6. Profilreihe durch einen niederhessischen »Graben«.
Sie soll veranschaulichen, daß die Verwerfungen nicht Ursache, sondern Begleiterscheinung der Einsenkung sind, — denn die Einsenkung erfolgt (Schnitt *d* und z. T. Schnitt *c*) auch ohne Verwerfungen.

Die Brüche sind nicht, wie z. B. E. Suess es im »Antlitz der Erde« darstellt, Ursache der saxonischen Bewegungen, sondern deren aus den besonderen Verhältnissen des Untergrundes zu erklärende Begleiterscheinung, — denn die Bewegungen erfolgen zum Teil auch ohne Verwerfungen. Das mag uns für den speziellen Fall der dejektiven saxonischen Gebirgsbildung nochmals durch eine Profilserie durch ein und denselben hessischen Senkstreifen (vgl. Fig. 6) vor Augen geführt werden. In den Schnitten *a* und *b* ist der Senkstreifen zweiseitig, im Schnitte *c* einseitig, im Schnitte *d* überhaupt nicht von Verwerfungen begrenzt, aber der tektonische Effekt ist in allen vier Fällen der gleiche.

Die saxonischen Gräben sind auch nicht die Gebilde einer Zerrung in der Erdkruste. Denn ganz abgesehen davon, daß sie unter einer differentiellen Aufwärtsbewegung des gesamten sie umschließenden »Senkungsfeldes« entstanden sind, was mit der Vorstellung einer Zerrung des Bodens schwer vereinbar ist, zeigen schon die Aufschlüsse in und entlang den Grabenzonen fortwährend die Erscheinungen der Stauung, — und auch auf die schon erwähnten horst-

[1]) G. Steinmann (Die Bedeutung der jüngeren Granite in den Alpen, Geolog. Rundschau 1913. Bericht über Hauptvers. der Geol. Vereinigung zu Frankfurt am 4. Jan. 1913, S. 4, Anm. 1) möchte »als positive Gebirgsbildung ... diejenigen gebirgsbildenden Vorgänge bezeichnen, die sich vorwiegend aus hebenden Bewegungen zusammensetzen, mögen diese sich als Folgen von Faltungen oder von schollen- oder blockförmigem Aufsteigen ergeben. Negative Gebirgsbildungen sind dagegen solche, die sich vorwiegend in Senkungen und Einbrüchen äußern«.
Wir haben bei den hessischen Gräben »schollenförmiges Aufsteigen« »als Folge von Faltungen«.

artig aufgepreßten Schollen im Zuge der Gräben sei hier nochmals verwiesen. Stauungserscheinungen, z. B. Überschiebungen, finden wir ja nach ANDREAE, SALOMON, KLEMM u. a. auch an den Rändern des Oberrheinischen Grabens, und ferner hebt LÖWL[1]) hervor, daß die bedeutendste der SUESSschen »Disjunktiv«zonen, d. h. die große ostafrikanische Grabenzone mit ihren Fortsetzungen im Roten Meere und in Syrien, gerade dort, wo sie am besten untersucht ist, d. h. in Syrien (FRAAS, DIENER, BLANCKENHORN), keine Zerrung, sondern eine erhebliche Stauung erkennen läßt.

Das alles spricht dafür, daß Gräben, wenn wir von Ausnahmefällen[2]) absehen, nicht Gebilde einer Zerrung, sondern einer Pressung sind, und zwar die saxonischen Gräben die Gebilde derselben Pressung, die die saxonischen Geosynklinalen oder doch wenigstens ihre Randzonen in den orogenetischen Phasen aufwärts bewegte.

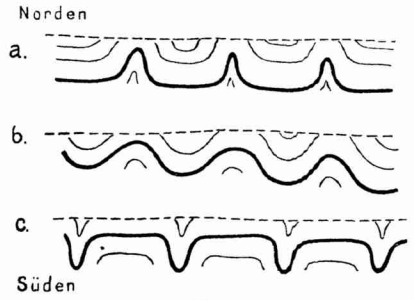


Fig. 7. Die drei Haupttypen saxonischer Tektonik unter Vernachlässigung der Verwerfungen.

a) Ejektive Faltung (Stülpsättel und Breitmulden). b) Kongruente Faltung (normale Sättel und Mulden). c) Dejektive Faltung (Breitsättel und Stülpmulden).

In Fig. 7 stelle ich die geschilderten drei Haupttypen saxonischer Gebirgsbildung unter Vernachlässigung der Verwerfungen einander nochmals gegenüber.

Der Versuch, die Entstehung der hessischen »Gräben« oder nordhannoverschen »Horste« zu deuten, ist oft gemacht worden, aber dabei wurde meist jede der beiden tektonischen Formen als Einzelerscheinung behandelt. Demgegenüber kam es mir in vorstehenden Ausführungen besonders darauf an, die Gräben und Horste eines bestimmten Gebietes in ihrem größeren Zusammenhange mit anderen tektonischen Gebilden und überhaupt als Glieder in einer langen Reihe miteinander eng verknüpfter Erscheinungen zu kennzeichnen — und gewiß kann nur eine solche Deutung uns befriedigen, die diesen natürlichen Zusammenhängen Rechnung trägt.

[1]) LÖWL, Geologie, S. 153.

[2]) Mit solchen Ausnahmen (»Zerrungsgräben«) habe ich mich in einem in der Zeitschr. d. deutschen geol. Gesellschaft f. 1916 (Monatsberichte, S. 269ff.) erscheinenden Aufsatze über »Hebung und Faltung im sogenannten Schollengebirge«, und zwar speziell in dem Kapitel IV über »Kompression und sekundäre Lockerung«, beschäftigt. Doch auch in solchen Fällen erscheint die etwaige lokale Zerrung am letzten Ende als eine Folge von allgemeineren Pressungserscheinungen und keinesfalls als unmittelbare Folge eines Zuges in die Tiefe.

II. Vorbemerkungen zur Erklärung injektiver Faltungen.

1. Die Faktoren Mobilität und Position beim Zustandekommen einer Faltung.

a) Der Faktor Mobilität (Gefügigkeit gegen den orogenetischen Druck).

Unter der Mobilität und der Stabilität (Resistenz) eines bestimmten Gesteinsmaterials oder einer ganzen Erdzone verstehe ich im folgenden ganz allgemein den die tektonische Umgestaltung und speziell die Einpassung in engeren Raum erleichternden oder erschwerenden Zustand. Als »mobile« und »stabile« Zonen hat in diesem Sinne auch E. Haug die Geosynklinalen und Festlandschwellen einander gegenübergestellt. Mobil wäre als »nachgiebig gegen den orogenetischen Druck«, stabil als »widersetzlich gegen den orogenetischen Druck« zu definieren. Mobile und stabile Körper sind, wie Milch[1]) zutreffend hinsichtlich der plastischen und starren Substanzen ausführt, nicht der Art, sondern nur dem Grade nach verschieden, denn absolut stabile Körper, d. h. solche, die überhaupt nicht mehr umformbar sind, gibt es ebensowenig wie absolut mobile, d. h. solche, die sich ohne Widerstand durch orogenetischen Druck einengen lassen; so gebrauchen wir die Bezeichnungen stabil und mobil nur für Zustände, die dem einen oder anderen Grenzfalle mehr genähert sind.

In welcher Form das Material der Einpassung in engeren Raum unterliegt, ob unter Aufreißen von Verwerfungen oder sonstwie rupturell, z. B. feinkataklastisch, oder ob bruchlos, und im letzteren Falle ob rein plastisch, ob unter besonderer Bevorzugung von Translationsflächen oder ob unter Umkristallisation oder Ummineralisation, oder ob auf die eine und die andere Weise, — alles das bleibt bei Anwendung der in dieser Hinsicht gänzlich neutral gedachten Bezeichnungen »mobil« und »stabil« zunächst außer Betracht. Es soll eben nur zum Ausdrucke kommen, in welchem Grade überhaupt der Widerstand gegen die Einengung vorhanden ist. Die Plastizität, d. h. nach Tammann die reziproke innere Reibung, spielt zwar insofern eine ganz besondere Rolle, als sie die bei der Einengung eintretenden Verbiegungen der Schichten in hohem Maße erleichtert, und deshalb sind die Faktoren, die die Plastizität erhöhen, zugleich auch »mobilisierende«.

Alb. Heim[2]) hat ja den Begriff plastisch sehr weit gefaßt, denn bei ihm ist plastisch gleich bruchlos umformbar, und er spricht in diesem Sinne von plastischer Gesteinsumformung, solange das Gestein umgeformt wird, ohne als Gestein zu zerbrechen. Die feintrümmerige Zerquetschung des Quarzes, der Lösungsumsatz des Feldspates, die

[1]) L. Milch, Über Plastizität der Mineralien und Gesteine. Geol. Rundschau 1911, Bd. 2, S. 145ff.

[2]) Vgl. u. a. Geologische Nachlese Nr. 19. Vierteljahrschr. d. Nat. Ges. Zürich, Bd. 53, S. 33ff., 1908.

Verschiebungen entlang den Blättchen von Sericit und Glimmer, — alles das sind bei ihm Teile der »plastischen« Umformung eines Granites in einen Gneis. MILCH hat l. c. mit Recht darauf hingewiesen, daß man bruchlose und plastische Umformung nicht als gleichwertig betrachten darf; zwar ist die plastische Umformung eine bruchlose, aber nicht jede bruchlose Umformung ist eine plastische, denn auch Umkristallisation und Ummineralisation können bruchlose Umformung hervorrufen oder neben der plastischen erheblich mitwirken. Auch LACHMANN[1]) hat mehrfach auf die Notwendigkeit schärferer Fassung und Anwendung des Begriffes »plastisch« hingewiesen. Für die »plastischen« Veränderungen im Sinne von HEIM, d. h. für alle Arten bruchloser Veränderung, bringt MILCH (l. c. S. 161) den allgemeinen Ausdruck »Umformung« in Vorschlag, und zwar im Gegensatz zur »Zertrümmerung«; bei der »Umformung« ändert der Körper nur seine Gestalt, bei der »Zertrümmerung« verliert er sie. In diesem Sinne wäre die bruchlose Faltung noch eine »Umformung«, aber ein paar Risse in den Falten würden genügen, um den Begriff der »Formung« auszuschließen; wenn aber nach ziemlich allgemeiner Annahme die Bruchfalten in größerer Tiefe, soweit sie dort nicht ausklingen, in bruchlose Falten übergehen, so wäre derselbe faltenschaffende Vorgang zwar in der Tiefe eine »Umformung«, in höheren Solen aber nicht mehr. Da es nun bei der Diskussion bedeutsamer geologischer Fragen zunächst auf die Tatsache und den Grad der Einengung an sich ankommt, ganz abgesehen davon, wie sie geschah, ob bruchlos oder ob unter Bruchbildung, so bedürfen wir eines Begriffes, der noch weiter gefaßt ist, als »umformbar« im Sinne von MILCH, und als solcher wird eben »mobil« bzw. sein Gegenteil »stabil« im folgenden verwandt.

Die Mobilität der Gesteinsmassen, die uns an der Tagesoberfläche entgegentreten, ist nun abhängig von der Beschaffenheit der Einzelmaterialien und vom ganzen Gesteinsverbande. Ein stark gefalteter Boden zeigt nach allgemeineren Erfahrungen eine erhebliche Widerstandskraft gegen neue Verbiegung, besonders wenn sie nicht im Sinne der alten Faltenwellen verläuft, während vielleicht die Mehrzahl der Komponenten dieses Gebirges als Einzelplatten der Verbiegung weit geringeren Widerstand entgegensetzen würden. So haben wir die Spezialmobilität des einzelnen Gesteinsstückes von der Komplexmobilität der größeren tektonischen Einheit zu unterscheiden. Gerade die Versteifung der Erdzonen durch Faltung ist von besonderer Bedeutung. Mit ihr hat man sich schon vielfach beschäftigt, so z. B. FRECH (Tribulaungruppe 1893, Karnische Alpen 1894) in den Alpen, V. UHLIG[2]) in den Karpathen, und auch sonst ist in Mitteleuropa und

[1]) Vgl. u. a. R. LACHMANN, Salzauftrieb, 3. Folge. Zeitschr. Kali, 6. Jahrgang.

[2]) V. UHLIG, Über Gebirgsbildung. Wien 1904. S. 16: »Das mesozoische Faltungsgebirge erweist sich widerstandsfähig gegen die alttertiäre, das alttertiäre Gebirge widerstandsfähig gegen die jungtertiäre Faltung.«

speziell in Mitteldeutschland zu erkennen, daß der jüngere Faltungsvorgang die Massen mit älterer Faltung, d. h. die variscischen »Rahmen«, sozusagen umgeht und erst in den gerahmten Feldern in dem Maße an Bedeutung gewinnt, wie sich über dem gefalteten Grundgebirge ein flaches Sediment, d. h. solches von größerer Mobilität, einstellt[1]). Sicher sind aber in vielen Fällen größerer Starrheit eines Grundgebirges auch allerlei magmatische Injektionen oder auch, wie Löwl in seinem Lehrbuche der Geologie annahm, die höhere Lage des kristallinen Untergrundes von Bedeutung. Die Erstarrung gefalteter Gebiete spielt ja auch in der E. Suessschen Synthese der Gebirge unserer Erde eine ganz besondere Rolle, und zwar definiert Suess die Erstarrung als das »Ende der Spannungen«[2]). So gilt für Suess die Rheingegend als »erstarrt«, weil dort »einseitige gebirgsbildende Spannung« fehlt. Suess möchte die Ursache der Erstarrung in den Senkungen suchen. In diesem Sinne wird von ihm in Erwägung gezogen (l. c.), ob vielleicht die europäischen Senkungen die Erstarrung der variscischen Zonen herbeigeführt haben, und zwar hat er dabei, wie er es später nochmals klar ausspricht[3]), die Einsenkungen im Innern des Rahmens im Auge. Unmöglich kann man meines Erachtens E. Suess hierin zustimmen[4]). Senkungen mit anschließender Sedimentation bringen, wenn wir von Ausnahmefällen der Erfüllung der Senkungen durch ungewöhnlich mächtige und starre, wohl meist zoogene, Kalkmassen oder durch mächtige vulkanische Ergüsse absehen, flache und mobilere Schichttafeln dorthin, wo vor der Senkung gefaltetes variscisches Gebirge lag, d. h. sie ersetzen Material von höherer komplexer Stabilität durch mobileres, und so finden wir ja die mobilen Zonen innerhalb des variscischen Rahmens gerade dort, wo die Senkungen eingetreten waren. Ich meine also gerade entgegen der Suessschen Auffassung, daß Senkungen innerhalb einer größeren tektonischen Einheit nicht zur Erstarrung führen, sondern neue Mobilität und neues tektonisches Leben in vorher starrere Zonen hineintragen[5]).

---

[1]) H. Stille, Die mitteldeutsche Rahmenfaltung. 3. Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins 1910, S. 141ff.

[2]) E. Suess, Antlitz der Erde III, 2, S. 720.

[3]) »Unter diesen Umständen mußte die Frage erwachen, ob die Einsenkungen im Innern des Rahmens die Ursache seiner Erstarrung sind.« E. Suess, Über die Zerlegung der gebirgsbildenden Kraft. Mitt. Geol. Ges. Wien 1912, S. 60.

[4]) Zur notwendigen Erläuterung einer bestimmten Vorstellung habe ich den nachfolgenden Gedankengang, z. T. mit denselben Worten, in einer Fußnote zu dem Anm. 2 S. 100 zitierten Aufsatze über »Hebung und Faltung im sogenannten Schollengebirge« schon kurz vorwegnehmen müssen.

[5]) Etwas anders kann zwar die Sachlage sein, wenn es sich nicht, wie es E. Suess in bezug auf die Verhältnisse Mitteleuropas vorschwebte, um Senkungen innerhalb, sondern um solche neben einer tektonischen Einheit handelt. Das spielt zwar weniger eine Rolle bei undulatorischen Vorgängen (Faltungen), als bei undatorischen. In späteren Ausführungen über Undationsgesetze wird zu zeigen sein, daß ein tektonischer Komplex von bestimmter Resistenz sich neben

Die jeweilige Mobilität des Gesteins ist die Funktion der verschiedenartigsten physikalischen Verhältnisse, unter denen das Gestein steht, und sie ändert sich natürlich, sobald das Gestein unter veränderte Verhältnisse kommt. So steigert sie sich mit zunehmender Tiefe. Die dabei in Frage kommenden mobilisierenden Faktoren Belastung und Temperatur führen zu der »latenten« Teufenmobilität der anorogenetischen Zeiten, wie ich mit einer Variante der bekannten HEIMschen Ausdrucksweise sagen möchte.

Der orogenetische Druck setzt nun ein und die Teufenmobilität tritt, um wieder an den HEIMschen Ausdruck anzuschließen, aus der Latenz in die Aktivität. »Die Überlastung macht deformierbar, die Dislokation deformiert,« — so hat MILCH (l. c.) den HEIMschen Gedankengang etwas anders ausgedrückt. Aber meines Erachtens wirkt in manchen Fällen der orogenetische Druck nicht nur dislozierend (deformierend), sondern unter Umständen auch noch, und zwar zunächst, mobilisierend, so daß das zunächst stärker mobilisierte Material danach mit um so kleinerem Arbeitsaufwande deformiert werden kann. Ein Beispiel gibt das Salzgebirge, hinsichtlich dessen ich schon an anderer Stelle[1]) die Auffassung vertreten habe, daß erst der orogenetische Druck ihm den hohen Grad von Faltbarkeit übermittelt. Das Salz ist in den Teufen, in denen es unserer Beobachtung noch zugänglich ist, und auch in den tiefsten Bohrungen, aus denen die Kerne geholt worden sind, ein recht starrer Körper, — darauf hat auch R. LACHMANN[2]) nachdrücklich in einer Diskussion gegen E. HARBORT über die Ursachen des Salzaufstieges hingewiesen. In kaum einem anderen Gesteine können derartig große Räume, wie die Abbaufirsten unserer Kaliwerke, ohne jede Verzimmerung bestehen! Wenn sich nun aber feststellen läßt, daß das Salz auch noch, nachdem es bereits in geringere Teufen gehoben worden war, weitere Faltungen und Aufwärtsbewegungen unter bruchloser und wohl im wesentlichen plastischer innerer Umformung erfahren hat, so müssen wir eben für die Zeiten der Umformung

---

einer durch mobileres Material wieder erfüllten Senkung oder gar zwischen solchen Senkungen relativ starr verhalten kann, und schon deshalb hier der undatorischen Aufwärtsbewegung unterliegt, während er neben einer ihn an Starrheit übertreffenden Zone sich als relativ mobil erweist und im wesentlichen deshalb bei der Undation einen abwärtigen Weg nimmt. Im ersteren Falle bedingt allerdings, — oder steigert doch wenigstens, — eine Senkung, aber eine solche neben der starreren Einheit, ein starreres Verhalten.

Ich wiederhole nochmals, um jegliche mißverständliche Auffassung auszuschließen: Die absolute oder doch relative Starrheit einer tektonischen Einheit wird im allgemeinen durch Senkungen innerhalb derselben vermindert, durch solche neben derselben erhöht. In den SUESSschen Gedankengängen handelt es sich aber um Senkungen innerhalb der tektonischen Einheit.

[1]) H. STILLE, Das tektonische Bild des Benther Sattels. 7. Jahresber. d. Niedersächs. geol. Ver. 1914, S. 342—343.

[2]) R. LACHMANN, Der Salzauftrieb, 3. Folge. Zeitschr. Kali. 6. Jahrg. Sonderdruck, S. 36—38.

eine besondere mobilisierende Kraft und als solche den orogenetischen Druck annehmen, und dafür spricht namentlich, daß Aufwärtsbewegung und Faltung zu den Zeiten der Wirksamkeit dieses Druckes eingetreten sind und also gerade damals der hochmobile Zustand vorhanden war. Damit erledigt sich auch der von Lachmann gegen die plastische Umformung geltend gemachte Einwand, daß das Salz in der Tiefenlage, in der es der Umformung unterlag, gar nicht plastisch gewesen sei und daß schon deshalb andere Formen bruchloser Umformung, und zwar speziell Umkristallisationen, in Frage kommen müßten. Der Zustand in der heutigen anorogenetischen Zeit ist eben nicht der gleiche wie derjenige während der Umformung in den orogenetischen Phasen. Gewiß sind auch Umkristallisationen im Salzgebirge in erheblichem Umfange erkennbar, und mögen sie auch oft genug unter dem orogenetischen Drucke eingetreten sein und an der »bruchlosen« Umformung des Salzgebirges in den orogenetischen Phasen ihren Anteil haben, so sind sie anderseits doch zum guten Teile vortektonischer und auch nachtektonischer, das heißt im alten Sinne Everdings »posthumer« Art.

Zur Belastung und Temperatur tritt also unter Umständen als weiterer mobilisierender Faktor der orogenetische Druck hinzu, — und zwar indem er im wesentlichen die Plastizität, daneben wohl auch die Möglichkeit zu Umkristallisationen, Ummineralisationen und Translationen erhöht. »Überlastung macht deformierbar, Dislokation deformiert,« — so hieß der alte Heimsche Satz in der Milchschen Fassung (s. oben); »Überlastung macht deformierbar, Dislokation erhöht u. U. die Deformierbarkeit und deformiert«, — so möchte ich ihn etwas erweitern. Auch die Zeit mag eine gewisse Bedeutung als mobilisierender Faktor haben, denn schließlich sind auch — geologisch gesprochen — »kurzdauernde« Vorgänge nicht von heute auf morgen geschehen, doch kommt sie natürlich für die orogenetischen Erscheinungen nicht in annähernd gleichem Maße in Betracht, wie für die Undationen in den langen anorogenetischen (epirogenetischen) Zeiten.

Die verschiedengradige Mobilität der Materialien und der ganzen Erdzonen ist ja von größter Bedeutung bei der Erklärung der Faltenverteilung an der Oberfläche unseres Planeten. Nur in den archäischen Gesteinen ist die Faltung überall sichtbar, worauf ganz besonders E. Suess[1]) und im Anschluß an ihn V. Uhlig[2]) hingewiesen haben. Uhlig spricht von der »Ubiquität« der archäischen Faltungen als einem bezeichnenden Merkmale derselben gegenüber allen jüngeren Faltungen, so schon denen des paläozoischen Zeitalters. Die zuneh-

[1]) Vgl. u. a. E. Suess, Antlitz der Erde III, 1, S. 7: »Die faltende Kraft ist einst über den ganzen Erdball tätig gewesen, heute aber örtlich beschränkt.«

[2]) Viktor Uhlig, l. c. S. 10: »Die Faltung war daher in jener frühesten Urzeit der Erde ein universeller Prozeß, der in allen Teilen der Erdkruste Spuren hinterließ.«

mende Differenzierung in starrere und mobilere Erdzonen gilt als Ursache der Lokalisierung der jüngeren Faltungen. Auf Mobilitätsverhältnissen beruht ja auch in erster Linie der Gegensatz zwischen den ungefaltet bleibenden Schwellen und der starken Faltung um diese herum in den ehemaligen Geosynklinalgebieten, und so erklärt sich das ganze Bild der ihre Stammschwellen umziehenden Faltenkränze. Gefaltet wurden in erster Linie diejenigen Erdschnitte, die nach ihrer Gesamtbeschaffenheit, und nicht etwa nur in einer vielleicht nur geringmächtigen Oberschicht, am leichtesten faltbar waren, — soweit nicht etwa Abscherungen größten Stiles die Oberschicht unabhängig von ihrer Unterlage machten.

Aber nicht nur in nebeneinander, sondern auch in übereinander liegenden Zonen und Materialien kann infolge größerer Mobilitätsunterschiede der Grad der Faltung ein verschiedener sein. Schon die stärkere Faltung und Fältelung der Schiefertone und Tonschiefer unseres paläozoischen Grundgebirges gegenüber den starreren Quarziten und Grauwacken, zwischen die sie oft eindringen, ist ein Beispiel dessen, und von besonders extremen Fällen dieser Art wird bei der Deutung der injektiven saxonischen Faltung die Rede sein. Stark mobile Materialien werden dann unter Umständen beim Einsetzen des Faltungsdruckes auch stark injektiv.

Die verschiedenartige Reaktion auf den Gebirgsdruck innerhalb eines und desselben Profiles aus rein qualitativen (stofflichen oder strukturellen) Gründen bezeichne ich mit einem auch sonst schon in der Literatur in diesem Sinne gebrauchten Ausdrucke[1]) als eine »disharmonische«. Disharmonische Faltung werden wir zwar besonders auffällig in manchen Teilen des inkongruenten[2]) Faltenwurfes und in gewissen Fällen sogar als Ursache oder doch als Mitursache der Inkongruenz zwischen Mulden und Sätteln kennen lernen, aber keineswegs ist jede inkongruente Faltung auch eine disharmonische, wie anderseits disharmonische Reaktionen auf den tektonischen Druck auch bei kongruenten Faltungsformen durchaus nicht fehlen.

Die Folgen unharmonischen Verhaltens der Gesteine sind die namentlich in den Faltengebirgen schon oft diskutierten tektonischen Diskordanzen (»Faltungsdiskordanzen«).

---

[1]) E. Haug, Traité de Géologie, I, 1907, S. 216. — A. Buxtorf (Prognosen und Befunde beim Hauensteinbasis- und Grenchenbergtunnel usw. Verh. naturf. Gesellsch. Basel 1916, Bd. XXVII, S. 249) spricht von der »unharmonischen« Faltung der Malmkalke über den Oxfordtonen. Vgl. ferner F. A. Schaffer, Grundzüge der Allgem. Geologie 1916, S. 133 und Fig. 169 auf S. 135.

[2]) Bei der inkongruenten Gebirgsbildung erfahren die Faltenelemente Sattel und Mulde eine ungleiche Entwicklung, die unharmonische Faltung zeigt sich dagegen in ein und demselben Faltenelemente, z. B. innerhalb ein und desselben Sattels.

b) Der Faktor Position.

(Erreichbarkeit für den orogenetischen Druck.)

Die bisher betrachtete Mobilität der einzelnen Erdzonen vermag allein nicht den örtlichen Grad der Reaktion auf den Faltungsdruck zu erklären, — finden wir doch, daß unter Umständen relativ mobile Materialien und Erdschnitte ungefaltet bleiben, während sich solche gleicher oder gar geringerer Mobilität oft in unfernen Zonen falteten. Auch die Lageverhältnisse spielen eine große Rolle. Eine zu faltende Gesteinsmasse muß eben nicht nur ausreichend gefügig gegenüber dem tektonischen Drucke, sondern auch für ihn erreichbar sein. Dabei wird durch die Mobilitätsverhältnisse der Grad der Gefügigkeit, durch die Positionsverhältnisse[1]) der Grad der Erreichbarkeit bestimmt.

Wir sprachen von der Faltung der mobileren Geosynklinalzonen neben den starreren und deshalb der Faltung widerstehenden Massen. Es ergreift nun aber in sehr vielen Fällen die Faltung nicht die ganze Geosynklinale, sondern nur die mehr randlichen Zonen und verklingt in der Richtung auf die inneren Teile, die durchaus nicht weniger mobil, meist sogar mobiler sind. Man mag den Faltungsdruck als von den Schwellen (Rahmen) kommend annehmen und das Verklingen der Faltung als Folge der durch Reibungswiderstände hervorgerufenen Verschwächung der faltenden Kraft mit zunehmender Entfernung von der Schwelle betrachten[2]), oder man mag, wie E. Suess es zum Teil tat, die Rolle der Schwellen als eine rein stauende für die durch ganz andersartigen Impuls geschaffenen Erdwellen auffassen, — jedenfalls ist durch den zunehmenden Abstand von der Schwelle oder, allgemeiner gesagt, durch positionäre Verhältnisse das Verklingen der Faltung zu erklären.

Ebensowenig wie allein die Mobilität bedingt aber auch allein die Schwellennähe den Grad der Faltung, — finden wir doch, daß der Faltenkranz um die Schwellen auf gewisse Erstreckungen oder gar gänzlich fehlen kann oder daß zwischen der Schwelle und den Faltenzügen noch weite, allerdings relativ flachgründige, ungefaltete Zonen[3])

---

[1]) Außer durch diese kann die »Erreichbarkeit« in manchen Fällen anscheinend auch noch durch die Ausgestaltung der vermittelnden Zone zwischen Schwelle und Geosynklinale beeinflußt sein.

[2]) Im Sinne der Kontraktionstheorie erklärt sich der besondere Druck, den die Schwelle auf die angrenzenden Geosynklinalgebiete bei dem Faltungsvorgange ausübt, aus der Starrheit der Schwelle. Die notwendig werdende Einengung verteilt sich infolge der Dishomogenität des Untergrundes ungleichmäßig (vgl. oben), das Starre behält annähernd seine alte Ausdehnung, nimmt dadurch dem Mobileren einen Teil des Raumes, der diesem bei gleichmäßiger Einengung zukommen würde, und zwingt es somit durch seine Resistenz zu verstärktem Zusammenschube. Die »faltende« Wirkung der Schwelle ist in diesem Sinne gewissermaßen eine aktive Wirkung aus Passivität.

[3]) Gerade diese werden dann oft in einer späteren Phase nach inzwischen eingetretener Erhöhung der Faltbarkeit durch stärkere säkuläre Senkung und

bleiben. Vielmehr ist das Verteilungsbild der Falten oder, was auf dasselbe hinauskommt, die regionale Intensität der Faltung eine Funktion der Mobilität und der Distanz von der Stammschwelle, und erst diese beiden Faktoren zusammen bestimmen, inwieweit eine Erdzone für die Faltung prädestiniert ist.

Doch nicht nur in horizontaler, sondern auch in vertikaler Richtung kann sich aus den Lageverhältnissen ein Schutz für an sich mobile Materialien ergeben. Wir stellen uns eine starre Platte und darüber ein System flacher und mobiler Schichten vor und lassen nun den orogenetischen seitlichen Druck wirken. Dann leistet natürlich die starrere Platte Widerstand, aber auch die zunächst über ihr liegenden Schichten und, in sich verschwächendem Maße, die alsdann folgenden sind durch die starre Basalplatte der vollen Wirkung des seitlichen Druckes entzogen. So muß auch ein infolge älterer Faltung oder aus sonstigen Gründen starreres »Grundgebirge« einen Schutz auf sein Hangendes ausüben, und zwar bis zu einer bestimmten Höhe und in einem nach dem Hangenden sich verschwächenden Grade. Wir wollen im folgenden von dem festlegenden »Grundschutze« (»Basalschutze«) der starreren Unterlage innerhalb ihrer bis zu bestimmter Höhe reichenden »Bannzone« sprechen. In dieser Bannzone nimmt die Angreifbarkeit in abwärtiger Richtung, d. h. entgegen der wenn auch geringen Zunahme der Teufenmobilität, ab.

Der Basalschutz muß um so stärker sein, je starrer die Basis ist, und sich deshalb mit zunehmender Tiefenlage der Basis verschwächen. Mit der Basis sinkt aber auch die Bannzone, und so wirkt die zunehmende Tiefe auf die Bannzone in zweierlei Hinsicht faltungserleichternd: sie erhöht erstens die Mobilität der Bannzone und sie vermindert zweitens den faltungshemmenden Grundschutz, indem sie die Starrheit des Grundgebirges herabsetzt.

Auch von einem »Flankenschutz«, der unter ganz besonderen Verhältnissen auf an sich mobilere Schichttafeln durch senkrecht oder schräg zur Richtung der Faltung stehende starrere Massen ausgeübt werden kann, wird unten noch gelegentlich die Rede sein.

c) Selektive Faltung nach Mobilität und Position.

Die in gewissen Phasen der Erdgeschichte einsetzende Faltung verfährt, wie wir nun sagen wollen, selektiv (auswählend), und zwar

1. hinsichtlich nebeneinander liegender Zonen (»zonare Selektion«),
2. hinsichtlich übereinander liegender Niveaus und Materialien.

---

entsprechende Sedimentation zu Stätten starker Gebirgsbildung (Wandern der Gebirgsbildung rahmenwärts, z. B. der Alpenfaltung nach Norden gegen die variscischen Rahmen, der Faltung des Himalaja und Hindukusch südwärts gegen Gondwanaland, der Faltung der Pacific Mountains Nordamerikas — jungjurassische »Pacific-Revolution« — ostwärts gegen den kanadischen Schild in der spätoretacisch-alttertiären »Laramide-Revolution« der Rocky Mountains).

Die Auswahl erfolgt entsprechend der Angreifbarkeit der Zonen und Materialien, wobei die Angreifbarkeit sich zum Teil auf die größere oder geringere innere Stärke (substantielle Verhältnisse), zum Teil auf die mehr oder weniger geschützte Lage (Positionsverhältnisse) gründet; in diesem Sinne wirken substantielle Selektion (Auswahl nach Mobilität) und positionäre Selektion (Auswahl nach Lage) zusammen.

Auf substantielle Selektion kommt die disharmonische Faltung innerhalb ein und desselben Erdschnittes hinaus. Auch die zonare Selektion ist zum guten Teil eine substantielle, doch kommt es bei ihr nicht so sehr auf die Mobilität der Einzelsubstanz, als vielmehr auf die durchschnittliche Mobilität ganzer Gesteinszonen an.

Die positionäre Selektion wurde im vorigen Kapitel durch zwei Beispiele erläutert, deren eines solche Erdzonen, die nebeneinander, deren anderes solche, die übereinander liegen, betraf. Die Faltung ergreift in verstärktem Maße die für sie am leichtesten erreichbaren Gesteinsmassen, d. h. in ersterem Falle die einer starreren Schwelle in horizontalem Sinne näher liegenden, im zweiten Falle die von einem starreren Grundgebirge in vertikalem Sinne entfernteren. Es schützt beim horizontalen Nebeneinander die Entfernung (»Distanzschutz«), beim vertikalen Übereinander die Nähe (»Basalschutz«) des Starreren.

2. Faltung und Faltungsarbeit.

Der orogenetische Druck vollbringt bei der Einengung der Gesteinsmassen auf schmäleren Raum

1. seitliche Verfrachtung (Schubarbeit),
2. Hochbewegung (Hebungsarbeit),
3. Deformation (Deformationsarbeit).

Unter »Deformation« sind hier die gesamten Veränderungen innerhalb der durch den seitlichen Druck seitwärts und aufwärts bewegten Massen verstanden, und zwar sowohl die große Umformung zu einem Systeme von Falten und Schollen usw., wie auch die Kleinarbeit der »inneren« Umformungen.

Die drei Arten der Arbeitsleistung greifen ineinander (z. B. Deformation unter seitlicher Verfrachtung und Hochbewegung), aber dennoch ist hier zum besseren Verständnis gewisser tektonischer Dinge die schärfere Trennung einmal geboten.

Die Schubarbeit tritt bei der so schwachen saxonischen Faltung in den Hintergrund. Sehen wir von ihr ab, so erscheint diejenige Art der Faltung als besonders arbeitsökonomisch, die

1. Hebungsarbeit,
2. Deformationsarbeit

möglichst erspart.

Hebungsarbeit kann z. B. durch Ausnutzung irgendwelcher gesteigerten Aufnahmemöglichkeit der tieferen Solen oder durch gesteigerte Hochbewegung der spezifisch leichteren Stoffe zugunsten schwächerer

Hochbewegung der spezifisch schwereren verringert werden. Auch unter diesem Gesichtspunkte haben wir nachher gewisse Verhältnisse nachzuprüfen.

Ob ich nun ein Kilogramm starren Eisens oder ein Kilogramm beweglichen Wassers hebe, ist ja in bezug auf die erforderliche Hebungsarbeit gleichgültig. Aber ein großer Unterschied tritt hinsichtlich der erforderlichen Arbeitsleistung ein, wenn die Hebung unter Einengung — und das ist im allgemeinen der Vorgang bei der Faltung — zu vollbringen ist, — nur ist es ja nicht Hebungsarbeit, die bei dieser Art der Hebung bei dem mobileren Materiale gegenüber dem starreren erspart wird, sondern Deformationsarbeit. Nur in diesem Sinne ist es natürlich zu verstehen, wenn im folgenden gelegentlich davon die Rede sein wird, daß die höhere Mobilität die Hebungsarbeit erleichtert.

Die Größe der Deformationsarbeit bleibt der in erster Linie ausschlaggebende Faktor, wenn wir die verschiedenen Formen der Faltung einmal unter dem Gesichtspunkte der Arbeitsökonomie betrachten und zu verstehen suchen. Speziell kommt es dabei auf die Verbiegungsarbeit an. Hierbei ist selbstverständlich zu bedenken, daß die sehr intensive Verbiegung eines mobileren Materiales unter Umständen weit geringere Arbeit erfordert, als schon die ganz schwache Verbiegung eines starreren.

Verbiegungsarbeit kann somit auf folgende zwei Arten erspart werden:

1. Die Verbiegung wird ganz besonders in solche Substanzen verlegt, die ihr wenig Widerstand entgegensetzen, zugunsten der Ersparnis von Verbiegung in starreren Materialien (disharmonische Verbiegung).
2. Die Verbiegung an sich bleibt möglichst gering und wird durch andere Formen der Einengung auf schmäleren Raum, die durch besondere Verhältnisse begünstigt sind, wenigstens teilweise ersetzt.

Zu 1. Von der Ersparnis der Verbiegungsarbeit auf erstere Art wird weiterhin noch die Rede sein. Sie kann sich bei der Auffaltung stark dishomogener Massen einstellen, indem die mobileren Massen, die sich unter entsprechend starker, aber mit geringerem Arbeitsaufwande erzielbarer Deformation neuen Raumverhältnissen leicht einzupassen vermögen, weit voraneilen, während die Hochbewegung der starreren Materialien gerade wegen der Schwierigkeit der inneren Deformation entsprechend geringer ist.

Zu 2. Die Schicht $\alpha\alpha$ ist in den engeren Raum $\beta\beta$ einzupassen. Das kann z. B. geschehen

Fall 1: durch Verbiegung der Schicht;

Fall 2: durch Ausstoßung eines Stückes hinab ins Hangende oder hinauf ins Liegende.

Im Falle 2 a ist das ausgestoßene Stück aus dem Zusammenhange der übrigen Schicht gänzlich herausgerissen, im Falle 2 b ist es verbogen und der Zusammenhang mit der übrigen Schicht wenigstens teilweise gewahrt.

Im Falle 1 ist eine sehr weitgehende Verbiegungsarbeit zu leisten, in den Fällen 2 ist sie aber erspart (2 a) oder doch lokalisiert und herabgesetzt (2 b) durch den Herausschub einzelner Stücke und deren Vortrieb in das Liegende oder Hangende. Der Gedanke liegt ohne weiteres nahe, daß in den Fällen 2 a und 2 b bestimmte Verhältnisse den Eintrieb einzelner Stücke in das Liegende oder Hangende begünstigt haben mögen[1]); denn sind solche Verhältnisse gegeben, so entspricht es nur dem allgemeinen Gesetze der Arbeitsersparnis, daß die Einzwängung der Schichten auf engeren Raum sich diese Verhältnisse zunutze macht und daß damit die Verbiegung auf Teile der Schichtmassen beschränkt bleibt oder gar vermieden wird, — und das namentlich, wenn es sich um relativ starre Materialien handelt. Die Lokalisierung des tektonischen Vorganges auf die schmale Mittelzone bringt aber eine ganz besondere Arbeitsersparnis, wenn sich hier infolge irgendwelcher Vorgänge Materialien höherer Mobilität einstellen.

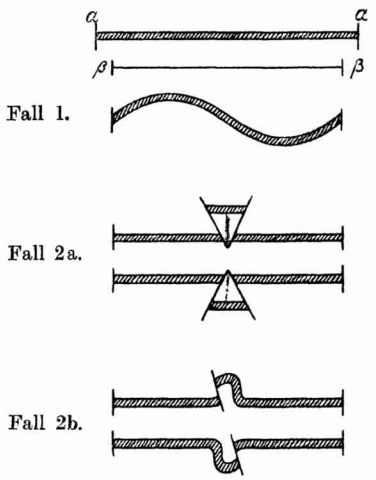


Fig. 8. Formen der Einpassung auf engeren Raum.
Fall 1: Totalverbiegung.
Fall 2a: Keine Verbiegung.
Fall 2b: Partielle Verbiegung.

Man könnte zunächst fragen, ob vielleicht Spalten, entlang denen im Hangenden oder Liegenden das Gebirge weit klafft, den tektonischen Eintrieb fördern. Wenn nun auch ein Eindringen von Materialien in Spalten in ganz extremen Fällen der Mobilität vorkommt, so kann derartiges zur Erklärung der Gesamterscheinung der inkongruenten saxonischen Faltung schon deshalb nicht in Frage kommen, weil diese auch ohne Verwerfungen eintritt und weil die Verwerfungen, wo vorhanden, nicht Ursache, sondern eine aus den speziellen Verhältnissen des Untergrundes sich erklärende Begleiterscheinung des tektonischen Vorganges der Ausstülpung oder Einstülpung sind (vgl. oben).

[1]) Dazu gehört im Falle 2a, daß die Risse, an denen die Aufwärts- oder Abwärtsbewegung erfolgt, infolge Sprödigkeit des Materials ohne großen Arbeitsaufwand zu erzielen sind.

III. Erklärung der kongruenten und injektiven saxonischen Faltung.

1. Das Untergrundbild bei Eintritt der saxonischen Faltung.

Wollen wir nunmehr die eigenartigen Formen der saxonischen Faltung, und namentlich die injektiven, zu erklären versuchen, so müssen wir zunächst das Bild, das der zu faltende Untergrund beim Einsetzen der Faltung bot, und überhaupt die Verhältnisse, unter denen die Faltung erfolgte, ins Auge fassen und müssen bei einer vergleichenden Betrachtung der Gebiete, in denen die Faltung zu so verschiedenen Formen geführt hat, besonders den gegensätzlichen Verhältnissen Beachtung schenken. Ich tue das in Form der nachstehenden Tabelle, in der »Niederhessen«, »Südhannover« und »Nordhannover« natürlich nicht genau in ihren geographischen Grenzen, sondern in der Ausdehnung der für diese Gebiete typischen Faltungsform zu verstehen sind. In diesem Sinne sind z. B. der südhannoversche Solling und das südhannoversche Eichsfeld noch »Niederhessen«.

	a. Niederhessen.	b. Südhannover.	c. Nordhannover.
1.	Starke variscische Faltung.	Starke variscische Faltung.	Variscische Faltung nur noch im Süden, klingt aus nach Norden.
2.	Salzflöz großer Mächtigkeit entsteht im Ausgange der Dyas.	Salzflöz sehr großer Mächtigkeit entsteht im Ausgange der Dyas.	Salzflöz von ganz besonders großer Mächtigkeit entsteht im Ausgange der Dyas.
3.	In Oberdyas, Trias und teilweise noch im Lias Teil des Germanischen Beckens. Danach meist Teil des Mitteldeutschen Festlandes.	In Oberdyas und Trias Teil des Germanischen und danach des Niederdeutschen Beckens, und zwar	
		randnaher Teil des letzteren.	randfernerer Teil des letzteren.
4.	Sedimentation nur bis in die ältere Jurazeit und vorübergehend wieder im Tertiär. Denudation in langen geologischen Zeiten.	Seit Ausgang des Paläozoikums fast ununterbrochen starke Sedimentation bis zum Tertiär und z. T. auch noch in diesem. Denudationen nur sehr lokal und im allgemeinen nur nach orogenetischen Phasen.	
5.	Triadische und altjurassische Sedimente infolge epirogenetischer Heraushebung schon vor der saxonischen Faltung z. T. wieder beseitigt. Auch Salzflöz vielleicht hier und da schon wieder ausgelaugt. Jüngere Sedimentation unterblieben oder gering.	Triadische und jurassische Sedimente infolge epirogenetischer Absenkung bei Beginn der saxonischen Faltung noch in ursprünglicher Mächtigkeit vorhanden. Auch Salzflöz damals wohl noch überall intakt.	
		Mächtige jüngere Sedimentation.	Sehr mächtige jüngere Sedimentation.

	a. Niederhessen.	b. Südhannover.	c. Nordhannover.
6.	Variscisch gefaltetes Grundgebirge bei saxonischer Faltung in geringerer Tiefe (»flachgründiges« postvariscisches Deckgebirge).	Variscisch gefaltetes Grundgebirge bei saxonischer Faltung in größerer Tiefe (»tiefgründiges« postvariscisches Deckgebirge).	Variscisch gefaltetes Grundgebirge bei saxonischer Faltung in sehr großer Tiefe oder gar fehlend (sehr »tiefgründiges« oder gar »grundloses« postvariscisches Deckgebirge).
7.	Mächtiges Salzflöz bei Faltung in durchschnittlich etwa 1000m Tiefe dicht über dem variscischen Grundgebirge.	Sehr mächtiges Salzflöz bei Faltung in mehrere tausend Meter Tiefe dicht über dem variscischen Grundgebirge.	Sehr mächtiges Salzflöz bei Faltung in viele tausend Meter Tiefe, nur im Süden noch dicht über einem gefalteten Grundgebirge, im Norden über flachen paläozoischen Schichttafeln.

Die Punkte 1—5 bilden die historische Erklärung für den unter 6—7 erläuterten Zustand des Bodens bei Eintritt der saxonischen Faltung.

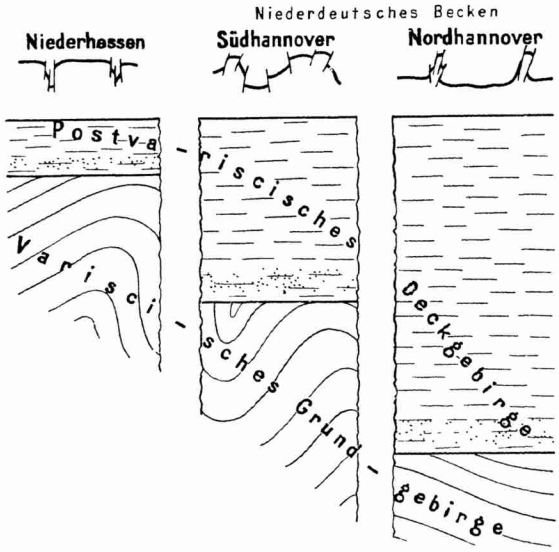


Fig. 9. Untergrund und Faltungsform bei der saxonischen Gebirgsbildung. — Die Punktierung im tieferen Teile des postvariscischen Deckgebirges zeigt die Lage des permischen Salzflözes an.

Kurz und zunächst ohne Berücksichtigung des für einen Teil der zu behandelnden Fragen zwar sehr bedeutsamen permischen Salzflözes gesagt, finden wir die dejektive Faltung (niederhessischer Typus)

in einem flachgründigen Schwellengebiete, die harmonische Faltung (südhannoverscher Typus) in tiefgründigen und schwellennahen, die ejektive Faltung (nordhannoverscher Typus) in sehr tiefgründigen bis grundlosen und schwellenferneren Zonen. Fig. 9 veranschaulicht dieses noch bildlich in schematischer Weise.

2. Selektive saxonische Faltung.

Betrachten wir nun zunächst im Anschluß an die obigen Ausführungen über die Bevorzugung bestimmter Zonen und Materialien durch den Faltungsprozeß die wechselnde Intensität der Faltung in den saxonischen Gebieten.

Da ist vorweg hervorzuheben, daß ja die ganze saxonische Faltung nur recht schwach ist, wenn wir die Stärke der Faltung nach dem Grade des durch sie hervorgerufenen Zusammenschubes beurteilen und wenn wir vergleichsweise etwa die Verhältnisse des variscischen Bogens oder unserer jungen »echten« Faltengebirge heranziehen. Nur ganz lokal und in bestimmten Gesteinsgliedern (Salz) können sich Faltungserscheinungen zeigen, die gegenüber alpinen nicht zurückstehen. Wenn wir also von einer »stärkeren« saxonischen Faltung reden, so ist das nur im Rahmen des ganzen Phänomens der saxonischen Gebirgsbildung zu verstehen. Der saxonische Boden war eben im großen und ganzen wenig gefügig, und zwar aus mancherlei Gründen. In Betracht kommt in diesem Sinne neben dem Vorhandensein des variscisch gefalteten Untergrundes ganz besonders dessen von der saxonischen Faltung abweichendes Streichen und sodann die vielfach nur geringe Bedeckung, unter der die Falten entstanden. Ferner brachte es die oft nur relativ geringe Ausdehnung der in den variscischen Untergrund eingesenkten Spezialbecken und deren mehrseitige Umrandung durch starrere Rahmen mit sich, daß die Einengung parallel zum einen Beckenrande den Widerstand (»Flankenschutz«) der schräg oder senkrecht dazu stehenden Rahmenzonen fand. So mag z. B. bei der Faltung des Thüringer Beckens zwischen Thüringer Wald und Harz auch der Flankenschutz des das Becken im Osten umrahmenden Grundgebirges gewirkt haben. In dem relativ widerspenstigen Boden treten auch die Erscheinungen der Verbiegung oft stark zurück und dafür erfolgt dann bei der Faltung weithin ein mehr schollenweises Neuverstauen mit teilweisem Übereinanderschieben der Massen, das aber nur eine ziemlich schwache Einengung liefert.

Die Gebiete der mit obiger Einschränkung »starken« saxonischen Faltung grenzen weithin unmittelbar an die Mitteldeutsche Schwelle an. In ihnen (z. B. Südhannover, Teutoburger Wald) herrscht die kongruente Faltungsform. Hier handelt es sich um die Gebiete ganz besonderer Wirksamkeit der »faltengebärenden« Kraft der Mitteldeutschen Schwelle. Die Faltung verschwächt sich von Südhannover aus einerseits

nordwärts (beckenwärts) in den Gebieten des ejektiven Faltungstypus und anderseits südwärts (massenwärts) in den flachgründigen Gebieten der dejektiven Muldenkerne. In letzterem Falle bedingen substantielle Gründe, nämlich die zunehmende Resistenz des Untergrundes, in ersterem positionäre Gründe, d. h. die zunehmende Distanz von der Stammschwelle, das Abflauen der Faltung, die nun ganz besonders diejenigen Zonen ergreift, die einerseits möglichst nahe der Stammschwelle liegen und dabei anderseits von relativ hoher Mobilität sind. Gewiß nimmt die Mobilität nach Norden mit zunehmender Mächtigkeit der postvariscischen Schichtenmassen und zunehmender Tiefenlage des variscischen Untergrundes noch zu, aber das kompensiert nicht die mit der größeren Distanz von der Mutterschwelle zusammenhängende Erschwerung des Faltungsvorganges.

Niederhessen ist, so wollen wir wiederholen, für den orogenetischen Druck wenig gefügig, Nordhannover wenig erreichbar; Südhannover ist ausreichend gefügig und erreichbar.

Hinsichtlich des Eintretens der substantiellen Selektion innerhalb der vertikalen Profile zeigt sich ein gewisser Gegensatz zwischen der dejektiven und der ejektiven saxonischen Faltung. Von der dejektiven Faltung Niederhessens sind nämlich die verschiedensten Schichten (Trias und lokal noch Lias) ziemlich gleichmäßig betroffen, und zwar Sandsteine, Schiefertone, Mergel, mächtigere Kalksteine usw., und höchstens in ganz lokalen Ausnahmen ist eine auf der Materialbeschaffenheit beruhende besondere Bevorzugung einer bestimmten Gesteinsart ersichtlich. Doch anders ist die Sachlage bei den Faltungsejektionen Nordhannovers. Wenn sprödere Gesteinsmassen gewiß auch an ihnen teilnehmen, so ist doch unverkennbar, daß die mobileren Gesteine, wie Tone, tonige Sandsteine, tonige Mergel, mehr noch, als ihrer Beteiligung am normalen Schichtenprofile an sich schon entspricht, in die ejektive Aufwärtsbewegung hineingezogen sind; z. B. scheinen auf den Flanken der Ejektivsättel die »Verwerfungen« sich mit besonderer Vorliebe dort einzustellen, wo der Muschelkalk stecken müßte, und das bedeutet, daß gerade der Muschelkalk in der Aufwärtsbewegung zurückgeblieben ist. In ganz besonderem Maße ist aber das Salz von der Faltung ergriffen und hochbewegt worden und die Achsen Mittel- und Nordhannovers sind ja zum guten Teile geradezu »Salzlinien«.

Bei der dejektiven Faltung Niedersachsens erkennen wir also ein in der Hauptsache harmonisches, bei der ejektiven Faltung Nordhannovers dagegen ein sehr unharmonisches Verhalten der betroffenen Gesteine.

3. Inkongruente Faltung infolge von ungleichmäßiger Druckwirkung.

Die inkongruenten Faltungsformen ersparen Verbiegungsarbeit gegenüber den kongruenten, und zwar zum Teil durch Verringerung der Verbiegung an sich, zum Teil durch Verlegung der erforderlich werdenden Verbiegung in möglichst mobile Materialien. Von vornherein dürfen wir sie nach obigen allgemeineren Ausführungen (vgl. S. 111) namentlich dann erwarten, wenn der injektive Eintrieb durch ganz besondere Verhältnisse erleichtert wird. Daß in diesem Sinne klaffende Spalten nicht oder doch höchstens einmal in Ausnahmefällen in Frage kommen, wurde schon gesagt.

Die Sachlage scheint vielmehr folgende zu sein.

Inkongruente Faltung zeigt sich besonders bei relativ[1]) erheblichen Unterschieden in der Angreifbarkeit übereinander liegender Schichtsysteme, wobei die »Angreifbarkeit« aus den besonderen Verhältnissen teils substantieller, teils positionärer Art resultiert; und zwar ist dort, wo die dejektive Faltungsform herrscht, das Hangende und dort, wo die ejektive Faltungsform herrscht, das Liegende leichter angreifbar. Die stärkere Angreifbarkeit führt bei einsetzendem Faltungsdrucke zu stärkerem Zusammenschube oder kann doch wenigstens dazu führen, während das Hangende oder Liegende schwächer eingeengt wird. Die schwächere Einengung eines bestimmten Erdniveaus können wir auch als seine relative Dehnung gegenüber den Niveaus stärkeren Zusammenschubes bezeichnen.

Die in horizontaler Richtung stärker zusammengeschobenen Massen müssen natürlich in vertikaler Richtung entsprechenden Raum gewinnen. Das kann aber nur in der Richtung der abnehmenden Kompression geschehen, da ja in der Richtung der gesteigerten Kompression durch den noch verstärkten Aufstau der dortigen Massen der Weg versperrt ist. So erklärt sich auch, daß nicht in ein und derselben saxonischen Faltungsform Ejektionen und Dejektionen nebeneinander auftreten, — etwa Stülpsättel und Stülpmulden, getrennt durch Stücke einigermaßen schwebender Lagerung, — denn es ist ja nach der ganzen Sachlage die Injektion entweder aufwärts oder abwärts unmöglich[2]).

Somit kommt die inkongruente Faltung unter gesteigertem Vorschube mobilerer (oder wenigstens doch aus positionären Gründen leichter zusammenschiebbarer) Massen in der Richtung zunehmenden Faltungswiderstandes — und das heißt auch bis auf

---

[1]) »Relativ« zur Stärke der Gesamtfaltung.

[2]) Nur dort, wo nicht eine allgemeinere aufwärtige oder abwärtige Komprimibilitätsabnahme, sondern ein mehr lokaler Komprimibilitätswechsel von Schicht zu Schicht in Frage kommt, wären vielleicht einmal kleinere Ausstülpungen einer besonders mobilen Schicht sowohl in das starrere Hangende, wie in das starrere Liegende denkbar.

einen selbstverständlichen Ausnahmefall (s. unten) in der Richtung zunehmender relativer Dehnung — zustande.

Die ungleiche Komprimibilität führt nun keineswegs in der ganzen Ausdehnung der ungleich faltbaren Niveaus zu ungleicher Einengung. Wäre das der Fall, — wäre z. B. durch die weitesten Gebiete Niederhessens das Hangende überall oder auch nur weithin stärker eingeengt, als das Liegende —, so müßten ja unter Überwindung großer Reibungswiderstände weitgehende horizontale Verschiebungen auf Abscherungsflächen, wie sie sich etwa Buxtorf in dem salzführenden Mittleren Muschelkalke im Untergrunde des Schweizer Juragebirges vorstellt, eingetreten sein, — und von solchen Schubleistungen kann bei der geringen Stärke des saxonischen Druckes keine Rede sein; das zeigen uns auch die Bohrungen und sonstigen Aufschlüsse und der ganze geologische Bau, wenn Abscherungen gewiß auch lokal in geeigneten Materialien innerhalb der Zonen örtlich erhöhter Wirksamkeit des tektonischen Druckes nicht fehlen. Vielmehr ergiebt sich aus der ungleichen Angreifbarkeit nur in ganz bestimmten Faltenteilen eine ungleiche Kompression, und zwar in denjenigen, die an sich schon in der Injektionsrichtung vorbewegt werden, d. h. bei der dejektiven Faltung in den Mulden, bei der ejektiven in den Sätteln.

a) Dejektive Faltung bei starrerer Tiefe.

Niederhessen kennzeichneten wir als Gebiet mit flachgründigem postvariscischen Sedimente über einem variscisch gefalteten Grundgebirge. Die erhebliche Starrheit des Untergrundes ließ, so nahmen wir an, eine irgendwie beträchtlichere saxonische Faltung nicht zustande kommen.

Klar tritt uns hier der Gegensatz zwischen einem mobileren Hangenden (postvariscisches Sediment) und einer resistenteren Tiefe (variscisches Grundgebirge) entgegen. Im Liegenden muß infolgedessen ein starker Einengungswiderstand gewaltet haben, wodurch es beim Einsetzen des orogenetischen Druckes zu einer Region relativer Dehnung wurde. Das somit eintretende abwärtige Kompressionsgefälle haben wir aber nicht nur an der unmittelbaren Grenze des resistenteren und weniger resistenten Materiales, an der es sprunghafter Art ist, sondern auch in der ganzen »Bannzone« (vgl. oben) über dem starreren Grundgebirge. Hier ist innerhalb der Decke beweglicheren Materiales das tiefere, — wenn wir von Abweichungen durch substantielle Verhältnisse absehen, die aber gerade hier von geringerer Bedeutung zu sein scheinen —, jeweilig schwerer angreifbar, als das höhere. Es ist ja natürlich, daß der Basalschutz nur bis zu einer gewissen Höhe hinaufreicht und bei entsprechend großer Mächtigkeit des Deckgebirges in dessen hangendem Teile nicht mehr wirkt, — aber

diese Mächtigkeit ist eben dort, wo der niederhessische Bautypus herrscht, noch nicht erreicht gewesen.

In diesem Banne des starreren Grundgebirges lag auch, so scheint es, das permische Salzlager, soweit es nicht überhaupt durch vortektonische Auslaugung im Gefolge vorangegangener epirogenetischer Hebungen und Aufwölbungen örtlich beseitigt war.

Das dejizierende (abwärtig injizierende) Motiv bei der niederhessischen Faltung suchen wir also in der nahen Unterlagerung durch starreres Grundgebirge. Es kommt zur Wirkung in den an sich schon abwärts gerichteten Faltenelementen, d. h. in den Mulden, die nun in der Richtung der abnehmenden Einengung vorgestülpt werden, und zwar meist in Form von »Gräben«, zurücktretend auch als Senkstreifen mit einseitiger oder beiderseitiger Begrenzung durch Flexuren.

Die verstärkte Einengung im Hangenden und die Einstülpung von hier ins Liegende muß, da weite, flächenhafte Abscherungen und Gleitungen des Hangenden auf dem Liegenden nicht eintreten, einen Ausgleich durch eine Art Gegenbewegung aus dem injizierten Liegenden zum Hangenden finden. Man betrachte Fig. 14a auf S. 129. Die gestrichelte Linie gibt in ihr die Muldenkurve bei kongruenter Faltung an; bei der inkongruenten wird das Mittelstück verstärkt gesenkt (abwärtiger Pfeil) und im allgemeinen auch verstärkt eingeengt, seine Flanken sind aber gegenüber der Kurve kongruenter Faltung gehoben (aufwärtiger Pfeil). Natürlich gilt auch hier der Begriff »gesenkt« nur relativ, denn tatsächlich haben wir ja (vgl. S. 99) kein Sinken des Grabens, sondern nur ein Zurückbleiben bei der allgemeinen Hebung und dafür ein stärkeres Voraneilen der Flanken, als bei harmonischer Faltungsform eintreten würde. Der Sattel läßt seine Schultern weniger hängen, um erst neben oder auch erst in dem randlichen Teile des dejizierten Kernes um so steiler zur Muldenlinie abzufallen, — das aber ist die kennzeichnende Form der Breitsättel bei der dejektiven Faltungsart. Bewirkt die Injektion das Bild der Stülpmulde, so hat also die Reaktion auf die Injektion ihre Bedeutung für das Zustandekommen des Breitsattels.

Durch Reaktionsschübe in diesem oder ähnlichem Sinne erklären sich vielleicht auch in manchen Fällen die kleinen Schollen älteren Gebirges, z. B. von Zechstein, die in der Randzone der Gräben eine so auffällige Erscheinung bilden. Es ist dabei vielleicht auch von Bedeutung, daß sich bei stärkerer Faltung des Hangenden, wie weiter unten noch zu zeigen sein wird, eine gewisse Tendenz vertikaler Zerrung einstellt und den Gegenschub auf die eingetretene Versenkung erleichtern kann.

b) Ejektive Faltung bei mobilerer Tiefe.

Der nordhannoversche Typus der saxonischen Faltung (ejektive Faltung) findet sich in den inneren, sehr tiefgründigen bis grundlosen Teilen des Niederdeutschen Beckens und besonders bedeutungsvoll ist hier die weitgehende Ausschaltung der Wirkungen eines variscisch gefalteten Untergrundes. Ein solcher ist überhaupt nur noch unter dem südlichen Teile Nordhannovers vorhanden, — wie z. B. auch noch im Flechtinger Höhenzuge zwischen Öbisfelde und Magdeburg —, während der Norden schon ganz außerhalb des variscischen Bogens, den wir ja weiter westlich bei Osnabrück ausklingen sehen, liegt. Doch auch im Süden liegt das variscische Gebirge in solcher Tiefe, daß es schon eine erhebliche Einbuße an seiner Starrheit erlitten haben dürfte und seine festlegende Wirkung sowohl an sich, wie auch hinsichtlich ihrer aufwärtigen Reichweite um so geringer wäre.

Doch noch etwas anderes scheint für die Ausschaltung der Schutzwirkung des vorpermischen Grundgebirges auf die ganzen hangenden Schichtmassen und auch schon auf die an den ejektiven Sattelkernen so stark beteiligte permische Salzformation in Betracht zu kommen, nämlich die leichte Möglichkeit örtlicher Abscherungen zwischen dem Grundgebirge und den hangenden Schichten in der Zone des permischen Salzes[1]). Letzteres befand sich ja bei Eintritt der Faltung in einer Mächtigkeit, die vielleicht bis zu 1000 m betragen hat, unter einer Schichtfolge von mehreren tausend Metern; eine Überdeckung von 3000 Metern bringt aber schon eine Temperaturzunahme um rund 100°, und nach den Untersuchungen, die besonders MILCH[2]) angestellt hat, erfährt gerade das Salz schon durch solche Temperaturzunahmen eine ganz ungewöhnliche Steigerung seiner Beweglichkeit; der Versuch der ringförmigen Verbiegung etwas erwärmter kleiner Steinsalzstäbchen, die man durch Spaltung gewinnt, ist jederzeit leicht anzustellen. Steigert Temperaturerhöhung ganz allgemein die Bildsamkeit der Materialien, so tut sie es ganz besonders beim Steinsalz, und ist das Salz an sich schon ein relativ mobiles oder doch leicht zu mobilisierendes Element, so trifft das ganz besonders für das tiefe Salz zu.

In Niederhessen ist das Salz an den variscischen Untergrund gewissermaßen festgebannt; er macht es, wie wir sagten, schwer erreichbar für den orogenetischen Druck, so daß dieser die Eigenmobilität des Salzes nicht wesentlich erhöhen konnte. Damit sind auch die

---

[1]) Die Kalke, Dolomite usw. des Mittleren und Unteren Zechsteins, die das Salz vom variscischen Grundgebirge trennen, spielen hier etwa dieselbe Rolle, wie nach der Auffassung BUXTORFS die Untertrias und der Wellenkalk zwischen dem vorpermischen Grundgebirge und der abgescherten jüngeren Schichtfolge des Schweizer Juras.

[2]) L. MILCH, Über Zunahme der Plastizität bei Kristallen durch Erhöhung der Temperatur. Neues Jahrb. f. Mineralogie usw. 1909, I, S. 60ff.

Abscherungserscheinungen dort sehr erschwert. Zum Zustandekommen solcher bedarf es aber in den großen Tiefen Nordhannovers gar nicht mehr einer sehr wesentlichen Steigerung der Mobilität des Salzes durch den orogenetischen Druck, vielmehr ist hier das Salz an sich schon ohne großen inneren Halt, — auch trotz einer etwaigen Starrheit und Schutzwirkung des Untergrundes —, und deshalb ist es in seinen Faltungserscheinungen verhältnismäßig wenig durch den Untergrund gehemmt; damit ist aber auch die Einwirkung des Grundgebirges auf das ganze Hangende wesentlich abgeschwächt. Immerhin kann die Abscherung nicht, wie schon gesagt wurde, als allgemeine Erscheinung unter den Gebieten der an sich so schwachen ejektiven Faltung und speziell nicht unter den ausgedehnten Breitmulden gelten, sondern nur als lokales Phänomen unter den Zonen stärkster Wirksamkeit des orogenetischen Druckes, d. h. unter den Sattelzonen.

Hatten wir die dejektive Faltungsform durch das Vorhandensein einer besonders resistenten Tiefe erklärt, so liegt es schon von vornherein nahe, als Ursache ihrer Umkehrung, d. h. der ejektiven Faltungsform, die umgekehrten Verhältnisse, d. h. eine besondere Angreifbarkeit der Tiefe oder doch bestimmter Tiefenzonen und eine relative Resistenz des Hangenden zu vermuten. In der Tat liegen solche Verhältnisse vor. Sie sind in der Hauptsache substantieller Art und führen zu einer Ejektion aus Mobilität.

In erster Linie kommt als mobiles Tiefenelement das mächtige und, wie wir eben sahen, durch das Grundgebirge in seiner Mobilität wenig gehemmte permische Salzlager in Betracht, das ja auch an den ejektiven Sattelkernen Nordhannovers so stark beteiligt ist. Wächst mit der Tiefenlage, wie gesagt wurde, seine Mobilität sehr stark, so wächst mit ihr auch ganz besonders der Mobilitätskontrast gegenüber den andersartigen Schichten, und auf diesen kommt es bei den Faltungsinjektionen eben an.

Das Salzlager des Zechsteins war nun nicht das einzige in der Tiefe des zentraleren Niederdeutschen Beckens, sondern auch im Hangenden des Perms, in der Trias, sind Salze vorhanden, und zwar im allgemeinen in drei Horizonten, im Oberen Buntsandstein, Mittleren Muschelkalk und Mittleren Keuper. Schätzen wir die gesamte intakte Schichtmasse vom Oberen Zechstein bis zur Unterkante des Rhäts auf über 2500 m —, die Zahl ist zwar etwas unsicher —, so bestanden vielleicht zwei Fünftel oder mehr von dieser Mächtigkeit aus Salz.

Als mobilisierend kommt für die tiefere Schichtenserie ferner in Betracht, daß gerade im nördlichen Hannover die mächtige Untertrias nach dem Ergebnisse der Bohrungen im Vergleich zu weiter südlich liegenden Gebieten relativ arm an kompakteren Sandsteinen und um so reicher an Schiefern und sandigen Schiefern zu sein scheint. Gewiß fehlen demgegenüber auch starrere Schichten nicht, speziell im Muschelkalk; aber sie bilden nur einen kleinen Teil der ganzen Schichtfolge und

namentlich das starreste Schichtenglied, der Trochitenkalk, ist nur wenige Meter mächtig.

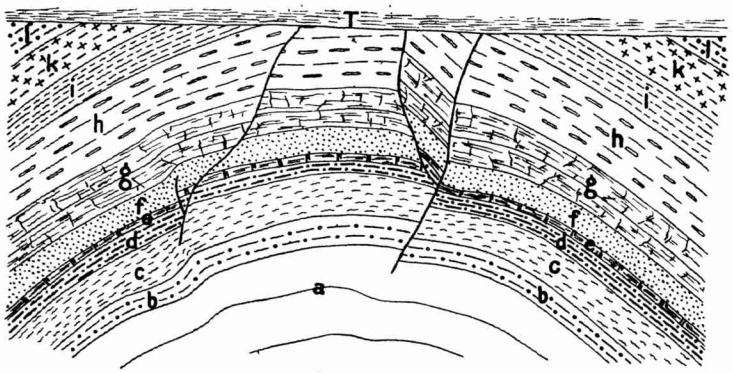
Nach vorstehenden Betrachtungen befand sich bei der saxonischen Faltung Nordhannovers eine liegende Schichtenmasse von höherer Mobilität unter einer Schichtenmasse von größerer Resistenz, d. h. es lag die Umkehrung des Verhältnisses vor, aus dem heraus wir in Niederhessen die dejektive Faltungsform zu erklären versucht haben. Die stärkere Einengung des Liegenden bedeutet die relative Dehnung des Hangenden. Fanden wir unter den Verhältnissen der dejektiven Faltung eine abwärtige, so haben wir dort, wo die Faltungsejektion eintritt, eine aufwärtige Kompressionsabnahme, und in der Richtung dieser werden nun gewisse Teile der Falten weit aufwärts vorgestreckt.

Somit ist das Vorhandensein des permischen Salzgebirges, dazu in den größeren Tiefen mit an sich hoher Temperatur, zwar der Hauptfaktor, der mobilisierend in den tieferen Regionen des zentraleren Niederdeutschen Beckens wirkt, — aber schließlich doch nur ein Faktor neben mehreren, nämlich neben anderen salinaren Einschaltungen, neben dem starken Zurücktreten starrerer Gesteine und nicht zum letzten neben der allgemeinen Zunahme der Teufenmobilität in sehr tiefgründigen Schichtmassen. Unter Hinweis auf letztere mag vielleicht gefragt werden, warum denn nicht ganz allgemein eine Tendenz ejektiver Faltung in den tiefgründigen Teilen der Sedimentationsbecken erkennbar sei, — aber erstens gibt es noch viele Verhältnisse, die, wie schon die reichlichere Einschaltung an sich resistenteren Materiales, die zunehmende Teufenmobilität wieder aufheben können, und zweitens ist ja die Teufentemperatur im Falle Nordhannovers wiederum nur ein Faktor, der zu anderen hinzukommt und nun gerade ganz besonders in einem Gebirge wirkt, das salinare Einschaltungen in so erheblichem Umfange enthält.

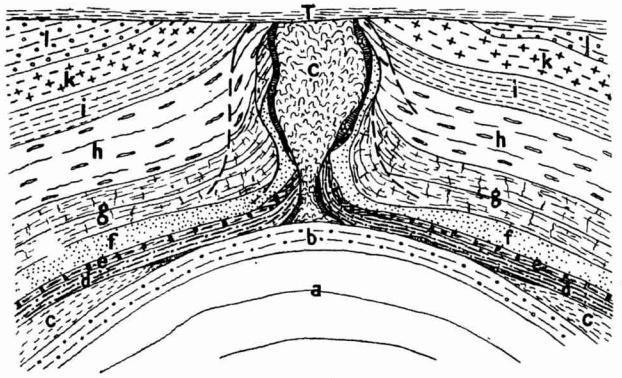
So haben wir in der Tiefe der zentraleren Teile des Niederdeutschen Beckens, wie ich nochmals zusammenfassen möchte, eine sehr mächtige Schichtfolge, die fast zur Hälfte aus Salz, im übrigen aber vorherrschend aus Tonen, Schiefern, sandigen Schiefern und tonigen Mergeln besteht und die unter der mobilisierenden Wirkung der gesteigerten Belastung und gesteigerten Temperatur steht. Das ist aber unverkennbar eine mobile Tiefe gegenüber einem Hangenden, dem zunächst das hochgradig mobilisierende Salzelement fehlt, das sich aber zweitens unter weit geringerem Drucke und unter niedrigerer Temperatur befindet.

Die höhere Mobilität der Tiefe, d. h. die Vorbedingung für die ejektive Faltungsform, ist in der geschilderten Weise zwar unter ganz Nordhannover anzunehmen, führt aber zu tektonischen Ejektionen nur in sehr schmalen Zonen, die als Sattelzonen an sich schon der vorgeschobenste Teil des Faltensystemes sind. Hier wird dasjenige unter starken Deformationen, wie die Ejektion sie mit sich bringt, gesteigert vor-

geschoben, das sich infolge seiner hohen Mobilität den neuen Raumverhältnissen am leichtesten anzupassen und ganz besonders die Kosten des Zusammenschubes in den injizierten höheren Solen zu tragen vermag, während dafür das schwerer Einengbare relativ zurückbleibt und sich den durch die Ejektion gewissermaßen frei gewordenen Raum



Fall a: Normale Sattelwölbung bei harmonischem Verhalten der Schichten.



Fall b: Ejektion aus Mobilität bei disharmonischem Verhalten der Schichten.

Fig. 10. Gesteinsmobilität und Faltungsform.
Im Falle a sind die Schichten als einigermaßen gleich starr, im Falle b ist die Schicht *c* (Salz) und danach die Schicht *f* als besonders mobil angenommen. *a* = Haselgebirge.

zunutze macht. So ist's im großen im Verhältnis der mobilen Tiefe zum resistenten Hangenden, so ist's auch im kleinen innerhalb der aufsteigenden Tiefenmassen nach der wechselnden Mobilität.

In Fig. 10b veranschauliche ich ganz schematisch den Fall einer Faltungsejektion in einem Sattelkerne unter Vergleich mit einer nor-

malen Sattelbildung (Fig. 10a). Dem oberen Bilde liegt die Annahme zugrunde, daß die Schichten *a*—*l* einigermaßen gleichmäßig mobil sind, während in Profil 10b die Schicht *c* (Salz) und danach die Schicht *f* als ganz besonders mobil angenommen werden. Am stärksten hochgepreßt ist im Profil b das in sich stark gefaltete und gefältelte Salz und auch die Schicht *f* ist an den Flanken des Salzes erheblich vorgestoßen. Zwischen dem Salze und dem Nebengesteine liegt das bei der Hochbewegung entstandene Haselgebirge (*α*), ein Haufwerk von Blöcken und Stücken des Nebengesteines in einer Salzmatrix. Relativ zurückgeblieben sind die weniger mobilen Schichten, so besonders eine als stärker resistent angenommene Schicht *e*, die ihre Raumeinengung unter Zerbrechen und Zusammenstauchung erfahren hat. Den Betrag der Aufwärtsbewegung ermessen wir nach dem Alter der Schichten im Liegenden der nach der Faltung und Einebnung abgelagerten diskordanten Decke *T* (z. B. Tertiär), und zwar ist in beiden Fällen ein gleichtiefes Eingreifen der einebnenden Vorgänge angenommen. Im Falle a finden wir unter der Transgression die Schichten *h*, *i*, *k*, *l*, im Falle b weithin jeweilig jüngere, dafür aber auf kleine Erstreckung die relativ alte Schicht *c*; das bedeutet aber für den Fall b eine Hebungsersparnis auf den Sattelflanken unter gesteigerter Hebung des besonders mobilen und deshalb besonders leicht aufwärts bewegbaren Kernes. Die Arbeitsersparnis liegt darin, daß die tektonischen Vorgänge sich möglichst in die Gebirgsglieder von geringerer Resistenz verlegen.

Die relative Senkung bzw. das stärkere Zurückbleiben der Flanken des gesteigert vorgeschobenen Sattelkernes ist gewissermaßen die Reaktion auf den ejektiven Vorgang; das erläutert Fig. 14b (s. unten) nochmals ganz schematisch. In ihr bezeichnet die gestrichelte Linie die Kurve kongruenter Faltung; bei der inkongruenten Faltung wird nun das Mittelstück des Sattels gesteigert hochbewegt (aufwärtiger Pfeil) und eingeengt, seine Flanken werden aber entsprechend weniger gehoben (abwärtige Pfeile). Betrachten wir nun die Sachlage in bezug auf die Mulden, so heben diese ihre Flanken nicht in dem Maße, wie bei der harmonischen Faltung, sondern lassen sie bis nahe an den ejektiven Kern heran relativ gesenkt. Das aber ist es, was die »Breitmulde« kennzeichnet. Bedingt bei der inkongruenten Faltung Nordhannovers die Injektion die spezielle Ausgestaltung des Sattelteiles, so erscheint für die Ausgestaltung des Muldenteiles die Reaktion auf die Injektion besonders bedeutungsvoll.

Das disharmonische Verhalten der Gesteinsmassen verschiedener Mobilität erschien uns als Ursache der ejektiven Faltung; aber es ist auch, wie nunmehr zu zeigen ist, Folge einer solchen, und so verstärken Ursache und Wirkung einander beim Zustandekommen der sehr extremen Bilder tektonischer Disharmonie. Wir gehen davon aus, daß je stärker die Faltung einer bestimmten Sole, um so stärker auch der Hochtrieb ihrer Gesteinsmassen ist. So haben wir (vgl. Fig. 11) bei

stärkerer Kompression des Hangenden (dejektive Faltung) naturgemäß auch einen verstärkten Hochtrieb des Hangenden bei gleichzeitig schwächerem Hochtriebe des Liegenden; hier eilt das Hangende gewissermaßen voran, das Liegende bleibt ihm gegenüber zurück und so entsteht in vertikalem Sinne eine gewisse Zerrungstendenz, die vertikale Verschiebungen innerhalb der sich faltenden Massen nur erleichtern kann. Umgekehrt unterliegt bei stärkerer seitlicher Kompression des

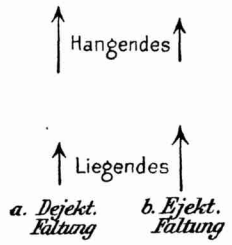


Fig. 11. Ungleiche Hochbewegung von Hangendem und Liegendem bei ungleichmäßiger Einengung.
Kurze Pfeile: Schwächere Hochbewegung infolge schwächerer Einengung.
Lange Pfeile: Stärkere Hochbewegung infolge stärkerer Einengung.
Fall a: Voraneilendes Hangendes.
Fall b: Lastendes Hangendes.

Liegenden (ejektive Faltung) dieses Liegende dem stärkeren Hochtriebe bei schwächerem Hochtriebe des Hangenden; das Hangende lastet hier gewissermaßen auf dem Liegenden, und es ergibt sich eine dem aufwärtigen Vorschube von Faltenteilen entgegenwirkende Tendenz vertikaler Kompression. Der aus der ungleichen lateralen Einengung resultierende injektive Vorschub von Faltenteilen ist also bei stärkerer Faltung des Hangenden (d. h. bei der dejektiven Faltungsart) erleichtert durch eine Tendenz vertikaler Zerrung, bei stärkerer Faltung des Liegenden (d. h. bei den ejektiven Vorgängen) erschwert durch eine Tendenz vertikaler Kompression.

Ich präzisiere die Sachlage nochmals in folgender Weise:

Der dejektive Vorschub von Faltenteilen (Muldenkernen) erfolgt hinein in ein in vertikalem Sinne entlastetes Liegendes, der ejektive Vorschub von Faltenteilen (Sattelkernen) hinein in ein lastendes Hangendes. Nebenher geht, daß in ersterem Falle das Liegende, in letzterem das Hangende in horizontalem Sinne relativ gedehnt ist.

Damit muß der aufwärtige injektive Vorschub bei der ejektiven Faltung einen ungleich höheren Widerstand finden, als der abwärtige bei der dejektiven. Der dejektive Vorschub ist, wie man vergleichsweise gegenüber dem ejektiven Typus einmal sagen könnte, mehr eine Art Hineinsenkung, der ejektive gegenüber dem dejektiven mehr eine zwangsmäßige Hineinpressung von Faltenteilen in die Zonen der geringeren seitlichen Kompression. Schon allein auf diese Weise würde sich erklären, daß bei der relativ geringen mechanischen Leistung der dejektiven »Hineinsenkung« die verschiedene Mobilität der Gesteinsmassen keine große Rolle spielt und der Faltungsvorgang wenig selektiv verfährt, während bei der ungleich erschwerteren mechanischen Arbeit der ejektiven »Hineinpressung« die Resistenz der Einzelmaterialien

eine ganz andere Bedeutung gewinnt und hier die gefügigsten (mobilsten) Massen am stärksten an den Injektionen teilnehmen. »Einpressung« erfordert eben ganz andere innere Deformationen, wie »Einsenkung«, und deshalb finden wir bei der »Einpressung« die gesteigerte Bevorzugung dessen, das der inneren Deformation am wenigsten Widerstand entgegensetzt. Auch in diesem Zusammenhange sei auf den schon oben (vgl. Kap. III, 2) hervorgehobenen Unterschied hinsichtlich der disharmonischen Erscheinungen bei der einen und der anderen Art der inkongruenten saxonischen Faltung verwiesen.

4. Kongruente Faltung bei gleichmäßigerer Druckwirkung.

Wie erklärt sich nun die kongruente saxonische Faltung in ihrer räumlichen und formalen Mittelstellung zwischen der dejektiven Faltung Niederhessens und der ejektiven Mittel- und Nordhannovers? Kurz gesagt dadurch, daß diejenigen Verhältnisse, aus denen heraus wir in Niederhessen und Nordhannover das Abweichen von der kongruenten Faltung deuteten, wegfallen oder doch ganz zurücktreten.

Wir erklärten die inkongruente Faltung aus der ungleichen Faltungsresistenz in übereinander liegenden Schichtsystemen; demgegenüber haben wir also kongruente Faltung dort zu erwarten, wo die ganze an der Entstehung des Faltenbildes beteiligte Schichtenfolge einigermaßen gleichmäßig dem tektonischen Drucke zugänglich war.

Im einzelnen haben wir zu erörtern, inwiefern bei der Faltung Südhannovers 1. die dejektiven Motive Niederhessens und 2. die ejektiven Motive Nordhannovers ausgeschaltet waren.

Die dejektive Faltung Niederhessens brachten wir mit der Flachgründigkeit dieser Gebiete, d. h. mit der geringen Mächtigkeit der mesozoischen Schichtentafeln über dem variscischen Grundgebirge, in Zusammenhang. Sie vollzog sich, wie wir sagten, noch im Banne der variscischen Tiefe. Demgegenüber lag das variscische Grundgebirge in Südhannover in einige tausend Meter Tiefe, so daß sich hier die Faltung wenigstens der höheren Teile schon ganz außerhalb seiner Einflußsphäre abgespielt haben dürfte; und dazu war in der größeren Tiefe Südhannovers das Grundgebirge vielleicht auch schon etwas weniger starr. Wo aber in Südhannover infolge vorangegangener säkulärer Aufwölbungen das variscische Gebirge bei Eintritt des Faltungsvorganges relativ dicht unter Tage lag, — wie im Solling, der nördlichen Fortsetzung des niederhessischen Buntsandsteingebiets, oder wie zum Teil im Eichsfelde, — da erscheint auch tatsächlich noch der niederhessische Graben.

Die Ursache für die Faltungsejektionen Nordhannovers war nach unserer Ansicht in der Hauptsache qualitativer Art, und zwar spielten die Salzlager, und unter diesen wieder das permische, die Hauptrolle[1]).

[1]) Ich beschränke mich hier auf den Hauptträger der Tiefenmobilität bei der ejektiven Faltung; andere Verhältnisse kommen, wie wir gesehen haben, hinzu.

Auch in Südhannover, und naturgemäß besonders im Übergangsgebiete zum nordhannoverschen Typus, sind Salzejektionen erkennbar, und zwar unter tektonischen Verhältnissen, die sonst noch durchaus als »südhannoversche« zu bezeichnen und speziell noch durch einigermaßen kongruente Entwicklung von Sätteln und Mulden charakterisiert sind. Aber trotz solcher lokalen Erscheinungen tritt im großen und ganzen die Ejektivität des Salzes gegenüber den nördlichen Gebieten sehr zurück. Oft genug finden wir das Salz, wenn auch in sich komplizierter gefaltet, noch dort, wo es nach dem stratigraphischen Verbande seinen Platz haben muß, d. h. unter den Aufwölbungen des Buntsandsteins; und ist es in anderen Fällen vorangeeilt, so handelt es sich doch nicht annähernd um solche Beträge, wie weiter nördlich.

Während also in Südhannover das variscische Grundgebirge auf die höher über ihm liegenden Schichtfolgen eine dejektive Wirkung zwar nicht mehr ausüben und eine dejektive Faltung nicht mehr herbeiführen konnte, hat es doch, wie wir annehmen müssen, dem dicht über ihm liegenden Salzgebirge noch einen gewissen Schutz gegen eine gesteigerte Wirkung des orogenetischen Druckes gegeben und dadurch bis zu einem gewissen Grade die an sich hohe Mobilität des Salzes kompensiert. Immerhin war letztere noch nicht derartig, wie in den noch größeren Tiefen Nordhannovers, und damit war auch die Loslösung von der bannenden Basis durch lokale Abscherungs- und ähnliche Vorgänge noch nicht derartig erleichtert, wie weiter nördlich.

5. Zusammenfassung.

Die Formen der inkongruenten Faltung haben wir im wesentlichen unter dem Gesichtspunkte der gegenüber der kongruenten Faltungsart ersparten Verbiegungsarbeit zu deuten versucht. Zweierlei Arten der Ersparnis, die z. T. nebeneinander hergehen, z. T. innigst miteinander verknüpft sind, kommen dabei in Frage (vgl. S. 110), nämlich

1. Ersparnis von Verbiegungsarbeit durch Ersparnis von Verbiegung,
2. Ersparnis von Verbiegungsarbeit durch Verlegung der Verbiegung in möglichst leicht verbiegbare (mobile) Materialien.

Die durch die Einengung auf kleineren Raum erforderte Gesamtverbiegung einer bestimmten Schicht wird durch Ausstoßung eines Gesteinsstreifens oder Gesteinskeiles in das Hangende oder Liegende herabgesetzt; dieser Vorgang wird unter den Verhältnissen der inkongruenten Faltung durch eine gesteigerte Eintriebsmöglichkeit in das Hangende oder Liegende erleichtert, die dadurch zustande kommt, daß infolge qualitativer oder positionärer Verhältnisse der einzuengenden Massen die Faltbarkeit in einem Falle (Fig. 12 a) nach dem Liegenden, im anderen (Fig. 12 b) nach dem Hangenden abnimmt und damit bei einsetzender Faltung in dem einen Falle (a) das Liegende, in dem anderen (b) das Hangende gewissermaßen in

den Zustand relativer Dehnung kommt. Wir haben im ersten Falle ein abwärts gerichtetes, im zweiten ein aufwärts gerichtetes Komprimibilitätsgefälle, und in der Richtung desselben werden nun einzelne Faltenteile gesteigert vorgeschoben. Der Ausgleich der relativen Dehnung wird in diesem Sinne durch tektonischen Einschub erzielt.

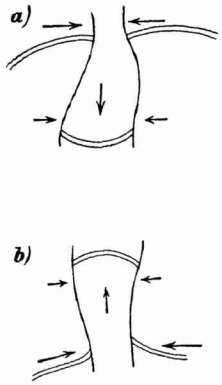


Fig. 12. Schematische Veranschaulichung der Injektion komprimablerer Massen in Zonen geringerer Kompression

a) bei der dejektiven Faltung.

b) bei der ejektiven Faltung.

Kurze horizontale Pfeile: größerer Faltungswiderstand und geringere Kompression (relative Dehnung).

Lange horizontale Pfeile: geringerer Faltungswiderstand und stärkere Kompression.

Vertikale Pfeile: Injektion in der Richtung zunehmender Starrheit und zunehmender relativer Dehnung.

Die inkongruente Faltung kommt dort zustande, wo die Gesteinsmassen in verschiedenen Erdsohlen auf den orogenetischen Druck stark ungleich reagieren, die kongruente dort, wo die Schichtensysteme der Einengung einigermaßen gleichmäßig zugänglich sind.

Ersparnis von Verbiegungsarbeit durch Verlegung der Verbiegung in möglichst verbiegbare Materialien tritt bei den injektiven Faltungen schon dadurch ein, daß sich Gesteinsmassen der komprimableren Zone in die weniger komprimable Region vorschieben und hier einen erheblichen Teil der erforderlichen Verbiegung zugunsten der Ersparnis von Verbiegung in den weniger angreifbaren Materialien auf sich nehmen. So wird unter Umständen der Einengungsvorgang im ganzen Bereiche der vertikalen Durchdringung erleichtert. Alles das spielt eine ganz besondere Rolle bei der ejektiven Faltungsform und bei dieser kommt nun innerhalb der vorgeschobenen Massen noch die bevorzugte Faltung der mobileren Komponenten hinzu. So kommt die ejektive Faltung auf das gesteigerte Voraneilen der mobilsten Elemente in der Richtung des aufwärtigen Kompressionsgefälles hinaus und wir stehen bei ihr den extremsten Fällen »disharmonischer« Faltung gegenüber.

Die dejektive Faltung ist eine solche bei trägerer[1]), die ejektive eine solche bei mobilerer[1]) Tiefe, und so können wir geradezu

[1]) Korrekter würde man wohl sagen bei träge sich verhaltender und bei mobiler sich verhaltender Tiefe. Denn im ersteren Falle können ja an sich mobile Elemente da sein, doch ist ihre Mobilität unwirksam gemacht (z. B. in der Bannzone des liegenden Grundgebirges), und im letzteren Falle können an sich

von der dejizierenden (herabziehenden) Wirkung einer starreren, von der ejizierenden (ausstoßenden) Wirkung einer mobileren Tiefenregion sprechen. In diesem Sinne spielen zwei Schichtensysteme eine ganz wesentliche Rolle, ein stabileres, nämlich das variscisch gefaltete Grundgebirge, und ein mobileres, nämlich die permische Salzformation[1]).

Das stabilere System wirkt besonders im Süden (Niederhessen) und verschwächt seine Wirkung nordwärts, das mobilere besonders im Norden (Nordhannover) und verschwächt seine Wirkung südwärts, und zwar besteht ein gewisser ursächlicher Zusammenhang zwischen der zunehmenden Wirkung des einen und der gleichzeitig abnehmenden Wirkung des anderen. Beide Schichtensysteme sinken ja nordwärts ein. Aber für das starre Grundgebirge bedeutet die zunehmende Tiefe eine Verschwächung seiner Starrheit, für das mobilere Salz eine Erhöhung seiner Mobilität. Und mit nachlassender Starrheit infolge zunehmender Tiefe (und zum Teil auch infolge nach Norden ausklingender variscischer Faltung) verschwächt sich auch und verschwindet schließlich die schützende Wirkung, die das vorpermische Grundgebirge auf sein Hangendes und speziell auf das in den Zustand hoher Teufenmobilität gelangte permische Salzlager ausübt.

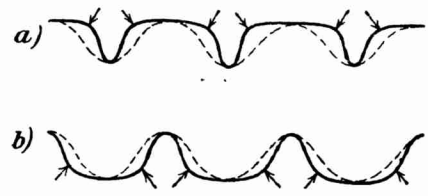


Fig. 13. Inkongruente Faltung und Faltungswiderstände.

Der Ausbildung der (gestrichelten) kongruenten Faltungskurve wirkt entgegen bei der
a) dejektiven Faltung ein Faltungswiderstand im Liegenden,
b) ejektiven Faltung ein Faltungswiderstand im Hangenden.

Bei den beiden Formen inkongruenter Gebirgsbildung spielen — auch so können wir die Sachlage ausdrücken —, Faltungshemmungen eine Rolle, und zwar bei der dejektiven Faltung solche der Tiefe, bei der ejektiven Faltung solche im Hangenden. Will ich in Fig. 13 die Kurve *a* (dejektive Faltung) in die Kurve kongruenter Faltung überführen, so muß ich von oben her, will ich das gleiche mit der Kurve *b* (ejektive Faltung) tun, so muß ich von unten her eine Ausbauchung vornehmen. Es verrät sich damit gewissermaßen bei der Kurve *a* ein Widerstand von unten her, bei der Kurve *b* ein solcher von oben her gegen die Entstehung der kongruenten Faltungskurve. Der Liegendwiderstand ist im Falle der dejektiven Faltung die größere

starrere Massen (Grundgebirge) da sein, sind aber in ihrer Wirksamkeit auf das Hangende (z. B. durch Abscherung des Mobileren über ihnen) stark eingeschränkt.

[1]) Auch hier beschränke ich mich wieder auf den Hauptträger der Tiefenmobilität.

Starrheit des Grundgebirges bzw. die von ihm ausgehende und nach dem Hangenden abnehmende Schutzwirkung, der Hangendwiderstand ist im Falle der ejektiven Faltung die schwere Last des weniger mobilen und vielleicht auch für den orogenetischen Druck weniger erreichbaren Hangenden.

Die stärkere Einengung eines bestimmten Niveaus muß entweder zu weitgehender Abscherung zwischen diesem und den Niveaus größerer Starrheit oder zu irgendeiner Art mehr örtlichen Ausgleiches führen. Weite Abscherungen kommen nicht in Frage, und so bringen den Ausgleich die schon geschilderten örtlichen Reaktionsbewegungen. Somit kommt das Bild der inkongruenten Faltung durch zweierlei Vorgänge zustande, deren zweiter durch den ersten unmittelbar ausgelöst wird, nämlich

1. durch die Injektion, d. h. den Vortrieb aus den mobileren in die resistenteren Zonen,
2. durch die Reaktion auf die Injektion, d. h. die Gegenbewegung aus den resistenteren Zonen zu den mobileren infolge der Evakuation der letzteren.

Die Injektion ist dabei in den Zonen der Sättel und Mulden die zentrale, die Reaktion die mehr randliche Erscheinung.

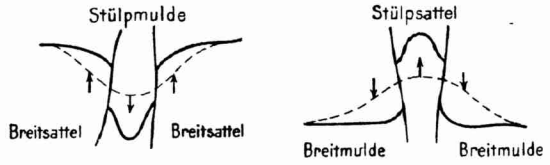


Fig. 14. Injektion und Gegenbewegung (Reaktion) bei inkongruenter Faltung
a (links): bei dejektiver Faltung
b (rechts): bei ejektiver Faltung.
Die gestrichelten Kurven geben die kongruente Faltenentwicklung an. Ihr gegenüber sind die Mittelstücke vorangeeilt und stärker eingeengt, die randlichen Teile aber verflacht, und zwar gewissermaßen infolge Gegenbewegung gegen die Injektion. Die Injektion schafft die Stülpmulden und Stülpsättel, die Gegenbewegung ist für die Ausgestaltung der zugehörigen Breitmulden und Breitsättel von Bedeutung.

Die Injektion schafft die injektiven Sattel- oder Muldenkerne, die nur ein Teil des inkongruenten Faltenwurfes sind, der im übrigen auch die Breitmulden oder Breitsättel umfaßt. Für deren Ausbildung scheint nun die Reaktion eine ganz besondere Bedeutung zu haben. Ich habe das schon für die dejektive und ejektive Faltung im einzelnen ausgeführt und veranschauliche es zusammenfassend nochmals in Fig. 14.

Wenn ich oben die geringere Kompression eines bestimmten Erdniveaus als dessen »relative Dehnung« angesprochen und durch diese die Erleichterung des Injektionsvorganges erklärt habe, so bleibt doch

zu bedenken, daß die »relative Dehnung« schon gewissermaßen in statu nascendi durch Verschiebungen neben den Injektionsstätten wieder ausgeglichen wird. Am letzten Ende findet ein zur Erleichterung der ganzen Faltung führender Massenaustausch zwischen höheren und tieferen Solen statt.

Eine ganz besondere Rolle können dabei Verwerfungen, Überschiebungen und als unmittelbare Folge der ungleichen Reaktion auf den tektonischen Druck auch die »Faltungsdiskordanzen« spielen, — und Faltungsdiskordanzen gesteigertster Art sind in der Mehrzahl der Fälle schließlich auch die »Randverwerfungen« unserer »Salzhorste«.

Auf einen ganz selbstverständlichen Fall ist zum Schluß noch hinzuweisen, in dem ein Niveau relativer Dehnung, und zwar stärkster relativer Dehnung, nicht zugleich ein Niveau gesteigerter Starrheit und damit gesteigerten Faltungswiderstandes ist, — das ist der Fall der freien Atmosphäre über dem obersten Erdniveau. Würden wir die ejektive Faltung allein als Folge der relativen Dehnung des Hangenden auffassen, so ließe sich mit Recht einwenden, daß dann ja jede Faltung nahe der Tagesoberfläche eine ejektive sein und daß im Falle der niederhessischen Faltung die dejektive Wirkung der relativen Dehnung der Tiefe durch eine ejektive der unvergleichlich stärkeren relativen Dehnung der Lufthülle wenigstens in den hangendsten Zonen der Faltung aufgehoben sein müsse; dieser Einwand ist natürlich hinfällig bei der Erklärung der inkongruenten Faltung durch gesteigerten Eintrieb von mobileren Massen in die Niveaus größerer Resistenz und damit auch relativer Dehnung. Speziell bei der dejektiven Faltung ist die Sachlage ja die, daß die stärkere Einengung der hangenden Schichten den tiefer liegenden Schichten den ejektiven Weg versperrt, — auch wenn über ihnen nun plötzlich an der Oberfläche der ganzen Schichtmasse die Möglichkeit stärkster Dehnung eintritt.

IV. Injektive Salzfaltung und Salzaufstieg.

1. Injektive Salzfaltung aus Mobilität.

Aufwärtige Injektion aus Mobilität, d. h. gesteigerter tektonischer Vortrieb des Beweglicheren unter orogenetischem Drucke, — das ist es, was das Salzgebirge im Niederdeutschen Becken erfahren hat. Seine Ejektion ist ein extremer Fall des disharmonischen Aufwärtsstrebens der Massen, das zu vertikalen Durchdringungen führt. So stabil sich auch das Salz während der anorogenetischen Zeiten wenigstens auf hohen Erdsohlen verhält, ein so mobiles Material ist es auch schon auf diesen unter orogenetischem Drucke, und eine gewaltige Steigerung erfährt dieser Zustand natürlich noch mit zunehmender Tiefe, solange ein starres Basalgebirge das Salz nicht in seinem schützenden Banne hält. So kommt es, daß das Salz unter dem Faltungsdrucke den übrigen Schichten, meist im Kerne der Sättel, weit vorauseilt und dann als Salz-

stock von vielfach sehr unregelmäßiger Kontur oft inmitten ganz junger Schichten steckt, deren Faltung, wie ja gerade bei inkongruenter Faltungsform nicht überraschen kann, unter Umständen nur schwach angedeutet ist. Wenn dann dazu noch die Aufschlüsse, wie z. B. unter der Quartärbedeckung Nordhannovers, auf ein paar Bohrungen beschränkt sind, kann leicht die Vorstellung erweckt werden, als ob das Salz inmitten ganz flacher Schichten eingeschlossen sei.

Der ganze Vorgang ist also eine Überführung gefügiger Salzejekte aus der Region größerer Kompression und größerer Beweglichkeit in die hangenden Zonen relativer Dehnung; das Salz wird aus seinem ursprünglichen Schichtverbande herausgerissen und steckt nun, wie ich es früher einmal ausgedrückt habe, als ein Faltengebirge von Salz inmitten des Schollengebirges der hangenden Schichten. Es entspricht eben dem Gesetze der geringsten Widerstände, daß bei stärkerer Raumeinengung in erster Linie das beweglichste, dessen Zusammenschub und Hochförderung am wenigsten Arbeit beansprucht, herausgequetscht wird, falls es so lag oder so weit aufgewölbt war, daß der tektonische Druck es richtig anfassen konnte.

Wenn man bei dem Vorgange des Aufstieges der Salzmassen von einem »Salzgletscher« oder »Salzstrome« spricht, so sind das eben mehr oder weniger glückliche Bilder, die man rein als solche und ohne die von den Autoren mit den Bezeichnungen verbundenen genetischen Deutungen auch bei der Erklärung durch episodischen tektonischen Druck akzeptieren könnte.

Die Verbreiterung der Salzstöcke nach dem Hangenden und ihre Umgrenzung im Vertikalschnitte durch »Schwanenhalskurven« ist mehrfach beobachtet worden, und in extremen Fällen mag eine derartige Salzmasse die Verbindung nach der Tiefe sogar gänzlich verloren haben und in Form eines riesigen Salztropfens inmitten jüngerer Schichten stecken. Das Ende eines derartigen Salztropfens ist zwar in so großen Tiefen zu erwarten, daß die gänzliche Unterfahrung wohl kaum einmal eintreten wird; immerhin sind durch unmittelbareren Aufschluß Fälle des beiderseitigen Einschiebens der Randgesteine unter das Salzgebirge belegt[1]).

Lachmann hat in der Gestaltung der seitlichen Ränder der Salzstöcke »nach Schwanenhalskurven« einen Beweis für die nichttektonische (autoplaste) Formung seiner »Salzekzeme« erblicken wollen. Meines Erachtens ist es die Abnahme des Manteldruckes auf die Salzmassen mit zunehmender Höhenlage, die die zunehmende Erstarrung des Salzbreies und vor allem den seitlichen Raumgewinn begünstigt; wir erhalten damit in einem solchen Salzprofile die relative Dehnung eines weniger mobilen Hangenden unmittelbar veranschaulicht.

Daß die Kalke und Dolomite des Mittleren Zechsteins, die das Salz-

[1]) Solche Fälle liegen der Darstellung in Fig. 10b zugrunde.

gebirge unterlagern, die hochgradige Aufwärtsbewegung und die hochgradige innere Faltung der Salzmassen nicht mitmachen können, ist ja, da doch die gesteigerte Faltung und Hochbewegung des Salzes auf seiner Mobilität beruht, nur selbstverständlich und kann unmöglich, wie mehrfach geschehen, als Beweis gegen die tektonische Formung des Salzes verwertet werden. Mittlerer Zechstein und Salz verhalten sich eben gänzlich disharmonisch. KIRSCHMANN[1]), der sich ganz im LACHMANNschen Gedankenkreise bewegt, meint zwar, »daß nicht einzusehen sei, wie das hangende Salzgebirge durch seitlichen Druck zu den höheren Regionen aufgepreßt sein soll, ohne daß das Liegende eine sattelförmige Lagerung besitzt«. VAN WERVEKE[2]) ist KIRSCHMANN schon entgegengetreten und hat darauf hingewiesen, daß durch Abscherungen bei der Auffaltung, wie sie BUXTORF (l. c.) im Faltenbau des Kettenjuras angenommen hat, die nach KIRSCHMANN entscheidende Tatsache, »an der jeder Versuch einer Deutung mit Hilfsmitteln der normalen Tektonik scheitern muß« (KIRSCHMANN, l. c.), eine ungezwungene Erklärung findet. VAN WERVEKES und meine Ansichten gehen, wie überhaupt hinsichtlich der prinzipiellen Erklärung des Salzauftriebes, so auch hinsichtlich dieses Details parallel, — denn eine gewisse Abscherung ist eben die notwendige Begleiterscheinung bei stark disharmonischer Faltung.

In dem in Fig. 10b gegebenen Bilde einer injektiven Faltungsform als Folge gesteigerter Mobilität einzelner Schichtsysteme wird in dem Verhalten der Schicht *c* der spezielle Fall einer Salzinjektion veranschaulicht. Daß das Salz in diesem Bilde auf gewisse Erstreckung zwischen seinem ursprünglichen Hangenden und Liegenden in der Zone der stärksten Aufpressung ganz fehlt, ist natürlich nur ein für die Darstellung angenommener spezieller Fall. Wenn ich es ferner etwas abseits von der Salzinjektion wieder in seinem ursprünglichen Verbande erscheinen lasse, so stütze ich mich auf die bisher wohl einzige Bohrung, die einmal unter einigermaßen vergleichbaren Verhältnissen an der Flanke eines aufgepreßten Salzkernes das permische Salzgebirge angetroffen hat, nämlich auf die Bohrung Petze am Südflügel des Hildes-

[1]) KIRSCHMANN, Die Lagerungsverhältnisse des oberen Allertales zwischen Morsleben und Wallbeck. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1913, S. 1—27. Zu den von KIRSCHMANN gegebenen Profilen durch das »Ekzem« der oberen Aller, auf die sich LACHMANN immer wieder bezieht, ist übrigens zu bemerken, daß die »flache« Lagerung des Mittleren Zechsteins doch recht anfechtbar zu sein scheint. Jedenfalls stimmt mit ihr durchaus nicht überein, daß SCHMIERER, wie HARBORT (Monatsber. deutsch. geol. Ges. 1913, S. 107) mitteilt, in Kernen von Bohrungen, die in das Liegende des »Ekzems« gestoßen wurden, ein Einfallen des Mittleren Zechsteins von über 40° feststellte. Daraus hat schon HARBORT geschlossen, daß die Oberfläche des Mittleren Zechsteins unter dem Allertal keineswegs so ungestört zu liegen scheint, wie KIRSCHMANN annahm.

[2]) L. VAN WERVEKE, Stauchungen in der Lettenkohle bei Farschweiler (Lothr.), verbunden mit Abscherungen. Hinweis auf die Salzhorste Norddeutschlands. Mitt. Geol. Landesanst. Els.-Lothr., Bd. VIII, 1913, S. 221ff.

heimer Waldes. Mehrfach ist ja behauptet und in schematischen Bildern veranschaulicht worden, daß das Salz der Salzkerne unter den angrenzenden flachen Schichttafeln durch deren Gewicht nach der Seite hin weggepreßt worden sei, und gerade mit Rücksicht hierauf habe ich die für die Klärung des Verhaltens des Salzgebirges etwas abseits vom aufgepreßten Sattelkerne ungewöhnlich günstig liegende Bohrung Petze während ihrer Niederbringung mehrfach besucht und ihre Resultate in allen Einzelheiten verfolgt. Das von mir festgestellte Bohrprofil ist bereits in der Erläuterung zu Bl. Sibbesse der geol. Spezialkarte von Preußen veröffentlicht worden; es ist folgendes:

— 110	m	Röt, unten Gips,	
— 954	m	Mittlerer und Unterer Buntsandstein.	
— 975	m	Roter Ton und Letten.	
— 1033	m	Roter Ton und Steinsalz wechselnd. Anhydritlagen bei 997,4 m, 998 m, 999 m.	
— 1084,4	m	Rötliches Steinsalz, oben noch mit rötlichen Letten.	
— 1084,6	m	Sog. Pegmatit-Anhydrit.	
— 1100	m	Roter jüngerer Salzton	Jüngerer (»roter«) Salzton.
— 1105	m	Graufarbiger jüngerer Salzton mit Steinsalz	
— 1238,28	m	Rötliches Steinsalz, zu oberst noch mit etwas grauen Letten. Steinsalzhaltige Anhydrite bei 1133,5—1134 m, 1142,9—1154,5 m, 1167,3—1170 m.	
— 1242,35	m	Sylvinit	Kaliflöz »Niedersachsen« (jüngeres Kalilager).
— 1242,50	m	Steinsalz	
— 1250,67	m	Carnallit	
— 1290,3	m	Rötliches und helles Steinsalz.	

Die Bohrung ist hiernach dicht über dem Hauptanhydrit, unter dem nach einer Zwischenlage von älterem (»grauen«) Salzton das ältere Kaliflöz »Staßfurt« zu erwarten ist, eingestellt worden.

Das Profil ist völlig intakt; das Salz liegt durchaus normal unter seinem ursprünglichen Hangenden, und Salzschicht nach Salzschicht wurde in fast söhliger Lagerung ohne Spuren tektonischer Beeinflussung und speziell tektonischer Reduktion durchsunken! Vom Südflügel bei Petze aus ist also gewiß nicht das Salz zum Salzkerne des Hildesheimer Waldes hingedrückt worden. Nun ist der dortige Salzkern zwar ein ejektives, aber doch noch nicht ein derartig extrem ejektives Gebilde, wie etwa die Salzkerne der Lüneburger Heide, und so wird man vielleicht einwenden, daß das, was am Hildesheimer Walde noch nicht zutrifft, trotzdem unter der gesteigerten Last des nordhannoverschen Deckgebirges möglich sein könnte, und dabei wird man vielleicht besonders auf die hohe Teufenmobilität des Salzes unter der Bedeckung von mehrere tausend Meter Sediment hinweisen. Der Einwand würde an sich auch nicht ganz unberechtigt sein, wenn nicht schon ganz andere Verhältnisse dem isosta-

tischen Auftriebe unter den randlichen Sedimentmassen hinweg widersprächen. Aber man hätte anderseits doch bei Petze wenigstens eine Andeutung dessen erwarten müssen, was unter den gesteigerten Verhältnissen Nordhannovers eine für die ganze Entstehung der Salzkerne prinzipiell bedeutungsvolle Erscheinung sein soll. Die unmittelbare Anschauung wird uns über das Vorhandensein oder Fehlen des Salzes unter den randlichen Teilen der nordhannoverschen Breitmulden keine Aufklärung geben können, denn dort sind die Tiefen zu groß; wo aber weiter südlich (Hildesheim) nach der Tiefenlage des Salzes die Probe aufs Exempel gerade noch möglich war, hat sie jedenfalls für den angenommenen weiten Zustrom des Salzes von den Seiten her keinen Anhalt ergeben.

2. Isostatischer Auftrieb des spezifisch leichten Salzes nach Arrhenius-Lachmann.

Die Auffassung, daß die Mobilität des Salzmateriales den gesteigerten Aufstieg bedingt, steht im Gegensatz zu den ARRHENIUS-LACHMANNschen Vorstellungen[1]), nach denen das geringere spezifische Gewicht die Ursache der Hochbewegung ist und diese also auf isostatischem Auftriebe beruht. »Als wesentliche Kraft bei der Bildung der Salzstöcke haben wir den Salzauftrieb erkannt, d. h. eine als Wirkung der Schwerkraft der Erde sich kenntlich machende vertikale Kraft, welche im Schwerpunkte der Salzmassen angreift und sie gegenüber den umliegenden und spezifisch schwereren Erdmassen aufwärts bewegt. Wir haben im kleinen eine Äußerung der Isostasie in der Erdrinde vor uns« (ARRHENIUS-LACHMANN, l. c. S. 153).

Zugegeben, daß die geringere Schwere, wenn das gefügige Salz durch tektonischen Druck in Aufwärtsbewegung gebracht ist, den Auftrieb noch zu erleichtern vermag, so kann sie doch nicht die wesentliche Ursache desselben sein. Der isostatische Auftrieb ist eine bis zur Einstellung völliger Isostasie mehr oder weniger ständig wirksame Kraftquelle und müßte eine mehr oder weniger ständige (säkuläre) Hochbewegung des Salzes veranlassen. Eine solche nimmt ja LACHMANN — und mit ihm ARRHENIUS, dem als Physiker die einschlägigen geologischen Beweisgründe natürlich ferner liegen —, tatsächlich auch an, wie auch recht viele andere Salzforscher tun, z. B. HARBORT und SEIDL. Aber dem ist eben entgegenzuhalten, — wie ich schon mehrfach seit 1910 getan habe, ohne daß eine ernsthaft zu nehmende Einrede hätte erhoben werden können, — daß das Salz sich nur in den zeitlich ziemlich genau fixierbaren orogenetischen Phasen der Vorzeit, also episodisch, aufwärts bewegte, während es in den anorogenetischen Zeiten wie jedes

[1]) SV. ARRHENIUS und R. LACHMANN, Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme. Geolog. Rundschau 1912, Bd. 3, S. 139ff.

andere Gestein des Niederdeutschen Beckens zur Tiefe sank; und so kann auch nicht eine kontinuierlich wirkende Kraftquelle, wie der Auftrieb infolge geringeren spezifischen Gewichtes, als Ursache oder wenigstens nicht als Hauptursache des Salzaufstieges in Frage kommen, sondern nur eine in den orogenetischen Phasen sich episodisch einstellende. Und diese ist eben der orogenetische Seitendruck, der erst dem Salz, wenigstens soweit es überhaupt noch oder schon wieder in höheren Erdzonen steckt, seine hochgradige Mobilität verleiht und es erst injektibel macht.''

Ich fasse die von mir vertretene Auffassung nochmals in folgendem kurzen Satze zusammen: Der Salzauftrieb ist weniger die Ejektion des besonders leichten, als vielmehr des besonders mobilen Materiales.

3. Salzinjektion in Spalten.

Schon bei der ersten Erörterung dessen, daß bestimmte Verhältnisse den tektonischen Eintrieb in das Liegende oder Hangende erleichtert zu haben scheinen, fragten wir, ob vielleicht klaffende Spalten eine Rolle spielen, und damals wurde schon gesagt, daß nur in gewissen Ausnahmefällen derartiges anzunehmen sei. Solche Fälle zeigt uns nun begreiflicherweise im besonderen Maße das gefügigste Schichtenmaterial, das Salz, indem es sich in Spalten des spröderen Hangenden oder Liegenden oder Seitengebirges, vor allen Dingen aber in seine spröderen Zwischenschichten (Anhydriteinschaltungen usw.) hineinfaltet und hineinschiebt. Recht anschauliche Bilder solcher Erscheinungen, und zwar sowohl von Fällen ejektiven (aufwärtigen), wie dejektiven (abwärtigen) Vorschubes, hat kürzlich noch W. Wagner[1]) aus dem oberelsässischen Salzgebirge veröffentlicht. Bei dem Vortriebe in Spalten liegt der Vergleich zwischen der tektonischen Injektion des Salzes mit der vulkanischen des Glutbreies natürlich besonders nahe, so groß der Unterschied der Mobilität des Salz»breies« von derjenigen eines Glutbreies auch noch gewesen ist. In der äußeren Form können diese tektonischen Salzinjektionen unter Umständen »posthumen« Kluftausfüllungen durch chemischen Absatz ähnlich werden, aber die innere Struktur pflegt uns die wahre Natur anzuzeigen.

4. Terminologisches.

Welche Bezeichnung wird nun der Eigenart dieser nordhannoverschen Salzejekte am besten gerecht? Man hat ja, als man die Massen von Salz inmitten weit jüngerer Schichten zuerst kennen lernte, von »Salzhorsten« gesprochen; aber ich habe schon vor mehreren

[1]) W. Wagner, Einpressungen von Salz in Spalten der oberelsässischen Salz- und Kalisalzablagerungen. Mitt. Geol. Landesanst. Els.-Lothr. 1916, Bd. IX, Heft 2, S. 135ff.

Jahren[1]) geltend gemacht, daß sich die hochaufgepreßten Salzkerne, die alle Spuren des bei ihrer Aufwärtsbewegung erfolgten intensiven Zusammenschubes tragen, so weit von dem entfernen, was man gemeinhin einen »Horst« nennt, daß man gut tut, die Bezeichnung »Salzhorst« nicht mehr zu gebrauchen und mit unverfänglicheren Bezeichnungen, wie z. B. »Salzkern«, auszukommen. Auch von »Salzpfeilern« und »Salzstreifen« habe ich in diesem Sinne gesprochen. Im Anschluß an den Begriff der injektiven Faltung des Salzes, der an die Terminologie der vulkanischen Phänomene erinnert, empfiehlt sich vielleicht die Anwendung des wohl auch sonst schon gebrauchten Wortes »Salzstock«, das wenigstens der Lage inmitten fremdartigen Gesteines und zum Teil auch der Art der Konturen einigermaßen gerecht wird. Mit dieser Terminologie nähern wir uns scheinbar den E. HARBORTschen Gedankengängen von dem Aufsteigen des Salzbreies in Spalten nach Art eines Magmas. Und doch besteht der grundsätzliche Unterschied[2]) zwischen der Vorstellung HARBORTS von einem infolge vertikal wirkender Kräfte mehr oder weniger kontinuierlich vor sich gehendem isostatischen Auftriebe und der Vorstellung der episodischen injektiven Faltung unter tangentialem Drucke.

V. Zur Systematik der Horste und Gräben.

1. Begriff Horst und Graben. Haupteinteilung.

Die Begriffe »Horst« und »Graben« sind bekanntlich durch E. SUESS (Antl. der Erde, I. Teil, S. 166/67) aus der Bergmannssprache in die Sprache des Geologen eingeführt worden. SUESS verstand unter einem Graben einen versenkten Streifen der Erdkruste und unter dem Horst den trennenden Rücken zwischen zwei Gräben, d. h. einen stehenbleibenden Teil inmitten der zur Tiefe sinkenden Schollen. Die Bezeichnungen »Graben« und »Horst« sind derartig in die geologische Wissenschaft eingebürgert, daß man sie beibehalten muß, auch wenn man die von SUESS gegebene genetische Erklärung, zunächst, was die Horste anlangt, dann aber auch hinsichtlich der Mehrzahl der Gräben, ablehnt, — nur muß man die Bezeichnungen nicht mehr, wie SUESS es tat, genetisch, sondern rein beschreibend verwenden und also unter einem Graben einen von Verwerfungen umrandeten Streifen jüngerer Schichten inmitten älteren Gebirges, unter einem »Horst« einen von Verwerfungen umrandeten Komplex älterer Schichten zwischen jüngeren verstehen.

Die Gebilde, die nach diesem rein beschreibenden Verfahren als Horst oder Graben bezeichnet werden, sind ihrer Entstehung nach

[1]) H. STILLE, Untergrund der Lüneburger Heide usw. 4. Jahresber. Niedersächs. geol. Ver. 1911, S. 259.

[2]) Hierüber vgl. H. STILLE, Das tektonische Bild des Benther Sattels. 7. Jahresber. Niedersächs. geol. Ver., S. 270ff., spez. Kap. IX.

recht verschieden, und besonders sind zwei große Gruppen zu unterscheiden[1]), nämlich

1. Horste und Gräben rein orogenetischer Entstehung:
   Undulationshorste und Undulationsgräben.
2. Horste und Gräben, die im wesentlichen epirogenetischer Entstehung sind, die allerdings die durch den Begriff Horst und Graben erforderte Umrandung durch Brüche erst nachträglich, und zwar in den orogenetischen Phasen, erhalten haben:
   Undationshorste und Undationsgräben.

2. Undulationshorste und Undulationsgräben.
(Schollenhorste und Schollengräben.)

Undulationshorste und Undulationsgräben sind Begleiterscheinungen der Bruchfaltung, z. B. der saxonischen, und können darum auch als »Faltungsgräben« und »Faltungshorste« bezeichnet werden. Die Horste sind in der ganz überwiegenden Zahl der Fälle durch Brüche modifizierte Sattelkerne (»Sattelhorste«), in Ausnahmefällen auch einmal Schollen älterer Schichten, die durch lokale Komplikationen außerhalb der Sattellinien in jüngere Umgebung gelangt sind (vgl. z. B. die »Grabenhorste« Hessens). — Die Gräben sind in ihrer allergrößten Zahl durch Bruchbildung modifizierte Mulden (»Muldengräben«), in Ausnahmefällen Einstürze oder Einpressungen außerhalb der Mulden, z. B. in Sattelspalten (»Sattelgräben«) oder Querbrüche (»Quergräben«), die bei der Faltung aufreißen. Undulationshorste und Undulationsgräben sind zwar ganz besonders charakteristische Erscheinungen der inkongruenten saxonischen Faltung (Dejektivgräben des niederhessischen und Ejektivhorste des nordhannoverschen Typus), finden sich aber auch recht häufig bei der kongruenten Faltung ein, denn auch hier umgrenzen sich häufig die Sattel- und Muldenkerne mit Verwerfungen und rufen dadurch die Erscheinungen eines Horstes (*H* in Fig. 3) oder eines Grabens (*G* in Fig. 3) hervor.

Für die Undulationshorste und Undulationsgräben erscheinen mir die Bezeichnungen »Schollenhorste« und »Schollengräben« deswegen einigermaßen treffend, weil diese Bezeichnungen — gerade im Gegensatze zu den Horsten und Gräben undatorischer Entstehung (s. unten) — zum Ausdruck bringen, daß es sich nur um Teilstücke (Schollen) aus einer größeren Einheit gleicher geologischer Vorgeschichte handelt. Besondere Formen sind die »injektiven« Schollengräben und Schollenhorste und der extremste Fall der letzteren ist der »Salzstock«.

---

[1]) Auf die Unterscheidung epirogenetischer »Undationshorste« und orogenetischer »Undulationshorste« habe ich schon in dem obenerwähnten Aufsatze über die »Saxonische Faltung« hingewiesen.

3. Undationshorste und Undationsgräben.

(Schwellenhorste und Beckengräben.)

Undationshorste (»Schwellenhorste«) sind Schwellen epirogenetischer (säkulärer) Entstehung, entlang deren Rändern in späterer Zeit Verwerfungen aufgerissen sind; so wurden die Schwellen zu »Schwellenhorsten« umgeformt.

Undationsgräben (»Beckengräben« oder »Grabenbecken«) sind Senken von geosynklinalem Charakter, — d. h. also Regionen säkulärer epirogenetischer Senkung —, die sich in den orogenetischen Phasen mit Brüchen umzogen haben.

Das Aufreißen der Verwerfungen ist aber in der Geschichte und im Gesamtbilde dieser Horste und Gräben gegenüber den undatorischen Vorgängen eine so unbedeutende Erscheinung, daß sich die Bezeichnung »Undationshorste« und »Undationsgräben« wohl rechtfertigt.

Die Schwellenhorste und Beckengräben waren also schon vor den Perioden der Faltung und Bruchbildung tektonische Hoch- bzw. Tiefenzonen gegenüber ihrer Nachbarschaft, die Schollenhorste und Schollengräben sind es erst in diesen Perioden geworden. Daß aber die Randverwerfungen der Schwellenhorste und Beckengräben nachträgliche Zutaten zu den präexistierenden Schwellen und Becken und nicht die Ursache der Hebungen und Senkungen derselben sind, läßt sich im Boden Deutschlands deshalb so einwandsfrei beweisen, weil hier die Randzonen alter Meeresbecken unter besonders günstigen Verhältnissen genauer Beobachtung zugänglich sind und gerade über das Alter der Verwerfungen ein gesichertes Urteil infolge besonders günstiger Fälle transgredierender Lagerung möglich ist. Die Rheinische Masse erhob sich als alte Schwelle schon in der Zechsteinzeit über die östlich von ihr liegende Hessische Senke und über das nordöstlich und nördlich liegende Niederdeutsche Becken und sie ist heute von einem Bruchsysteme umsäumt, das ihr den Charakter als »Horst« verleiht. Diese Randbrüche sind aber nicht entstanden in den Zeiten der starken Absenkungen, in denen im Niederdeutschen Becken und zum Teil auch in der Hessischen Senke der Ozean wogte oder festländische Sedimentation vor sich ging, — denn dann müßten sie in den Lagerungsformen und Verbandsverhältnissen der permisch-triadisch-jurassischen Schichten zum Ausdrucke kommen, — sondern, wie sich an der Nordostecke der Rheinischen Masse so ausgezeichnet nachweisen läßt, erst im Ausgange der Jurazeit und vor Ablagerung der Kreide, d. h. in einer der großen orogenetischen Phasen der saxonischen Faltung; zum Teil sind sie dann in späteren Faltungsphasen nochmals aufgerissen.

Gehen wir in andere Randzonen der alten Becken, z. B. zum Westrande der Böhmischen Masse, so sprechen dort die Lagerungs- und Verbandsverhältnisse der Schichten gegen jegliche jungpaläozoisch-triadisch-älterjurassische Verwerfung, d. h. auch hier hat die Beckenabsenkung

der damaligen Zeiten unabhängig von Verwerfungen stattgefunden, — und am Ende ergibt sich aus allen derartigen Einzelfeststellungen die gesicherte Erfahrung, daß die fossilen deutschen Meere nicht eingebrochen sind, sondern sich ohne Mitwirkung von Brüchen als Synklinalen großer Spannweite säkulär eingesenkt haben. Diese gesicherte Erfahrung, die wir in die Formel

»Erst (säkuläre) Senkung, dann Bruch«

kleiden können, steht allerdings in stärkstem Widerspruche zu dem, was wir sonst in der geologischen Literatur, über die Entstehung und Fortbildung der Meeresbecken zu lesen pflegen und was hinauskommt auf die Formel

»Erst Bruch, dann Senkung«.

»Die Einbrüche sind es, welche die Wässer in tiefen Weltmeeren gesammelt haben«, so sagt Suess 1885 im Schlußabsatze des ersten Bandes des »Antlitzes der Erde«, und dieser Gedanke erscheint auch in den späteren Bänden dieses Fundamentalwerkes der synthetischen Erdforschung immer wieder, so auch noch im Schlußkapitel des 1912 erschienenen letzten Bandes, wo es dann weiter heißt (S. 720), daß »überhaupt, mit Ausnahme von Buchten in Riasküsten, kein Meeresteil bekannt ist, der durch lateralen Druck als Synklinale erzeugt wäre«. Ich komme darauf an anderer Stelle zurück, denn eine befriedigende allgemeinere Auseinandersetzung über diese Dinge ist erst möglich, nachdem gewisse grundlegende Gesetze der Undation behandelt sein werden.

Nur auf das Hauptargument, das Suess (vgl. u. a. Antlitz III, Bd. 2, S. 690) als Beweis für die Entstehung der Meeresbecken durch Einbruch bringt, sei deshalb hier kurz eingegangen, weil es mit der gleichen Beweiskraft, die es an anderer Stelle haben soll, auch auf die Entstehung der alten deutschen Meeresbecken anwendbar wäre. »Die Begründung ergibt sich aus den die Struktur durchschneidenden Umrissen der atlantischen Horste, dem Abbrechen ganzer Faltenzüge und dem nicht seltenen Vortreten pflanzenführender Schichten an die Ufer«, so heißt es bei Suess. Durchschneiden nicht auch die Umrisse der alten deutschen Becken die Struktur der Horste weithin in genau so scharfer Weise wie etwa der Rand des Atlantischen Ozeans die Struktur der Meseta an der Ostküste der Iberischen Halbinsel oder diejenige der Bretonischen Masse abschneidet? Brechen die variscischen Faltenzüge nicht an dem alten West-, Ost- und Nordostrande der Rheinischen Masse ebenso ab, wie die armorikanischen Falten an den heutigen atlantischen Küsten? Traten nicht pflanzenführende Schichten des Karbons im jüngsten Paläozoikum und Mesozoikum in Nordwestdeutschland ebenso an das Meer heran, wie heute noch die von Suess so oft im Zusammenhange mit der Entstehung des Indischen Ozeans erwähnten Gondwanaschichten des südöstlichen Afrikas? Aber trotz

des Zutreffens der Suessschen Argumente waren die durch Küsten von durchaus »atlantischer« Struktur umsäumten deutschen fossilen Meere nicht eingebrochen, sondern bruchlos eingesunken. Wenn die Argumente aber hier keine beweisende Kraft haben, so kann man die beweisende Kraft auch an anderer Stelle nicht anerkennen. Daß sich der Strand der fossilen deutschen Meere weithin senkrecht und schief zu den alten Falten einstellte, erklärt sich durch ganz andere Verhältnisse, nämlich durch die Neuorientierung der nachvariscischen Undation, und deren Gründen müssen wir nachgehen, um das zu deuten, was im Sinne von Suess die Entstehung der Meeresbecken durch Einbruch beweisen soll.

4. Unterscheidung von Horsten und Gräben undatorischer und undulatorischer Entstehung.

Ob nun ein Graben oder Horst ein undatorisches oder undulatorisches Gebilde ist, muß im allgemeinen aus seiner und seiner Umgebung Vorgeschichte abgeleitet werden. Fällt der Graben annähernd mit einem alten Sedimentationsraume oder fällt der Horst annähernd mit einer alten Schwelle zusammen, so handelt es sich um undatorische Gebilde; sind die Gräben und Horste aber nur kleine Teile eines größeren Schichtensystemes mit übereinstimmender Vorgeschichte, so handelt es sich um Gebilde undulatorischer Art. Alle die kleinen Horste und Gräben inmitten der saxonischen Faltungsfelder sind natürlich orogenetischer Entstehung, während die Horste und Gräben epirogenetischer Abkunft weit größerer Einheiten zu sein pflegen.

In den Randzonen der Beckengräben wird sich im allgemeinen die ehemalige Nähe der Festlandschwelle im Auskeilen oder in der verminderten Mächtigkeit oder in den lithologischen und sonstigen faziellen Verhältnissen oder in den Lagerungsformen wenigstens einzelner der stratigraphischen Horizonte zu erkennen geben. Immerhin wird in manchen Fällen die Entscheidung, ob ein orogenetisches oder ein epirogenetisches Gebilde vorliegt, nicht ganz leicht sein. Sie hat sich dann auf sorgfältigste Studien stratigraphisch-fazieller Art, wie sie z. B. der durch den Tod für das Vaterland leider uns so früh entrissene Th. Brandes über den norddeutschen Lias in vorbildlicher Weise angestellt hat, zu gründen. Wo heute der »Horst« des Sollings liegt, befand sich nach Brandes zur Liaszeit schon eine Sollinginsel und etwa entlang dem Nordrande dieser lag ja auch durch lange Zeiten der Erdgeschichte das Niedersächsische Ufer. Und so ist der Solling ein Schwellenhorst, — allerdings nur in Beziehung auf sein nördliches und zum Teil auch auf sein östliches und westliches Vorland. Er ist nämlich der nördlichste Ausläufer der Buntsandsteingebiete Niederhessens, die wieder ein Senkungsfeld gegenüber der Rheinischen Masse darstellen. Eine Absenkung der Hessischen Senke gegenüber der Rheinischen Masse

und die Absenkung des Niederdeutschen Beckens gegenüber der Hessischen Senke, — das sind die Tatsachen, die uns den Solling einerseits als Teil eines großen Senkungsfeldes und gleichzeitig als Horst gegenüber einer tieferen Senkung erklären. Die Hessische Senke ist in ihrer Gesamtheit ein undatorisches Grabenfeld oder wenigstens der Teil eines solchen. Schon zur Zechsteinzeit deutete sich die heutige Zone ihres Abbruches gegen die Rheinische Masse als Randzone einer Senke gegen eine Schwelle an. Im Jura vermittelte die Hessische Senke die letzten Verbindungen zwischen dem süddeutschen und dem norddeutschen Meere und im Tertiär, speziell im Oligozän, schob sich in ihr das Nordmeer wieder weit südwärts vor. Das große undatorische Senkungsfeld wird nun durch die schmalen hessischen Gräben durchzogen, die undulatorischer Entstehung sind. Ein und derselbe orogenetische Vorgang hat einerseits die Senke in ihrer Gesamtheit aus einem

Fig. 15. Schmale (undulatorische) »Schollengräben« in einem weiten (undatorischen) »Beckengraben«.

Becken undatorischer Entstehung zu einem großen »Beckengraben« umgestaltet und anderseits, indem der flachgründige Inhalt der Senke nach dem dejektiven Typus ganz schwach gefaltet wurde, die schmalen niederhessischen »Schollengräben« innerhalb des »Beckengrabens« geschaffen.

5. Hebung und Senkung bei der Entstehung der Horste und Gräben.

Die Begriffe Horst und Graben sind zunächst nur relativ zu verstehen; die durch sie bezeichneten Gebilde sind gehoben oder gesunken gegenüber ihrer Nachbarschaft. Ob nun tatsächlich oder doch wenigstens in Beziehung auf den einzigen uns verfügbaren Pegel, nämlich den Spiegel des Ozeans, Hebung oder Senkung eingetreten sei, mag noch kurz erörtert werden. Was die Horste anlangt, so sind sie ja von Suess durch Senkung ihrer Umgebung, von de Lapparent, van Werwecke u. a. durch eigene Hebung erklärt worden.

Die Horste und Gräben undulatorischer und diejenigen undatorischer Entstehung müssen wir scharf auseinander halten.

Undulationshorste (Schollenhorste) und Undulationsgräben (Schollengräben) entstehen unter eigener Aufwärtsbewegung, und bei den Undulationsgräben liegt eben nur ein relatives Zurückbleiben, vergleichbar in diesem Sinne dem Zurückbleiben der Mulde gegenüber dem Sattel in einer unter orogenetischem Druck aufsteigenden Faltungszone, vor.

Die Undationshorste (Schwellenhorste) werden in der ersten und längsten und bedeutungsvollsten Phase ihrer Geschichte (als Schwellen) gehoben unter gleichzeitiger Senkung ihrer Umgebung; in der kurzen zweiten Phase ihrer Umgestaltung zu »Horsten« scheinen sie ihr Niveau zum ozeanischen Spiegel einigermaßen beizubehalten[1]), während die angrenzenden Senken, wenigstens in den Randzonen, aufsteigen, wenn auch nicht so stark, daß ihre vorangegangene (säkuläre) Senkung wieder ausgeglichen würde.

Die Undationsgräben (Beckengräben) sinken in der ersten und längsten Phase ihrer Entstehung (als Becken) ein, heben sich aber bei der Umformung zu Beckengräben wenigstens in ihrer Randzone gegenüber ihren Rahmen wieder um einen gewissen Betrag heraus. Ich wies schon früher einmal auf das zunächst etwas paradox klingende Resultat hin[2]), daß unsere großen Becken undatorischer Entstehung zu »Gräben« nicht durch einen Akt der Senkung gegenüber den großen Horsten geworden sind, sondern durch einen Akt der Hebung.

Douai, im Dezember 1916.

---

[1]) Jedenfalls ist ihre Hebung unbedeutend im Vergleiche zu derjenigen der angrenzenden Randzonen der Becken.

[2]) Saxonische »Faltung«, l. c.