

VORANKÜNDIGUNG.

Die tektonische Geologie machte in den letzten vierzig Jahren ganz gewaltige, manchmal nur allzu hastige Fortschritte und stellte die historische Geologie, die vordem mit ebensoviel Liebe als Erfolg gepflegt wurde, in den Hintergrund.

Die Geotektonik jener Zeit verfolgte vorwiegend den Faltenbau der Erde und arbeitete dann mit Vorliebe in „großen Zügen“, was zwar außerordentlich anregend wirkte, wobei sie jedoch Gefahr lief, der Phantasie mehr Recht zu gestatten, als es für die exakte Forschung fördernd war.

In diesem Werdegang wurden die Verwerfungen, welche in der Geodynamik dieselbe Bedeutung wie die Falten beanspruchen dürfen, und deren hohe Wichtigkeit für den Bergbau schon vor mehr als drei Jahrhunderten erkannt wurde, nur nebenher behandelt. Sie fanden zwar in den Lehrbüchern der Lagerstättenlehre Würdigung, konnten jedoch, entsprechend dem Plane eines solchen Buches, nicht so erschöpfend behandelt werden, wie sie es mit Rücksicht auf ihre hohe Bedeutung für die Geotektonik und für den Bergbau verdienen.

Schon vor etwa dreißig Jahren erkannte Köhler in Clausthal diese Lücke und veröffentlichte „Die Störungen der Gänge, Flöze und Lager“. Seit jener Zeit haben sich jedoch die geodynamischen Kenntnisse ganz wesentlich erweitert und auch geklärt. Es muß deshalb freudig begrüßt werden, daß der Verfasser des vorliegenden Buches, der hierzu als Geologe und Bergmann auf Grund seiner langjährigen Erfahrungen geradezu berufen erscheint, sich entschloß, „die Verwerfungen“ monographisch zu bearbeiten. H. v. Höfer faßt nicht bloß das weit zerstreute Bekannte einheitlich zusammen, sondern gibt auf Grund seiner eigenen Beobachtungen und Studien neue Gesichtspunkte und entwirft eine Systematik, welche den jetzigen Anschauungen der Geodynamik vollends gerecht wird.

Wir dürfen deshalb voraussetzen, daß v. Höfers Buch „Die Verwerfungen“ sowohl den Bergleuten als auch den Geologen und Geographen eine willkommene Erscheinung sein wird.

Friedr. Vieweg & Sohn.

DIE VERWERFUNGEN

(PARAKLASE, EXOKINETISCHE SPALTEN)

DIE VERWERFUNGEN

(PARAKLASE, EXOKINETISCHE SPALTEN)

FÜR GEOLOGEN, BERGINGENIEURE UND GEOGRAPHEN

VON

DR. MONT. h. c. HANS HÖFER EDLER VON HEIMHALT

MIT 95 ABBILDUNGEN



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

VORWORT.

Das Problem der Verwerfungen beschäftigt den Bergmann seit Jahrhunderten; er hatte und hat hieran nicht bloß ein wissenschaftliches, sondern auch ein hervorragendes praktisches Interesse. Schneidet ein Verwerfer die bebaute Lagerstätte ab, so ist es des Bergmanns Aufgabe, das verworfene Stück möglichst rasch und mit geringsten Kosten wiederzufinden, die Verwerfung auszurichten, um die Zukunft seines Bergbaues zu sichern.

Schon im Jahre 1649 brachte der in Graslitz (Böhmen) geborene Balthasar Röszlern ein System in die Verwerfungen, die er in drei Arten (Sprünge, Saigersprünge und Wechsel) einteilte. Dieses Erkenntnis blieb durch zwei Jahrhunderte leitend und ging auch in die Geologie über, als sie sich von der Bergbaukunde loslöste. Werner und seine Zeitgenossen bemühten sich, die Entstehung der Verwerfungen zu erklären und erkannten die Gänge als Verwerfer; doch beschäftigte sich jene Zeit fast ausschließlich nur mit Sprüngen. Der Bergmeister Joh. Christ. Schmidt in Bieber (Siegen) konnte deshalb mit seiner Regel zur Ausrichtung der Verwerfer leicht durchdringen, die sich sehr lange, gleichsam als Glaubensartikel, erhalten hat, da die Kenntnis der Verwerfer durch lange Zeit nicht wesentlich weiter entwickelt wurde. Heute hat sich jene Regel ausgelebt und es bleibt fraglich, ob sie mehr nützte als schadete.

Vereinzelte Beobachtungen, welche gegen die Alleinherrschaft der Sprünge sprachen, haben die Wechsel in Erinnerung gebracht oder zeigten, daß die Verwerfer nach verschiedenen Richtungen verschoben haben, was als „Ausnahme“ kurzer Hand abgetan wurde.

Das eingehende Studium der Verwerfungen als Gangspalten hat nun auch darum ein erhöhtes praktisches Interesse erlangt, da es gestattet anzugeben, ob die Gangspalte seicht oder tiefgreifend ist.

Die moderne Geotektonik, bei uns von E. Sueß und Alb. Heim eingeleitet und großgezogen, wendete sich mehr dem Faltungsprozeß zu, während das Phänomen der Verwerfungen meist nur ganz nebensächlich behandelt wurde. Erst in neuester Zeit brach die Erkenntnis durch, daß

sie im Aufbau der Erdkruste mit der Faltung gleichwertig sind. Nur das Zusammenfassen aller Störungen eines Gebietes zu einem Bilde gestattet einen richtigen Einblick in die vielfach noch ungeklärte Mechanik der Gebirgsbildung. Wir benötigen mehr Tatsachen als wie Phantasien. Die bergmännischen Karten und Profile, soweit sie sich auf Aufschlüsse beziehen, werden sozusagen täglich auf ihre Richtigkeit geprüft und zeigen uns die wirklichen Verhältnisse in der Tiefe, weshalb sie die größte Beachtung verdienen.

Von jeder bedeutenderen Spalte muß ihre geotektonische Position, ihre Beziehung zur gesamten Tektonik, erfaßt werden.

Die stattgehabten geodynamischen Vorgänge können wir nur dann richtig und ganz beurteilen, wenn wir auch alle Details der Verwerfungen kennen; damit gewinnt jene Frage ein reges Leben, und die Erklärung jedweder Gebirgsbildung erheischt auch das eingehende Studium der Verwerfer, welche auf Grund der neueren Beobachtungen viel weitergehend gegliedert werden müssen, als es Röszlern tat.

In jüngster Zeit wurde von einigen Geotektonikern angeregt, den Gattungsbegriff „Verwerfung“ auf eine einzige Art, auf die Absenkungen zu beschränken, dem ich jedoch nicht beipflichten kann, weil seit 100 Jahren sich hierfür die Bezeichnung „Sprung“ in der Wissenschaft und Technik eingebürgert hat. Ich vermag in jener Begriffseinschränkung weder eine Notwendigkeit, noch einen Nutzen zu erkennen. Damit käme nur eine neue Verwirrung in die Nomenklatur der Verwerfungen, die bei uns ebenso groß wie in der englischen Literatur ist; in den Vereinigten Staaten Nordamerikas versuchte ein eigens hierfür eingesetztes Komitee, in die Terminologie Ordnung zu bringen, welches zu der Überzeugung kam, „daß kein System der Nomenklatur angenommen würde, welches mit dem besten gegenwärtigen Gebrauch bricht. Dies macht es unmöglich, ein System zu adoptieren, welches gänzlich logisch ist“. Ich wählte für die lange bekannten Arten der Verwerfungen, dem historischen Recht folgend, die alten bergmännischen und auch jetzt noch oft angewendeten Namen und gab den übrigen Bezeichnungen, welche den Bewegungsrichtungen entsprechen. Bezüglich der englischen und französischen Namen folgte ich zumeist dem bekannten Buche Emm. de Margerie und Alb. Heim: „Die Dislokationen der Erde“.

Schon in den Jahren 1881 und 1886 veröffentlichte ich in der Österreichischen Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen zwei kleine Abhandlungen, welche den Zweck hatten, die sogenannte Schmidtsche Regel mit allen ihren angeblichen Verbesserungen als unhaltbar abzulehnen, hingegen auf drehende und horizontale Bewegungen an der Hand von Beobachtungen und insbesondere auf die große Wichtigkeit der Rutschstreifen hinzuweisen, die Worte anfügend: „Es ist somit das

Studium der Rutschstreifen auch bei der Lösung der Fragen über Gebirgsbildung von eminenter Bedeutung“. Eine glänzende Bestätigung dieses Satzes gab etwa 25 Jahre später Alb. Heim in seinem fundamentalen Werk: „Das Säntisgebirge“.

Der Geotektonik fehlt eine Spalten- und Faltenkarte der Erde oder vorläufig Europas, da Morziols Versuch nicht genügt. Eine solche Karte wäre die richtige Basis für brauchbare, weitgehende Schlüsse.

Jene Leitsätze, die ich vor mehr als 30 Jahren niederschrieb, legte ich meinen Vorlesungen zugrunde; sie wurden allmählich durch eigene und fremde Beobachtungen ergänzt und erweitert und gestalteten sich zu der vorliegenden Schrift, die kein erschöpfendes Lehrbuch ist, sondern nur die Elemente der Kenntnis von den Verwerfern systematisch bieten will. Sie möge sowohl der Theorie als auch der Praxis von einigem Nutzen sein.

Ich bin der hochgeschätzten Direktion der k. k. geologischen Reichsanstalt in Wien für die gütige Erlaubnis zur Benutzung der Bibliothek, sowie der sehr geehrten Verlagsfirma für ihr auch diesmal bewiesenes Entgegenkommen zu großem Dank verpflichtet.

Wien, Neujahr 1917.

Hans v. Höfer.

INHALT.

(Die beige-setzte Zahl ist die Angabe der betreffenden Seite.)

	Seite
Die exokinetischen Spalten (Allgemeiner Teil)	1
Erklärung einer Verwerfung; entokinetische und exokinetische Spalten; Entstehung; Ursachen 1. Arten und Benennung der Verwerfer; A. Parallele Verschiebungen: Sprung, Wechsel, Saigersprung, Horizontalverwurf, Liegendsprung, schräger Sprung, schräger Wechsel, schräger Liegendsprung; B. Drehverwerfungen 2—3. Bestimmung der Bewegungsrichtung 3.	
Entstehung und Einteilung der Spalten 3.	
A. Zugspalten 3. 1. Einbruchspalten; bei Höhlen und Bergbauen; im porenreichen Gestein; vertiefte Unterlage, nach Dutton und E. Sueß 4. 2. Zerrungsspalten. Bei Erdrutschungen; in Senkungsfeldern; Ursachen 5. Sal und Sima; Kompressions- und Dehnungsschale; Bruchschale 6.	
B. Druckspalten. 3. Aufbruchspalten, entstanden durch Intrusion; Stoffaufnahme; Antiklinalspalten 6. 4. Faltenspalten. Entstehung; ihre Eigentümlichkeiten nach Bergéat; Beispiel von Oberlahnstein 7. 5. Pressungsspalten. Clivage 8.	
Daubrées Druckversuche 8. Anwendung auf Freiberg, Cornwall, Vialas, Blanzky, Wisconsin 10.	
Die Dreh- oder Torsionspalten. Entstehung; Daubrées Drehversuch 10. Drehspalten sind Verwerfungen; Versuche von G. Becker, Crosby und Lossen 11.	
Die Erstreckung der Spalten (Verwerfungen). Allgemeines Streichen und Verfläachen 11. Windungen; Rasenläufer; Beispiele von der Erstreckung im Streichen und Fallen 12. Erstreckung der einzelnen Spaltenarten 13. Betrachtungen über die mögliche Tiefe der Zugspalten 14. Endigen der Spalten 15. Gestalt der Einsturz- und Aufbruchspalten; Längs-, Quer- und spießbeckige Spalten 16. Spalten im Harz 17.	
Mächtigkeit der Spalten. Geschlossene und offene Spalten, an die Art der Spalte gebunden 17. Verwurfsbäuche; Doppel- und Tripelgänge 18.	
Ausfüllung der Spalten. 1. Reibungsprodukte; 2. Gesteinsstücke vom Nebengestein 18; 3. vom Tag; 4. Mineral- und Erzgänge; 5. Eruptivgänge; die Spaltenausfüllung wird gelöst 19.	

	Seite
Die Verwerfungen (Spezieller Teil)	19
Parallel- und Drehverwerfungen. Ihre Kennzeichen 19.	
1. Der Sprung. Definition, Namen; zu- und abfallender Sprung 20. Geometrische Verhältnisse (Sprunghöhen, -breiten und -weite); Beispiele von Sprunghöhen 21; im gefalteten Gebirge 22. J. Chr. Schmidts Hypothese 23.	
2. Die Wechsel (Überschiebungen). Definition; Entstehungen; Beziehung zu den Falten 23. Deckende und nicht deckende Wechsel; Lagerwechsel; Beispiele hiervon; geometrische Verhältnisse (Schubhöhen, Wechselbreiten) 24.	
Längswechsel. Ihre Lage; Schaufelwechsel (listrische Flächen); deren Entstehung; L. Cremers Beobachtungen im westfäl. Kohlengebiet 25. Faltenwechsel sind geschlossen; Folgerungen hieraus; Deckel, Bänke, Flache; gleichsinnige Überschiebung 26; im deutsch-belgischen Kohlenbecken und in Westfalen; Eifeler Wechsel (faillie du midi); seine Schubhöhen; Entstehung 27. Verflächen; Klippen (Massiv de la Tombe und Massiv de Boussu); Bestätigung von Cremers Beobachtungen in Belgien; nordfallende Wechsel 28. Erklärung der Dislokationen im belgischen Becken nach Cornet, Briart und nach Gosselet; Einfluß auf die Gasführung der Flöze 29. Gosselets Profile 30. In den Dinariden und Südalpen; nordalpine Wechselzone 31. Im Mont Blanc-Massiv, im Jura, im rheinischen Schiefergebirge 32. Lausitzer Wechsel; kaledonische Überschiebung 33; in den Appalachen; Kolorado; Zusammenhang mit der Faltung 34.	
Faltenwechsel. Rogers und Heims Untersuchungen 34. Cremers Beobachtungen in Westfalen 35. Schwächende und verstärkende Schenkelbrüche; Reihenfolge der Wechselbildungen 36.	
Fernwechsel. Gleit- und Faltendecken; Wurzel, Stirn, Mylonit; Entwicklung der Deckenhypothese; ihre Anwendung auf die Nordalpen abgelehnt 37. Kritik der Deckenhypothese 38. Skandinavische und schottischer Fernwechsel 39; in Nordamerika; Hypothesen der Wechselentstehung von Runge, Mühlberg 40 und Willis 41.	
Querwechsel. Definition, Entstehung, Alter, Beispiel 41.	
3. Der Saigersprung. Definition 41. Deutung mittels Rutschstreifen und weitere Aufschlüsse 42.	
4. Die Horizontalverwerfung. Namen, Entstehung, Geschichte 42. Geometrische Verhältnisse (Schublänge, -höhe, -breite); Vorkommen; stehende Flexuren 43. Verhalten zu den Wechslern; Quirings Einteilung 44. Heims Beobachtungen im Jura und deren Erklärung 45.	
5. Der Liegendsprung (Unterschub). Erklärung 46.	
6. Die schrägen oder diagonalen Verschiebungen. Allgemeines 47.	
Der schräge Sprung. Erklärung, Beispiele 47, 48.	
Der schräge Wechsel. Erklärung, Beispiele 49.	
Der schräge Liegendsprung. Erklärung 49.	
7. Die Dreh- oder Torsionsverwerfer. Syngenetisch oder epigenetisch; bloße, drehende oder auch mit fortschreitender Bewegung; Erkennen der Drehung 49. Einseitige (offene und geschlossene) und zweiseitige Drehverwerfungen; Beispiele 51. Drehwinkel; scheinbare	

Drehverwerfungen; Einfluß bei Flözidentifizierung 53. Oberharzer Rutscheln; Beschreibung; verschiedene Erklärungen; Rutscheln in Baden; Gangtonschiefer 54.

Scheinbare Verwerfungen. Entstehung 55.

Die Reihenfolge der Deformationen im Faltengebirge. Spätere Störungen; Sprünge als Folge der Faltung; Erklärungen 55. Folge in Siegen 56.

Die Bewegungsrichtung der Verwerfungen 57.

A. Rutschflächen. Rutschstreifen, -kritzer, -furchen, -rillen, -rinnen 57. Beispiele; Glättung der Luvseite der Salbandbuckel; Rutschbelag; Spiegel oder Harnisch 58; deren Entstehung; schichtenparallele Rutschstreifen; Entstehung; Beispiele; Bestimmung der Rutschstreifenlage 59. Rutschstreifen einer Drehverwerfung; Beispiel 60. Nachträgliche Biegungen; Ermittlung der Bewegungsrichtung; Rutschlappen 61. Daubrées Versuche; geschichtliche Entwicklung der Kenntnis der Rutschstreifen 63 und deren Vernachlässigung 64. Urteile über die Bedeutung und den Wert der Rutschstreifen 65—66. Höfers Beobachtungen; Rutschungen auf Schichtflächen 66.

B. Schleppungen. Schichtenverbiegungen; Klemmstücke; Erz- und Kohlenspiegel 67.

Zusammenvorkommen mehrerer Verwerfungen. Gegenseitige Lage der Spalten 67.

Verwurfzone. Erklärung; Haupt-, Neben- und Randverwerfer; Störungszone; Beispiele 68.

Staffelbrüche. Erklärung; rückläufige Staffel 68. Beispiele: Osnabrück—Kaspischer See, Norwegen, Schwaben—Franken, Sierra Nevada, NO.-China, asiatisch-afrikanische Küstengebiete, Kleinasien 69; SO.-China; Repetitionsverwürfe; Schuppenstruktur; Wechsel verschiedener Ordnung 70. Benennung der Schollen nach Wilckens 71.

Seitlicher Staffelbruch. Erklärung; links- und rechtsseitige Staffelbrüche; ihre Entstehung; theoretische und praktische Bedeutung 71. Beispiele: Bleiberg-Kreuth, Raibl 72; Totes Gebirge, Littai, Jaklowetz, Fünfkirchen, Harz, Ems, Siegen 73; Aachen, Südafrika, Chile; neuerliche Bewegung der Staffeln durch Abrasion 74.

Horste. Erklärung und Einteilung 75. Entstehung 76.

Gräben. Erklärung und Einteilung 77. Rheingräben, Norwegen, ostafrikanisch-syrischer Graben 78. Griechenland, St. Etienne, Hardighen; Senkungsgräben 79. Überschiebungsgräben; Senkung und Hebung 80.

Verwurfnetze. Erklärung; Beispiele 82. Entstehung 83.

Bruchfeld. Erklärung; der Höhgau 83. Kesselbrüche; Berlingrube in Nevada; Peking; Meeresbecken 84.

Schollengebirge. Erklärung; Quirings Untersuchungen 85. Entstehung durch Abkühlung der Erdhaut; Beispiele 87.

Verwurffächer. Erklärung und Entstehung; Jaworzno; St. Andreasberg 88.

Die Verwerfungen und Falten. Bei Sprüngen 88. Bei Wechseln 89. Bei Horizontalverwerfern; bei schrägen Sprüngen und Wechseln 90.

Wasserführung der Verwerfer, Mineralquellen und Erzgänge. Wasserführung offener und geschlossener Verwerfer; Mineralquellen 91. Gänge 92.

- Einfluß auf das Nebengestein.** Glättung; Schleppung; Zertrümmerung; Zersetzung; Mineralisierung 93.
- Spätere Störungen der Verwerfungen.** Periodische und stetige Erweiterung der Spalte 93. Gegenseitige Verwerfungen; Gangabschneiden; gefaltete Wechsel in Westfalen 94; im Wurmrevier; am Harz 95.
- Geologisches Alter und Bildungsdauer der Verwerfungen.** In alten Gesteinen 93. Abschneiden des Verwerfers an einer Schichte; Zusammenhang mit anderen Dislokationen 96. Im Spätkarbon und Perm auf der nördlichen Halbkugel bedeutende Krustenbewegungen; Braunkohlenbecken und Verwerfer bei Cöln gleich alt; Gangformationen und Paragenesis; gleichstreichende Verwerfer sind nicht immer gleich alt; in einer Dislokationsperiode können die Verwerfungen verschieden alt sein 97. Junge Verwerfungen in alten Gesteinen; Verwerfungen in Rumpfebene; Reyers Vikarien der Massenbewegungen 98. Alter der Verwürfe in der Wurmmulde 98 u. 99. Blumentaler Verwurf in Westfalen 99. Saargebiet; junge Verwerfungen am Harz 100.
- Verwerfungen und Eruptiva.** Gesteinsgänge und Vulkanspalten 101.
- Verwerfungen und Tektonik.** Gräben; Küstenlinien; Täler; Inselbildungen; Steilabstürze und Terrassen 102. Bruchwand; Seenbildung; Felsrutsche; Bestimmung der Denudationshöhe 103.
- Verwerfer und Erdbeben.** A. Verwerfer durch Erdbeben entstanden 103. Beispiele von Griechenland, Kalifornien, Japan 104; Wurmrevier 105. B. Erdbeben in Verwerfern entstanden 105.
- Erkennen der Verwerfer obertags.** Abschneiden der Einlagerungen; Gänge als Riffe und Gräben; Täler; Steilabstürze 106. Quellen; Kalksinter; Gasaustritte; Kontakt eines Eruptivgesteins 107.
- Bildliche Darstellung der Verwerfer.** Profile; Horizontalschnitte 107. Zeichen in den Karten für verschiedene Arten der Verwerfungen 108. Flachriß 109.
- Bedeutung der Verwerfer für den Bergbau.** Arbeit im Tauben; frühere Unsicherheit im Ausrichten und Auflassen des Bergbaues; Störung der Förderung und Wetterführung; Wassereinbrüche 110. Schlagwetter- und Kohlensäureeinbrüche; großer Druck; minderwertige Kohle; Selbstentzündung der Kohle; Vernichtung der Rentabilität des Bergbaues 111. Verminderung und Vermehrung des Lagerstättenvermögens; Irreführung bei Bohrungen 112. Im Erdölbergbau 113.
- Bergmännische Ausrichtung der Verwerfungen.** Schmidtsche Regel 113. Nach Zimmermann; v. Carnall; auf geologischem Wege 114. Mittels Rutschstreifen; Gang- und Lagerführungen; Schleppungen; bei gleichsinnigen Verwerfungen; bei verschiedenen Hangend- und Liegend-schichten 115.
- Geometrische Konstruktionen.** Bestimmung des Streichens und Verflächens mittels Höhenschichtenlinien; Ausrichtung einer Verwerfung 115. Konstruktion eines stark gebogenen Wechsels 118.
- Geschichtliche Entwicklung der Kenntnis der Verwerfer.** Agricola, v. Löhneysz 119. Röszlern, Ercker 120. Werner 121. Schmidt, v. Waldenstein 123. Mohs 124. W. King, de Beaumont, Burat 125. Hopkins 126. Naumann, J. Dana, E. Sueß, Alb. Heim 127. Köhler, Dutton, Richthofen 128.
-

Die exokinetischen Spalten.

(Allgemeiner Teil.)

Eine Verwerfung¹⁾ oder ein Verwurf ist die Verschiebung eines Gebirgsstückes gegen das nachbarliche längs einer Spalte. Ein Gebirgsstück ist ein Stück der Erdkruste; die beiden Gebirgsstücke werden altbergmännisch Trümmer, von neueren Autoren Flügel oder Bruchflügel, von A. v. Lasaulx¹⁾ u. a. Schollen genannt, welch' letztere Bezeichnung weiterhin beibehalten werden wird. Die trennende Spalte heißt Verwerfer und dessen Wände nennt man die Salbänder. In manchen deutschen Bergbaugebieten heißt man die Verwerfungen auch Rücken und in den Kohlenfeldern bei Aachen Gewand (z. B. Sandgewand) oder auch Biß (z. B. Feldbiß). Die Durchschnittslinien einer Leitschicht oder Lagerstätte mit dem Verwerfer heißen die Scharungs- oder Kreuzlinien.

Jede Gesteinsspalte ist durch Zerreißen entstanden, wobei die dies bewirkende Kraft entweder innerhalb des Gesteines — entokinetisch — oder außerhalb desselben — exokinetisch — gelegen war. Die Verwerfungen sind durchwegs exokinetische Spalten, die A. Daubrée Paraklase nennt. Die letzte Ursache der entokinetischen Spalten ist Substanz- oder Wärmeverlust, die der natürlichen exokinetischen Spalten die Abkühlung der Erde und die Schwerkraft.

Gewöhnlich, und zwar der Einfachheit halber, wird angenommen, daß sich bei der Bildung einer Verwerfung nur eine Scholle bewegte, während die andere unbeweglich blieb; in den meisten Fällen betrachtet man die hangende Scholle als die bewegte; doch handelt es sich eigentlich bei jeder Verwerfung um die relative Ortsveränderung der beiden Gebirgsstücke. Es kann sich gleichzeitig oder später auch die liegende Scholle, und zwar in einem anderen Maße, in gleicher oder verschiedener Richtung ebenfalls verschoben haben. Ist ein Gebiet durch mehrere Verwerfer zerbrochen worden, so ist es höchstwahrscheinlich, daß jede Scholle sich bewegt haben konnte; in der schließlichen relativen Ortsveränderung der beiden Schollen sieht man die Art und das Maß des Verwerfers.

¹⁾ Französisch: faille, englisch: fault.

Höfer, Verwerfungen.

Die Verwerfer können sowohl in Schicht- als auch in Massengesteinen auftreten, sind jedoch in letzteren schwieriger zu erkennen, falls nicht Einlagerungen (Gänge, Imprägnationszonen u. dgl.) vom Verwerfer getroffen werden oder falls nicht Rutschstreifen vorhanden sind.

Die Spaltenbildung und die Verschiebung sind im ersten Stadium durch dieselbe Kraftäußerung bedingt.

Arten und Benennung der Verwerfungen.

Auf Grund der Richtung der relativen Ortsveränderung, Bewegungsrichtung genannt, der Hangendscholle unterscheidet man parallele und Drehverwerfungen. Die nachgenannten acht Arten der Verwerfungen sind die Parallelverwerfungen, bei welchen die verworfene Scholle in einer gewissen Erstreckung ganz oder nahezu zu ihrer ursprünglichen Lage parallel blieb.

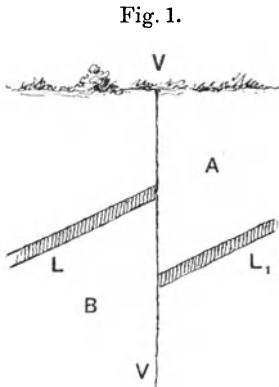


Fig. 1.
Saigersprung.

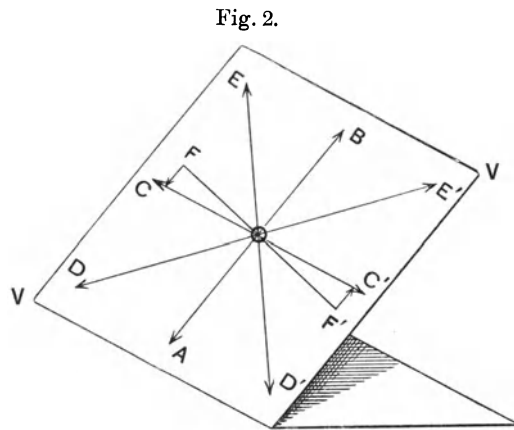


Fig. 2.
Bewegungsrichtungen des Hangenden der Verwerfer.

1. Der Sprung ist ein Abgleiten der Hangendscholle ganz oder annähernd längs der Fallinie des Verwerfers.

2. Der Wechsel ist eine Überschiebung des Hangenden ganz oder annähernd längs der Fallinie des Verwerfers.

3. Der Saigersprung ist ein saiger (lotrecht) stehender Verwerfer, in welchem wegen seiner Stellung nicht zu entscheiden ist, welche Scholle die hangende oder die liegende ist. In Fig. 1 ist VV der Saigersprung und LL_1 die verworfene Leitschicht.

4. Der Horizontalverwurf ist eine ganz oder nahezu horizontale Verschiebung der einen Scholle gegen die andere.

5. Der Liegendsprung ist eine Unterschiebung der Liegendscholle unter die Hangendscholle annähernd längs der Fallinie des Verwerfers.

6. Der schräge oder diagonale Sprung ist ein zur Fallinie des Verwerfers schräges Abgleiten der Hangendscholle, deren Bewegungsrichtung zwischen jener des Sprunges und der Horizontalverschiebung liegt.

7. Der schräge oder diagonale Wechsel ist eine zur Fallinie des Verwerfers schräge Überschiebung, zwischen Wechsel- und Horizontalverschiebung liegend.

8. Der schräge oder diagonale Liegendsprung ist eine schräge Unterschiebung der Liegendscholle.

9. Die Drehverwerfung, bei welcher sich die eine Scholle gegen die andere drehte.

Stellt VV in Fig. 2 das liegende Salband des Verwerfers dar, so bewegte sich ein Punkt O des hangenden Salbandes beim Sprung nach OA , Wechsel nach OB , Horizontalverwurf nach OC oder OC' , schrägen Sprung nach OD oder OD' , schrägen Wechsel nach OE oder OE' , bei der Drehverwerfung der Punkt F nach ab- oder aufwärts, ein anderer, F' , der Scharungslinie entgegengesetzt.

Betrachtet man einen größeren Verwurf in seiner ganzen Erstreckung, so ist er sehr selten eine wirkliche parallele Verschiebung; als solche erscheint er nur in einer kurzen Strecke.

Die Bewegungsrichtung eines Verwerfers erkennt man aus der relativen Lage der beiden verworfenen Stücke der Leitschicht (Lagerstätte), was jedoch nur eine allgemeine Orientierung abgibt, die überdies auch zu Verwechslungen Anlaß geben kann, da hieraus nur Sprünge, Wechsel oder Saigersprünge abgeleitet werden können, während auch die anderen Arten der Verwerfungen geometrisch dasselbe Bild wie jene drei erzeugen können. Die Bewegungsrichtung wird sicher mittels der Rutschstreifen bestimmt, das sind Striemen, welche sich infolge der Schollenbewegung in die Salbänder eingegraben haben, und welche später eingehend behandelt werden; auch die Schlepungen der Schichten können zur Bestimmung der Bewegungsrichtung verwendet werden.

Entstehung und Einteilung der Spalten.

Die Ursache der Spaltenbildung sind ungleiche Spannungen in zwei nachbarlichen Gebirgsstücken, wodurch die Elastizitätsgrenze des Gesteines überschritten wird und deshalb der Bruch (Spalte) erfolgt.

Im allgemeinen kann man sagen, daß die Spaltenbildung durch eine geringere Überdeckung, durch die Sprödigkeit des Gesteins, durch die größere Möglichkeit des Ausweichens bei der Schollenbildung und durch schwächere Stellen in der Erdkruste befördert wird.

Die Spannungen können sowohl durch Zug, als auch durch Schub und Torsion hervorgebracht werden, weshalb man A. Zug-, B. Schub- oder Druck- und C. Dreh- oder Torsionsspalten unterscheidet.

A. Die Zugspalten.

Der Zug kann zur Erdoberfläche verschieden gerichtet sein, und zwar entweder radial oder seitlich (tangential). Wir haben nach der

Richtung des Zuges diese Spalten zu teilen in 1. Einbruch- und 2. Zerrungsspalten.

1. Die Einbruchspalten; bei diesen bedingte die radialwirkende Zugkraft, die Schwere, ein Absinken von Gebirgsstücken gegen die Tiefe. Dieses Absinken war möglich, wenn in der Tiefe größere oder kleinere Hohlräume einstürzen oder zusammengepreßt werden konnten. Der einfachste Fall ist wohl der, daß eine Höhle oder ein Höhlensystem einstürzte, wie dies im Kalk-, Dolomit-, Gips- und Salzgebirge und anderen löslichen Gesteinen oft der Fall war. Bemerkenswert sind die Senkungen bei Bergbauen; wird eine Lagerstätte rasch und vollständig abgebaut, so daß ein ausgedehnter Hohlraum auf einmal zu Bruch geht, so bildet sich an der Erdoberfläche eine wannenförmige Hohlform, welche, den Abbaugrenzen entsprechend, von Randspalten begrenzt ist, während innerhalb der Wanne die Spalten um so weniger kenntlich sind, je plastischer das Taggestein ist. Wenn jedoch die Abbauräume voneinander getrennt sind und zu Bruch gehen, so werden, jeder Abbaugrenze entsprechend, Randspalten entstehen und das Gelände ist viel mehr zerrissen und verworfen als im ersten Fall. Denselben Verhältnissen begegnet man in der Natur. Wird ein porenreiches Gestein der Tiefe zusammengepreßt oder zerdrückt, so wird die Tagesoberfläche nur Randspalten zeigen, welche der Begrenzung des zusammengepreßten Gesteines annähernd entsprechen; sind in diesem widerstandsfähigere Partien, so werden innerhalb des Bruchfeldes ebenfalls Spalten, oft ebenfalls so bedeutend wie die Randspalten auftreten. Solche porenreiche Gesteine, wobei die Poren größer sind, als dies dieser Begriff vorschreibt, können auch durch teilweise Auflösung entstehen, wie z. B. dies die Rauhwacke oder der Zellendolomit zeigt; hierbei kann die Auflösung strichweise weiter vorgeschritten sein als anderswo.

Manche Anhänger der Deckentheorie denken sich Einbruchspalten auch dadurch entstanden, daß unter der aufgeschobenen Decke eine größere Vertiefung lag, in welche der darüberliegende Deckenteil einbrach.

Auch Vorgänge an der unteren Grenze der Lithosphäre können Hohlräume, die Dutton *Maculae* nennt, schaffen. So konnten Eruptionen an der inneren konkaven Seite der Kettengebirge, z. B. in Ungarn, auftreten, welche Anlaß zu Senkungen und deshalb auch zur Spaltenbildung gaben, da der lokale Magmaherd teilweise entleert wurde.

E. Sueß¹⁾ äußert sich über derartige Spalten: „Ein aktiver Zug nach abwärts ist in der ganzen umfangreichen Gruppe von Dislokationen nicht sichtbar. Wo die tangentielle Bewegung fehlt, lassen sich die vorhandenen Dislokationen ungezwungen durch das Weichen der Unterlage und durch die Schwerkraft erklären. Was man

¹⁾ Antlitz der Erde I, 165.

sieht, sind nur Formen von passiven Einsenkungen oder Einstürzen. Es bleibt der Eindruck, als wirke die radiale Komponente in größerer Tiefe oder als würden unter einer äußeren Schale Räume geschaffen, welche gestatten, daß große Teile der äußeren Schale in dieselben hinabsinken.“

Die gegebenen Erklärungen beziehen sich also teilweise auf örtliche, relativ seichte (vadose), teilweise auf tiefer liegende (profunde), also tektonische (Sueß, Duton) Ursachen.

In allen den genannten Fällen wird oder wurde das Gestein auf Biegungsfestigkeit beansprucht.

2. Die Zerrungsspalten entstehen durch einen Zug, der gegenüber der Erdkugel verschieden, oft zu ihr nahezu tangential gerichtet sein kann, wobei das Gestein auf Zugfestigkeit in Anspruch genommen wird. Die Spalten stehen querweise, bei gleichförmigem Material ganz oder nahezu normal zur Zugrichtung.

Ein Beispiel, das sich jetzt noch in seiner ganzen Entwicklung wiederholt beobachten läßt, sind die Kopf- oder Abrißspalten bei Erd-rutschungen, welche dadurch bedingt sind, daß ein Teil einer geneigten Gesteinsplatte infolge der Schwere, der geringen Reibung auf der Unterlage, z. B. aufgeweichter Lehm, und unzureichender Stütze am Fuße abgleitet.

Im Großen kann ein ähnlicher Vorgang dadurch bewirkt werden, daß ein Senkungsfeld tief einbricht und damit dem stehengebliebenen und zur Senke geneigten Teil die Stütze geraubt wird, wodurch in ihm ein Zug gegen die Senke wachgerufen wird, welcher die Spalten bedingt. Die Brüche können staffelweise fortschreiten; die erste Spalte erweitert sich durch das Abgleiten der ersten Scholle, wodurch dem höher liegenden Teil Raum zum Abgleiten gegeben wird. Die Tiefe der Spalten wird im großen ganzen der Höhe des über der Senke freigewordenen Raumes entsprechen.

Wenn eine Abkühlung der Erdkruste stattfindet, so ist damit auch ein Zusammenziehen der Erdhaut verbunden, wodurch Zug- bzw. Zerrungskräfte ausgelöst werden, die zumeist in tangentialer Richtung tätig sein werden und tektonisch von ebensolcher Bedeutung sind, wie die tangentialen Schubkräfte. Näheres siehe im Abschnitt „Schollengebirge“.

Eine Zerrung kann andererseits auch dadurch bewirkt werden, daß ein Teil der Erdkruste gehoben und dadurch die Nachbarschaft nachgezogen, also gezerzt wird.

Wird die Zerrung durch eine allgemeine und tangential wirkende Kraft, z. B. durch Schrumpfung der Erdkruste, erzeugt, so können sich Senkungsfelder und Schollengebirge bilden, wobei die Tiefe der Zerrungsspalten von jener der Senkung unabhängig ist. Die Spalten pflegen in große Tiefe hinabzusetzen, wofür oftmals die in diesen Spalten aufgestiegenen Eruptiva den Beweis liefern.

Zerlegt man mit E. Sueß die Erdkruste in eine obere leichtere Gesteinsschale, den etwa 100 km mächtigen Sal oder in eine untere, etwas dichtere oder mächtigere Schale des Sima, beide getrennt durch die plastische Schicht, so könnte diese als Eruptionsherd angesehen werden, ähnlich den örtlichen Magmareservoirs Stübels. Spalten, aus welchen Eruptiva emporgestiegen sind, mußten eine profunde Tiefe haben, zum Unterschied von jenen, welche nicht das ganze Sal durchsetzen und sich in der Tiefe verhältnismäßig bald auskeilen. Kommen Erzgänge mit Eruptivgängen vor, so ist es höchstwahrscheinlich, daß jene ihren Metallgehalt ebenfalls aus profunder Tiefe in Form von Gasen oder mineralisiertem Wasser bezogen haben, daß sie in entschieden größere Tiefe erzführend reichen, als die Ausfüllungen anderer Gangspalten. In Příbram vereinen sich jene besprochenen günstigen Verhältnisse und die Erzführung hält quantitativ bis zu 1200 m Tiefe günstig an, soweit der Bergbau bisher eindrang.

Der besonders in Amerika beliebten und auch von F. v. Wolff¹⁾ angenommenen Zweiteilung der Erdkruste in eine obere Kompressionschale, deren Dicke mit 8 km angenommen wird und in eine untere, viel mächtigere Tensions- oder Dehnungsschale muß entgegengehalten werden, daß in ersterer auch vielenorts Zerrung herrscht, wie dies durch die weitverbreiteten und stellenweise sehr tiefen Senkungen aller Art, Schollengebirge, Meeresbecken usw. bewiesen wird. Es scheint mir deshalb zutreffender, diese oberste Zone mit van Hise²⁾ mit Bruchschale (Zone of fracture) zu bezeichnen.

B. Die Druckspalten.

3. Die Aufbruchspalten entstehen durch eine nach auf- und auswärts wirkende Kraft, welche das Gestein auf Biegungsfestigkeit beansprucht. Dieser Druck kann verschieden veranlaßt werden, so durch eine Intrusion in der Tiefe, z. B. durch einen Lakkolith, wobei auch die Wärme hebend auf die Überlagerung mitwirkte, oder auch durch die Metamorphose eines Gesteines mit Stoffaufnahme und dadurch Volumvermehrung, wie die Umwandlung des Anhydrits in Gips, der Peridotite in Serpentin.

Doch kann auch der Seitenschub eine aufwärtsgerichtete Komponente erzeugen, wenn dem Gestein Gelegenheit geboten ist, nach auswärts zu entweichen, wie dies auch die später zu beschreibenden Druckversuche Daubrées augenscheinlich beweisen. Die Antiklinalspalten gehören hierher. R. Beck³⁾ erklärt auf diese Weise die Spaltenbildung des Freiburger Gangreviers, das in der Hauptsache an die Scheitelgegend einer großen Gneiskuppel gebunden ist. Auch K. Naumann⁴⁾ nimmt hierfür eine säkulare Aufwölbung an.

¹⁾ Der Vulkanismus 1, 16; Stuttgart 1913. — ²⁾ U. S. geol. Survey Mon. 47, 1904. — ³⁾ Lehre v. d. Erzlagerstätten, 2. Aufl., Berlin 1903, S. 178. — ⁴⁾ Geognosie, 2. Aufl., 3, 510.

Die modernen Vulkanisten setzen voraus, daß auch durch explodierende Gase und den Druck des Magmas auf die Erdkruste in dieser Spalten entstehen können, welche dann die Eruptionswege bilden. Abgesehen von dieser Spaltengruppe sind die Aufbruchspalten vadosen Ursprunges.

4. Die Faltenspalten wurden durch die gebirgsbildende Kraft, die hier den Seiten- oder Tangentialschub erzeugt, bedingt. Dieser Schub bewirkt einerseits die Faltenbildung, andererseits dort, wo er nicht durchwegs gleich ist oder wo er im gedrückten Gestein einen ungleichen inneren oder äußeren Widerstand findet, örtliche Spannungen, welche durch Spalten — den Faltenspalten — ausgelöst werden.

Die durch diesen Druck bewirkte Deformation hängt sowohl von den Festigkeits- bzw. Kohäsionsverhältnissen der Gesteine ab, als auch von der Verteilung der Druckenergie, von deren raschen oder langsamen Entwicklung, von den Widerständen und von der Möglichkeit des Entweichens des Gesteines beim Umformen.

A. Bergeat¹⁾ nennt folgende Eigentümlichkeiten der Faltenspalten:

1. „Ihre im großen gleichbleibende Richtung über weite Strecken hin;
2. das gruppenweise Zusammenvorkommen gleichstreichender Spalten;
3. die Erstreckung durch verschiedenartige Gebirgskörper; und 4. ihre Verbindung mit Überschiebungen.“ Die Faltenspalten reichen relativ nicht sehr tief.

Wie erwähnt, erzeugt der Tangentialdruck nicht bloß Spalten, sondern auch Falten, bei welchen die Sattel- und Muldenlinien vertikal um so mehr sich entfernen, je schärfer die Faltenbildung ist. Dadurch entsteht in den Schenkeln ein Zug, eine Zerrung, wodurch sich an den Faltenbögen streichende Faltenspalten oder Faltenbrüche bilden, sobald die Zerrung die Gesteinsfestigkeit überwindet. Insbesondere bei überkippten Falten treten solche Spalten als Verwerfungen, sogenannte Faltenwechsel, wiederholt auf. Bei spröderen Gesteinen genügen auch geringere Biegungen zur Erzeugung von Spalten an den Anti- und Synklinalen. — Bei ungleichem Schub wird das Gestein auch auf Abscheren beansprucht, wodurch die Schichtung verquerende Faltenspalten entstehen.

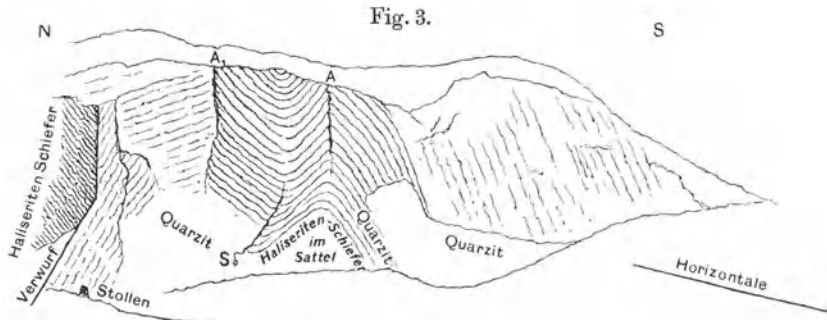
Die Bezeichnung Faltenspalte stammt meines Wissens von Bey-schlag-Krusch-Vogt und ist jedenfalls der früheren, tektonische Spalte, vorzuziehen, nicht bloß, weil sie das Zusammenvorkommen ausspricht und weniger genetisch ist, sondern weil auch andere Spalten, wie z. B. jene durch Zerrung entstandenen, in Ursache und Wirkung tektonisch sind.

Ein lehrreiches Beispiel zeichnet R. Lepsius²⁾ vom großen Steinbruch oberhalb Oberlahnstein am rechten Rheinufer (Fig. 3, a. f. S.). An

¹⁾ Die Erzlagerstätten. Leipzig 1905, S. 513. — ²⁾ Geologie von Deutschland I, S. 57.

den Spalten A und A_1 treffen die Schichten antiklinal scharf aneinander und scheinen dort nicht oder nur sehr wenig gebogen zu sein; A geht in der Tiefe in die ungebrochene Antikline über. Sehr bemerkenswert ist es, daß die synklinal Spalte S nur so weit nach aufwärts, als die antikline A nach abwärts reicht; ihre Enden liegen gleichsam in einer neutralen Schicht. Im linken Teil der Zeichnung sind andere Gesteinsverhältnisse, die starke Verwerfungen zeigen.

5. Die Pressungsspalten, unter der Bezeichnung Schieferung oder transversale Schieferung bekannt, sind ebenfalls Druckspalten, welche in Gesteinen, häufig im Tonschiefer, auftreten, die einer leichten Molekümlagerung fähig sind, bei welcher die einzelnen kleinsten Teilchen gleichförmig flach gequetscht und in die Richtung der Schieferungsebene gelegt wurden. Sie sind ebene, meist nah aneinanderschließende Flächen der Schwäche, welche zur Druckrichtung normal liegen. Für die Verwerfungen sind sie nur insoweit von Belang, da sie späteren Verwerfungsspalten die Lage bestimmen, da



Steinbruch bei Oberlahnstein; nach Lepsius.

diese nach jenen Flächen der Schwäche leichter aufgerissen werden können, wie dies z. B. im Gangbezirk Holzappel—Werlau der Fall ist.

Fast immer streichen Schieferung und Schichtung bzw. Faltung parallel; beide sind ja das Ergebnis derselben Ursache, des tangentialen Druckes; hingegen pflegen die Schieferungsflächen steiler als die Schichtung zu stehen.

Die Bezeichnung Clivage sollte der transversalen Schieferung vorbehalten bleiben.

Daubrées Druckversuche ¹⁾.

Der Festigkeitsgrad der Masse ist auf die Versuchsergebnisse von großem Einfluß. So können harte Gesteine Sprünge bekommen, die rechtwinkelig zur Druckebene, also in der Druckrichtung liegen, wie Daubrée dies durch Zusammendrücken eines Kalksteinparalleloipeds erhielt.

¹⁾ Synthet. Studien z. experim. Geologie; deutsch von A. Gurlt, 1880, S. 241.

Bekannter sind seine Versuche mit Formmastix, eine Mischung von Gips, Bienenwachs und Harz, aus welchen quadratische Säulchen hergestellt wurden, deren Grundfläche 14 cm Seitenlänge und 30 bis 33 cm Höhe hatten. Der Druck einer hydraulischen Presse wirkte in der Richtung der Prismenhöhe; oben und unten waren starke Pre-platten von der Größe der Prismenbasis (Fig. 4).

Die Ergebnisse sind:

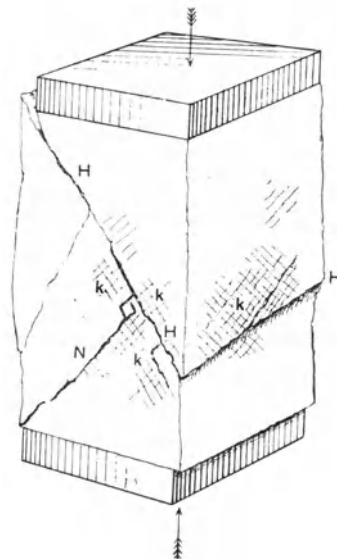
1. Der Druck erzeugte eine fast ebene Hauptspalte H , welche gegen die Druckrichtung nahezu 45° geneigt ist; sie begann an einer Seite der oberen Druckplatte, durchschnitt das Prisma und verschob dessen oberen Teil nur ein wenig, da sofort nach der Bildung der Hauptspalte der Druck behoben wurde. Durch diese Bewegung wurden auch die kleinen Unebenheiten der Spalte verschoben, so daß sich kleine Bäuche und Verdrucke bildeten, wie wir sie im Großen bei Verwerfern und Erzgängen wiederfinden.

2. Eine andere Spalte N entstand im unteren Prismenteil, welche von der Kante der unteren Preßplatte, unterhalb der Ursprungkante der Hauptspalte gelegen, ausging und diese unter einem rechten Winkel traf, sich jedoch in dem Oberteil des Prismas, also jenseits des Hauptverwerfers nicht fortsetzte.

3. Vor der Bildung dieser beiden Spalten zeigten die vier Prismenflächen eine Ausbauchung; auf jeder derselben sind sehr feine, naheliegende Klüftchen k entstanden, welche sich unter einem rechten Winkel schnitten und auf jeder Fläche gleichgerichtet waren.

Die beiden nachträglich gebildeten Spalten N und H hatten dieselbe Richtung, wie die feinen Klüftchen an jenen beiden Seitenflächen, an welchen man die Neigung der beiden Spalten N und H sieht. An der dritten Fläche, welche den oberen, verschobenen Prismenteil nach unten begrenzt, schnitten die Klüftchen den hier horizontal streichenden Schnitt der Hauptspalte ebenfalls in einem Winkel von 45° . Die beiden zueinander senkrechten Systeme der feinen Klüftchen, welche Daubrée gepaarte Systeme nennt, stehen also durchwegs zu den vertikalen Prismenkanten, also auch zur Druckrichtung, unter einem Winkel von nahezu 45° . „Die so zerklüftete Masse ist dadurch spaltbar geworden.“ An den Klüftchen ist in Daubrées Zeichnungen keine Verwerfung sichtbar; diese hätten sich zweifelsohne

Fig. 4.



Druckspalten
in einem Formwachsprisma;
nach Daubrée.

erweitert, wenn die Ausbauchung weiter vorgeschritten wäre; dann hätten auch Verschiebungen eintreten können.

Es wurde bereits erwähnt, daß R. Beck das Freiburger Gang- bzw. Spaltennetz, in welchem man auch zwei zueinander senkrecht streichende Systeme erkennen kann, durch Aufwölbung — im Versuche der Ausbauchung entsprechend — erklärte und durch Daubrées Versuche eine Bestätigung fand. Auch die Erzgänge in Cornwall und bei Vialas (Dep. Lozère), die Verwerfer im Steinkohlenbecken von Blanzay [Frankreich¹⁾] bilden zwei zueinander senkrechte Spalten-systeme. J. B. Whitney²⁾ beobachtete in der 140 km langen und 90 km breiten Bleiregion von Wisconsin dieselbe Regelmäßigkeit an den erzführenden Spalten.

Es sei in Erinnerung gebracht, daß die rechtwinkeligen Spaltenkreuze des Versuches gleichzeitig entstanden sind, was jedoch weder in Freiberg noch in Cornwall zutrifft, was auch Beck³⁾ hervorhebt. Später, bei der Besprechung der Verwurfsnetze, wird diese Frage eingehender behandelt werden.

Die Wirkung des Druckes in heterogenen Gesteinen ist viel regelmäßiger als jene der Zerrung.

C. Die Dreh- oder Torsionsspalten.

Die Kraftäußerung und die äußeren und inneren Widerstände konnten voraussichtlich in vielen Fällen der Deformation auf größere Erstreckung hin nicht gleichwertig sein, weshalb Torsion und infolgedessen Scherung mit Spaltenbildung eintrat; mit letzterer war naturgemäß Drehung verbunden.

Die Kraft konnte sowohl Schub als auch Zug sein, weshalb die Drehspalten eine Mittelstellung zwischen beiden einnehmen.

Zug- und Druckspalten konnten auch nachträglich durch ungleiche Kraftäußerung auf die beiden nachbarlichen Schollen oder infolge ungleicher Widerstände während der Verschiebung eine Drehbewegung erleiden. Es ist in vielen Fällen schwer zu entscheiden, ob in einer Spalte die Drehercheinungen mit der Spaltenbildung syngenetisch oder epigenetisch sind.

Spalten mit Drehercheinungen sind häufig, was mit Rücksicht auf das Voranstehende nicht befremden kann.

Bei den „Dreh- oder Torsionverwürfen“ werden weitere Einzelheiten gegeben werden.

Die bekannten Versuche Daubrées⁴⁾, durch Drehung einer an einem Ende eingeklemmten Spiegelglasplatte Spalten zu erzeugen, lassen sich in die Natur nur mit großer Vorsicht übertragen, da

¹⁾ Daubrée: Synthetische Studien, S. 258. — ²⁾ Rep. geol. survey Wisconsin 1, 73. — ³⁾ Lehre von den Erzlagerstätten, 2. Aufl., S. 180. Berlin 1903. — ⁴⁾ Synthetische Studien usw.; deutsch von Gurlt, S. 235.

es sich hier nicht um die Torsion von Platten, sondern von Massiven handelt. Die wichtigsten Ergebnisse dieser sehr interessanten Versuche sind folgende. Die erzeugten, an der Plattenoberfläche fast geraden, feinen Spalten bilden zwei sich unter 70 bis 90° schneidende (gepaarte) Systeme, welche mit der Drehachse, bzw. mit den hierzu parallelen Längsseiten der Platte Winkel von 45° einschließen. Andere Spalten bleiben innerhalb der Fläche der Platte und erreichen deren Seiten nicht oder sie erreichen die Oberfläche gar nicht. An der schmalen Seite (Dicke der Platte) sind die Durchschnitte der Spalten meist windschief, schließen mit der Oberfläche der Platte verschieden große Winkel ein und sind somit im Einfallen bei dem gleichen Spaltensystem nicht parallel. „Der Neigungsgrad schwankt auch sehr und kann nach jeder Richtung hin wenigstens 50° betragen“ und ist gegen die Plattenränder meist 90°. Stellenweise gehen von den Längsseiten der Platte schmale Spaltenfächer aus.

Jede der feinen Spalten verwirft außerordentlich wenig, doch muß eine Verschiebung der einzelnen Scherben stattgefunden haben, da ja die Drehung der an einer Seite fest eingespannten Platte an der anderen etwa 20° betrug; die Spalten sind in jeglicher Hinsicht Paraklase (Verwerfungen). Daubrée gibt auch ein Bild einer wahrscheinlich durch Torsion zerbrochenen Glastafel (1,8 × 0,7 m), welche von jenem des Versuches insofern abweicht, daß zwischen parallelen Hauptspalten rechtwinkelig kurze Spalten vorhanden sind, welche die ersteren nicht durchsetzen.

George F. Becker¹⁾, welcher Daubrées Versuche wiederholte, kam zu denselben Ergebnissen, sie teilweise ergänzend und W. O. Crosby²⁾ nahm ebenfalls die Torsionshypothese an, setzt jedoch voraus, daß schließlich der Bruch durch einen Stoß bedingt wurde. Die von Lossen³⁾ beobachteten Sprünge an einer zufällig zerbrochenen Fensterscheibe zeigen besonders deutlich die konvergierenden Spaltenbündel, welche von der Klemmstelle der Fensterscheibe radial ausstrahlen.

In ein und demselben Gebiet kann Druck und Zug zeitlich wechseln; im gefalteten Gebirge folgt sehr häufig auf Druck Zug, die Wechsel und Falten werden von jüngerer Sprüngen durchsetzt.

Die Erstreckung der Spalten (Verwerfungen).

Die Spalten sind keine mathematischen Ebenen, sondern sie sind im Streichen und Verflächen verschieden gekrümmt. Besonders für geodätische Konstruktionen wird trotzdem eine mathematische Ebene vorausgesetzt, welche der mittleren Lage der Spalte entspricht. Diese wird dadurch gewonnen, daß man das allgemeine Streichen und

¹⁾ Transact. Amer. Instit. Ming. Eng. **24**, 130, 1894. — ²⁾ Amer. Geologist **12**, 368, 1893. — ³⁾ Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanstalt 1886, S. 336.

Verflächen bestimmt, und durch sie eine Ebene legt. Das allgemeine oder Hauptstreichen wird auf die Weise gefunden, daß man in die verschiedenen gekrümmte Streichlinie der Spalte eine Gerade derart legt, daß die zwischen diesen beiden Linien eingeschlossenen Flächen gleich groß sind. Auf dieselbe Weise wird auch das allgemeine oder Hauptverflächen gefunden.

Bei der Verfolgung und der Kombination der Verwerfer (Spalten) im Gelände sind solche Konstruktionen, die naturgemäß mit der Länge des bisherigen Aufschlusses an Wert gewinnen, oft von Vorteil. Sie weisen auch auf die Abweichungen von der allgemeinen Lage (Ebene) hin, für welche die Ursachen, Änderung der Festigkeit der Gesteine u. dgl., in der Natur zu suchen sind.

Die Windungen der Spaltenfläche sind in technischer Hinsicht sehr störend. So z. B. wollte man in Teplitz-Schönau (Böhmen) bei der Urquelle, in welcher, infolge eines Wassereinbruches in einen etwa eine Meile entfernten Bergbau, der Thermalwasserspiegel bedeutend gesunken war, die Thermalspalte in der Tiefe erbohren. Zur Konstruktion ihrer allgemeinen Lage konnte nur ein sehr kleines Stück des Ausbisses benutzt werden, weshalb die Bestimmung des Verflächenens auf größere Erstreckung ganz ungenau war; tatsächlich kam es mit zunehmender Tiefe in die Gegenstunde, d. h. die Spalte bog sich in die entgegengesetzte Richtung um, weshalb das Bohrloch, welches die Thermalspalte in der Tiefe anfahren sollte, ergebnislos war. Da die Gänge ausgefüllte Spalten sind, so werden dieselben aus dem soeben genannten Grunde in die Tiefe nicht mittels vertikaler Bohrlöcher verfolgt.

Die Erstreckung der exokinetischen Spalten ist verschieden groß; so z. B. kennt man ausgefüllte Spalten, welche an der Erdoberfläche eine beachtenswerte Mächtigkeit besitzen, doch in der Tiefe bald verschwinden; es sind dies die sogenannten Rasenläufer, welche wiederholt bergmännische Hoffnungen enttäuschten. Sie sitzen manchmal als geschlossene Spalten weiter in der Tiefe, woselbst sie verschwinden; bei Verhältnissen, wie in Fig. 3, kann in der Nähe von *A* (Rasenläufer) eine neue Spalte *S* einsetzen, welche in der Tiefe anhält. Andererseits kennt man Spalten von großer Erstreckung, meist nur im Streichen; in flachem Gelände wurde ihr Anhalten in der Tiefe bergmännisch nachgewiesen, falls die Spalten ausgefüllt, d. h. Gänge sind. So z. B. sind die Erzgänge von Příbram (Böhmen) bis zu 1200 m Tiefe verfolgt; im Streichen hält der Adalberti-Hauptgang 1300 m an. Ein Verwerfer, älter als die Erzgänge, daselbst, Lettenkluft genannt, setzt in die gleiche Tiefe, wie die Gänge und ist streichend auf 7 km bekannt; die Lettenkluft ist jünger als die Dioritgänge daselbst, welche selbstredend ebenfalls bis in die größte Tiefe reichen. Im allgemeinen darf vorausgesetzt werden, daß die Spalten (Gänge) entsprechend ihrer streichenden Erstreckung in die Tiefe setzen. Ein Elvengang (Granit) in Cornwall ist auf 20 km streichend bekannt.

Im gebirgigen Gelände kann das Ver- und Anhalten der Spalten in der Tiefe aus den Höhenunterschieden ihrer Ausbisse beurteilt werden.

Der bei 500 km lange N.—S. streichende Rhône-Saone-Verwurf scheint die längste Spalte Europas zu sein; denn die von F. Winterfeld¹⁾ verfolgte meridionale Dollart-Rheintalspalte, welche von der Nordsee über Koblenz bis Straßburg 570 km mißt und welche er über den Simplon bis zur Westküste Sardiniens fortsetzt, ist kein eigentlicher Verwerfer, sondern eine Zerrüttungszone.

Eine der längsten Spalten Europas ist der nach NW. streichende, 150 km lange bayerische Pfahl, mit Quarz erfüllt. (E. Weinschenk.) Der böhmische Pfahl hat 55 km Länge, wird im N. von den känozoischen Überdeckungen des Egerer Beckens auf 19 km unterbrochen und setzt dann als Ascher Pfahl noch 40 km lang fort; er hat also 114 km Gesamtlänge. Der Basaltgang Whin Sill (Northumberland) ist ein 120 bis 130 km langer Sprung²⁾. Der Eifeler Wechsel, welcher das belgische Kohlenbecken im S. begrenzt, ist im Streichen auf 380 km Länge bekannt und erzeugt örtlich bis 4000 m große Vertikalverschiebungen. In den Ostalpen hat der Judikarienbruch 128 km, die Bellunolinie (Trient—Isonzo) 190 km Länge. Der Lebombobbruch in Südafrika zieht sich von 27° 30' s. Br. durch 4 Breitengrade (4400 km) nach N. Der Sahgádribruch in Ostindien durchschnittet von 8° u. Br. bis 16° den Gneis und von da bis 20° die Laven des Dekkan [E. Sueß³⁾]; sein Gesamtstreichen ist somit mindestens 13 000 km lang.

Diese Beispiele ungewöhnlich langer Spalten mögen genügen; bei der Besprechung der einzelnen Arten der Verwerfungen werden noch einige Angaben über ihre Erstreckung gemacht.

Diese hängt hauptsächlich mit der Entstehung der Spalten zusammen. Bei den Einsturzspalten ist die Ausdehnung der Spalten in horizontaler und vertikaler Richtung von der Natur, Form und Tiefenlage des Bruchherdes abhängig. Liegt derselbe im Magmaherd, so reichen die Spalten sehr tief und werden in der Regel von Eruptiven begleitet. Doch nur diese Sprünge greifen sehr tief in die Erdkruste ein, zeichnen sich auch durch größere streichende Ausdehnung aus.

Die Zerrungsspalten greifen ebenfalls tief ein, wenn sie durch Schrumpfung der Erdhaut erzeugt wurden; auch sie sind dann in den meisten Fällen Sprünge und oft von Eruptionen begleitet.

Die Erstreckung der Aufbruchspalten hängt von der Art und Ausdehnung des sie bedingenden Herdes ab; sie werden in den meisten Fällen keine große Tiefe erreichen, so z. B. pflegen die Antiklinalspalten in der Tiefe bald auszuweichen. Die Faltenspalten erreichen in der Regel keine große Tiefen; sie konnten sich besonders in der Nähe des

¹⁾ Neues Jahrb. f. Mineral. Geolog. Pal. (Beilage) **33**, 510, 1912. — ²⁾ Topley und Lebour: Quart. Journ. geol. soc. **33**, 406, 1877. — ³⁾ Antlitz der Erde, 3. Bd., 2. Teil, S. 320.

Tages entwickeln, da hier wegen der freien Flächen das Zerbrechen und Verschieben der rigiden Gesteinsmassen ganz bedeutend erleichtert war. In der Tiefe sind die Gesteine bis zu einem gewissen Grade plastisch und zur Spaltenbildung weniger geeignet.

Die Eruptivgänge sind untrügliche Beweise tiefgreifender Spalten; es darf deshalb vorausgesetzt werden, daß auch die anderen mitvorkommenden Spalten, besonders, wenn sie annähernd dasselbe Streichen haben, in große Tiefen setzen. Aus all dem kann gefolgert werden, daß wir, was das Niedersetzen in die Teufe betrifft, zweierlei Gruppen von Spalten zu unterscheiden haben und zwar vadose oder seichte (tag-nahe), und profunde oder tiefgreifende. Alle Spalten, welche genetisch mit der Faltenbildung zusammenhängen; gehören in die erste Gruppe, während die Eruptivgänge, die Zerrungsspalten tiefer Gräben u. dgl. in die zweite Gruppe einzureihen sind.

Man nahm auch an, daß jene Spalten, welche sehr große saigere Sprunghöhen haben, profunde sind, wofür ja die Wahrscheinlichkeit spricht; doch darf nicht umgekehrt aus einer geringen Sprunghöhe auf eine geringe Tiefenerstreckung geschlossen werden, da man auch Eruptivgänge, die somit bis zur Magmaregion hinabreichen, kennt, deren Nebengestein relativ wenig verschoben ist. Auch die Voraussetzung, daß mächtige Spalten (Gänge) in große Tiefen reichen, trifft nicht immer zu.

Man hat auch versucht zu berechnen, bis zu welcher Tiefe die Spalten überhaupt offen sein können. Meines Wissens versuchte dies zuerst Alb. Heim ¹⁾; er stellte die Frage: „In welcher Tiefe ist der Druck der darüber lastenden Erdschale so groß, daß die Druckfestigkeit des Gesteins überwunden und dadurch die Spalte geschlossen wird?“ Er fand: „Leere, klaffende Spalten sind somit im allgemeinen bis in einer Tiefe von 2000 bis 2600 m möglich.“ „Eine mit Wasser erfüllte Spalte ist noch möglich, welche die größtmögliche Tiefe einer leeren Spalte um $\frac{3}{5}$ übertrifft“ (3080 bis 3640 m, im Porphyry und Diorit 3990 m). — Daß die von Heim gefundenen Werte unzutreffend sind, geht aus anderen Berechnungen ²⁾ hervor, laut welchen sich die Spalten im weichen Sandstein oder Tonschiefer schon bei 300 m, im festen Sandstein in 1000 bis 1300 m Tiefe schließen. Dagegen sind Bohrlöcher bis zu 2000 m in diesen Gesteinen im Tiefsten unverrohrt gestanden.

Solche Berechnungen sind wertlos, weil ihre Voraussetzungen unrichtig und zum Teil auch mangelhaft sind; man hat für die Druckfestigkeit jene bekannten, nebenbei bemerkt für eine Gesteinsart sehr variablen Zahlen (Granit 500 bis 2000 kg) in die Rechnung gesetzt, welche man bei Versuchen erhielt, bei welchen der Probekörper, z. B. ein Würfel, parallel zur Druckrichtung freie Flächen hatte, die Gesteins-

¹⁾ Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung 2, 107. —

²⁾ Ebenda, S. 91.

teilchen also in dieser Richtung allseits leicht ausweichen konnten. Dies ist jedoch im kompakten Gestein, das nur eine freie Seite, die zur Spalte, hat, nicht zutreffend, was auch die Versuche von Adams¹⁾ bestätigen. Er wendete hierbei axial und seitlich durchbohrte Gesteinszylinder an, die knapp in einen Nickelstahlbock eingeschlossen und einem ungewöhnlich großen Druck ausgesetzt wurden. Ein Granitzylinder hatte während 2 $\frac{1}{2}$ Monate einen Druck von 14 060 kg auf 1 cm² auszuhalten, ohne daß sich die Bohrungen schlossen. Überdies wiederholte er die Versuche bei Temperaturen von 450 und 550° und bei 6 750 kg Druck, wobei die Bohrungen ebenfalls keine merklichen Veränderungen zeigten. Es sei hierzu bemerkt, daß infolge dieser hohen Drücke im Gesteinszylinder auch sehr hohe Temperaturen erzeugt wurden. Adams folgert aus seinen Versuchen, daß die Spalten bis zu einer Tiefe von wenigstens 17,7 km, und wenn sie mit Wasser gefüllt sind, noch tiefer offen sind. King²⁾ berechnete auf Grund der Versuche Adams diese Tiefe mit 27,7 bis 33,7 km.

Ein anderer Einwand gegen jene Berechnungen geht auch dahin, daß es fraglich ist, ob der auf Zerquetschen des Gesteins in der Tiefe ausgeübte Druck dem Gewicht der darüber ruhenden Gesteinsmasse gleich ist. Die Erdkruste bildet ein Gewölbe, in welchem sich der vertikale Druck in Seitendruck umsetzt.

Eine andere Einwendung ist folgende: Wenn eine Spalte in die berechnete Tiefe niedersetzt, so kann sie sich höchstwahrscheinlich sofort auch bis in die Magmazonne fortsetzen, so daß in ihr das Magma bis zu einer gewissen Höhe, über die berechnete Bruchzone hinauf, aufsteigt; darüber kann ja die Spalte offen bleiben. Das eingedrungene Magma übt in der Spalte einen Gegendruck aus.

Sicher wissen wir in der Teufenfrage nur, daß die Spalten verschieden tief, ja nicht wenige bis zur Magmazonne in die Erdkruste eingedrungen sind.

Das Streichen der Spalten ändert sich; dies kann allmählich geschehen, so daß die Streichlinie bogenförmig ist. Die Änderung kann aber auch relativ rasch geschehen, so daß die Streichlinie eine verschiedenartig gewundene Linie darstellt. Es sind die Ursachen dieser Änderung in jedem Fall festzustellen; diese liegen häufig im Gesteinswechsel³⁾, oder auch in der Richtung und Verteilung der spaltenbildenden Kraft gegenüber jener der Schichtung oder anderer Gesteinsfugen, in der Festigkeit des Gesteins, und in bereits in den Gesteinen vorhanden gewesenen Spannungen.

Die Spalten werden entweder abgeschnitten oder sie keilen aus. Das Abschneiden geschieht durch eine andere, verquerende Spalte. Beim Auskeilen wird die Mächtigkeit der Spalte gewöhnlich stetig

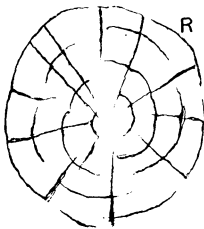
¹⁾ Journ. of Geology 20, 97, 1912. — ²⁾ Ebenda, S. 119. — ³⁾ Es muß nicht immer eine andere Gesteinsart sein, sondern in ein und derselben können sich die Festigkeits-, Struktur- und andere Verhältnisse ändern.

kleiner, erreicht Papierstärke und verschwindet endlich gänzlich, oder setzt sich noch eine Weile als Fältelung fort. Hier hat die Kraft, welche ihre Energie durch das Spaltenaufreißen und durch damit verbundene andere Deformationen allmählich erschöpfte, nicht mehr zur Überwindung der Gesteinsfestigkeit hingereicht.

Mit dem Auskeilen kann auch ein Zertrümmern der Spalte verbunden sein, was in vielen Fällen durch eine Gesteinsänderung bedingt ist. Doch kann sich eine Spalte auch innerhalb ihrer Erstreckung zertrümmern; die einzelnen Trümmer können sich als nun selbständige Individuen fortsetzen, oder mehrere oder alle Trümmer vereinigen sich wieder zu einer Spalte.

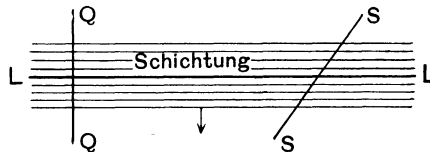
Die Einsturz- und Aufbruchspalten sind, wenn der Herd seicht liegt und nicht sehr ausgedehnt ist, teils bogenförmig und peripherisch, teils annähernd gerade und linear; die äußerste peripherische Spalte heißt Randspalte, *R* (Fig. 5). Die Mitte dieses Spaltenkomplexes liegt nur bei söhligler Schichtenlage vertikal über der Herdmitte. Auch

Fig. 5.



Einsturzspalten.

Fig. 6.

*L* = Längs-, *Q* = Quer-, *S* = spießwinkelige Spalte.

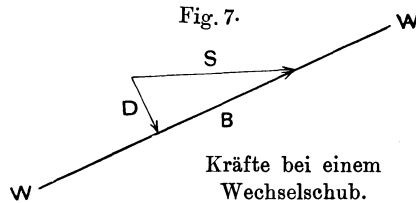
das von der Randspalte begrenzte Gebiet entspricht selten der Form und Größe des Herdes; gewöhnlich ist Ähnlichkeit nur in großen Zügen vorhanden.

Die Spalten werden je nach ihrer Lage gegenüber dem Schichtenstreichen oder auch gegenüber der Richtung einer Gebirgskette in 1. Quer-, 2. spießwinkelige oder Diagonal- und 3. Längsspalten unterteilt. Das Streichen der Querspalten *Q* (Fig. 6) bildet mit jenen der Schichten oder der Kette nahezu oder ganz einen rechten Winkel, jener der Längsspalten *L* (Fig. 6) fällt mit jenem der Schichten oder Kette nahezu oder ganz zusammen. Die spießwinkligen Spalten *S* (Fig. 6) streichen in einer Mittellage, sie schneiden die Schichtung in einem spitzen bzw. stumpfen Winkel. Die Querbrüche stehen in der Regel sehr steil, während die Längsbrüche verschieden gestellt, auch flachliegend sein können. Letztere stehen senkrecht zu der Richtung der tangentialen Schubkraft, welche die Schichten in Falten warf, die Querspalten jedoch in der Richtung des stattgehabten Schubes. Die Längsbrüche sind in den meisten Fällen älter als die Quer- und spießwinkligen Brüche.

Nach Lossen¹⁾ ist die bedeutendste Verwerfung des Harzes, die Oderspalte, ein Querbruch, hingegen verlaufen die Gangspalten daselbst fast ausnahmslos spießwinkelig zum Schichtenstreichen, was er mittels eines Druckes, der schief gegen die schon mehr oder weniger gefalteten Schichten wirkte, erklärt. Er sagt: „Sie sind meist die Ausgleichung einer Spannung, hervorgerufen durch Druck oder Zug, welche die gefalteten Schichten ihrer Streichlinie nach umbiegen oder knicken und zu falten bestrebt sind. Am Unterharz kann man sehr deutlich allerwärts den Zusammenhang zwischen dem Streichen und dem Fallen nach windschief gebogenen Falten und spießeckigen Spalten nachweisen.“

Die Mächtigkeit der Spalten (Verwerfer).

Die Mächtigkeit der Spalten ist ebenfalls sehr verschieden und ändert sich bei ein und derselben häufig sowohl im Streichen als im Verfläichen. Manchmal berühren sich die beiden Salbänder (Wände) oder lassen einen ganz unbedeutenden, etwa messerrückenstarken Raum frei; man heißt dann die Spalte geschlossen zum Unterschied von offen, bei welcher die beiden Salbänder voneinander entfernt sind. Eine der größten Mächtigkeiten ist die des bayerischen Pfahls mit bis 115 m. Die Wechsel sind in der Regel geschlossene Verwerfer, teils weil die über dem flachliegenden Wechsel befindliche Hangendscholle fast mit ihrem ganzen Gewicht die Spalte zudrückt, teils jedoch auch darum, weil schon bei ihrer Entstehung der sie erzeugende Seitenschub *S* (Fig. 7) eine Komponente *D* als Hangendruck gab, während die zweite, *B*, die Verschiebung längs des Wechsels besorgte. Die Wechsel sind aus diesem Grunde zur Bildung von Gängen, das sind ausgefüllte, also einst offene Spalten, nicht geeignet.

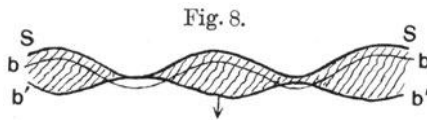


Hingegen können die Zerrungsspalten, da sie die entstandenen Schollen voneinander ziehen, ebenso auch die Aufbruchspalten weit geöffnet sein. Die Einbruchspalten sind in ihrer Mächtigkeit von der Tiefenlage und Gestalt des Herdes abhängig; sie sind nahe oder auf der Oberfläche am Rande des Bruchfeldes mächtiger, da sich daselbst radiale Zugkräfte gegen die Mitte hin geltend machen. Die Faltenspalten sind sehr verschieden; die Wechsel wurden bereits besprochen; die Horizontalverwürfe sind fast immer offene Spalten.

Wie bereits erwähnt, ändert sich die Mächtigkeit derselben Spalte im Streichen und Verfläichen; dies kann bedingt sein durch den

¹⁾ Jahrb. d. Preuß. geolog. Landesanstalt f. 1881, S. 20.

Gesteinswechsel; so pflegt sie im Kalk größer als im Schiefer zu sein; ja, beim Übergang der Spalte von jenem in diesen kommt auch ein Auskeilen oder Zertrümmern vor. Da bei der Verwerfung ein Verschieben der beiden Schollen, also auch der Salbänder eintritt, so kann bei einem gewundenen Verlaufe der ursprünglichen Spalte *S* (Fig. 8) durch Verschieben des Salbandes *b* nach *b'* eine Reihenfolge von Verdrückungen und Ausbauchungen entstehen; wird eine solche



Entstehung der Verwurfsbäuche.

Spalte ausgefüllt, so entsteht ein sogenannter Rosenkranzgang.

Es sei schon hier bemerkt, daß sich in manchen Gebieten die Spalten später erweiterten, seltener verengten, und daß diese Mächtigkeitsänderungen sich manchmal während einer langen Periode fortsetzen. Die Spalte konnte bereits ausgefüllt, also Gang geworden sein, als sie neuerdings aufgerissen, erweitert und ausgefüllt wurde, wodurch Doppelgänge entstanden. Die Tripelgänge sind seltener.

Die Ausfüllung der Spalten (Verwerfungen).

Die Ausfüllung der ursprünglich offenen Spalten ist sehr verschieden und kann sein:

1. Das feine, durch die Verwerfung (Verschiebung) entstandene Reibungsprodukt (engl. gouge), eine tonige oder sandigtonige Masse, die bei geringer Mächtigkeit Besteg, bei größerer Ausschramm oder auch Gangletten genannt wird. Der Besteg hat den Vorteil, daß sich die übrige Gangmasse vom Salband leicht ablöst; im milden Ausschramm ist die Gewinnung wesentlich erleichtert. Werden diese tonigen Massen naß und klebrig, so verschmieren sie die eventuell mitvorkommenden Erze und sind bei der Aufbereitung gewöhnlich schwer zu entfernen.

Diese lettigen Massen zeigen manchmal eine schieferige Struktur, auch Fältelung, Zeichen eines späteren Druckes.

2. Kantige, selten abgerundete, größere und kleinere Gesteinsstücke¹⁾, welche sich beim Aufreißen der Spalte vom Nebengestein loslösten; werden sie später verkittet, so entsteht ein Brecciengang. Hierzu gehört die unter dem Namen Feldbiß bekannte bedeutende und bis 12 m mächtige Verwerfung der Aachener Kohlenreviere. Die eckigen Stücke des Nebengesteins können durch Bewegung abgerundet und gekritzelt werden, wie dies im Freiburger Himmelfürstrevier beobachtet wurde. R. Beck²⁾ beschrieb und bildete ab einen zylindrischen, geglätteten und gestreiften Greisenkörper aus einem Altenberger Gang

¹⁾ Größere eingeschlossene Gesteinsstücke heißen englisch horses. — ²⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 67, 83, 1915; Monatsber. Nr. 3.

(Erzgebirge), welcher auf gleiche Weise entstand. Das hierbei entstandene Gereibsel kann diese Gerölle zu einem Konglomerat verkitten, es entsteht ein Kugelgang. Die Gerölle zeigen manchmal auch eine Mikrofaltung, die Folge eines Druckes.

3. Kantige und runde Gesteinsstücke von der Oberfläche, welche in die Spalte fielen oder eingeschwemmt wurden.

4. Mineralien aller Art, sehr häufig Quarz und Kalzit, bilden einen Mineralgang; sind die Minerale ganz oder zum Teil Erze, so ist dies ein Erzgang.

5. Ist die Spalte mit einem Eruptivgestein ausgefüllt, so bildet sie einen Eruptivgang.

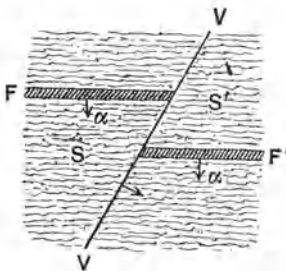
Die offenen Spalten sind gewöhnlich stets offen gewesen; selten kommt es vor, daß die Ausfüllung, z. B. Kalzit, später entfernt und die geschlossene Spalte wieder offen wurde. Bei geschlossenen Spalten kann von einer Ausfüllung, abgesehen von Reibungsprodukten, nicht die Rede sein; doch sei bemerkt, daß in ihrer Nähe das Gestein manchmal zerrüttet oder verruschelt ist und daß in dieser Partie zwei oder mehrere geschlossene Spalten auftreten können.

Die Verwerfungen.

(Spezieller Teil.)

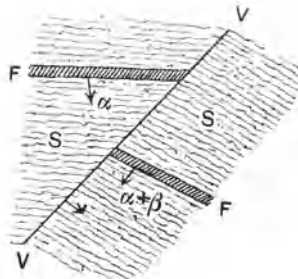
Wie bereits einleitungsweise erwähnt wurde, werden die Verwerfungen je nach der Art der Verschiebung in parallele und Dreh-

Fig. 9.



Horizontalschnitt
eines Parallelverwerfers.

Fig. 10.



Horizontalschnitt
eines Drehverwerfers.

Fig. 9 u. 10: VV = Verwerfer, SS' = Schichten, FF' = Verworfenes Flöz.

verwerfungen eingeteilt. Eine mathematisch genaue parallele Lage der verworfenen Scholle zu ihrer ursprünglichen Lage ist selten, und man muß in der Praxis geringe Differenzen gelten lassen.

Bei Parallelverwerfungen ergibt der Horizontalschnitt beiderseits des Verwerfers parallele Lage der Schichten bzw. einer wohlkennzeichneter Leitschicht, z. B. eines Flözes FF' (Fig. 9). Hin-

gegen liegen bei einer Drehverwerfung die Schichten dies- und jenseits vom Verwerfer konvergent oder divergent; überdies ist auch infolge der Drehung der Fallwinkel der Schichten dies- und jenseits verschieden (Fig. 10, a. v. S.). Übrigens muß dieses Kennzeichen mit kritischer Vorsicht gehandhabt werden, da bei Gebirgsfaltungen, besonders bei Horizontalverwürfen, durch späteren, ungleich starken Horizontalschub ebenfalls ungleiche Fallwinkel in den beiden nachbarlichen Schollen auftreten können. Die Karten der Kohlengebiete wiesen zuerst auf Grund der angegebenen Kennzeichen auf das häufigere Vorkommen von Drehverwerfern hin, weshalb erwartet werden darf, daß sie überhaupt in der Natur viel häufiger sind, als man bisher nach den Beobachtungen an der Erdoberfläche annahm.

Will man die dynamischen Vorgänge, die ein Gebiet betrafen, klarlegen, so müssen auch alle Einzelheiten der Verwerfungen studiert und verwertet werden.

Es seien im nachfolgenden die einzelnen Arten der Verwerfungen beschrieben.

1. Der Sprung ¹⁾.

Ein Sprung entsteht durch das fast parallele Abgleiten der Hangenscholle H (Fig. 11) annähernd oder ganz längs der Falllinie des Verwerfers VV . Dieselbe Erscheinung würde auch durch die Aufwärtsbewegung der Liegendscholle L erzeugt. Ob diese oder jene Bewegung stattfand, ist mittels der Rutschstreifen u. dgl. zu entscheiden.

Die Sprünge haben in den meisten Fällen ein steiles Einfallen, häufig 66 bis 80°.

Statt der altbergmännischen, deutschen Bezeichnung „Sprung“ schlug man auch „normale Verwerfung“ vor, als man annahm, daß Sprünge die „Norm“ der Verwerfungen seien. Mittlerweile lehrte die Erfahrung, daß dies nicht der Fall ist, daß auch andere Verwerfungsarten mindestens ebenso häufig sein können als die Sprünge. Alb. Heim und E. de Margerie schlugen den Namen „Spaltenverwerfung“ vor, was darum nicht glücklich gewählt ist, da jede Art der Verwerfung längs einer Spalte erfolgte.

Gegenüber der Schichtung bzw. einem Flöz FF' ist der Verwerfer zufallend (Fig. 11), wenn das Verflächen beider im gleichen Sinne ist, oder abfallend (Fig. 12) im Gegenfalle. Fällt der Verwerfer (Spalte) mit einer Schichtfläche zusammen, so ist dies ein Schichten- oder Lagersprung.

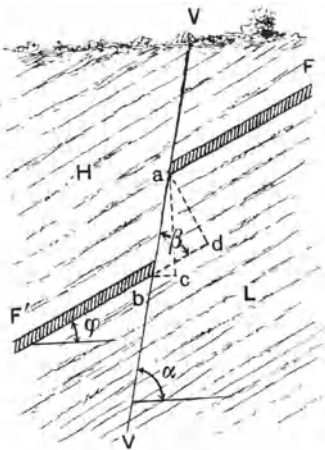
Die geometrischen Verhältnisse der Sprünge werden, wie folgt, näher bezeichnet: Die flache Sprunghöhe ab [engl. trace slips²⁾]

¹⁾ Französisch: faille normale; englisch: downthrow fault, slide, normal fault; nach dem Americ. Committee on the nomenclatur of faults: dip slip fault oder normal fault. — ²⁾ Vorschlag des Amerikanischen Komitees.

ist die Entfernung der verworfenen Leitschicht F' von der stehen-gebliebenen F in der Falllinie des Verwerfers VV gemessen. Die saigere Sprunghöhe ac [engl. thrown¹⁾] ist die Vertikalprojektion der flachen; die stratigraphische Sprunghöhe ad ist die Normale von der einen Leitschicht F zu der verlängerten anderen F' . Die söhliche Sprunghöhe bc [engl. heave¹⁾] ist die Horizontalprojektion der flachen Sprunghöhe und die stratigraphische Sprunghöhe bd ist die Projektion der flachen Sprunghöhe auf die verworfene Leitschicht oder auf deren Verlängerung. Die Sprungweite ist die im Verwerfer gemessene horizontale Entfernung der beiden verworfenen Leitschichten.

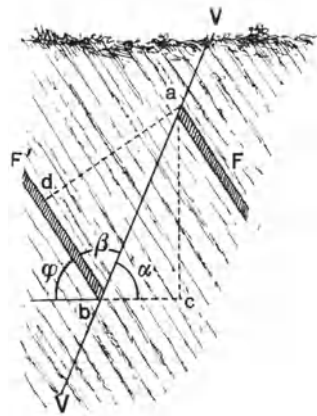
Die mathematischen Beziehungen dieser Werte sind: $ac = ab \cdot \sin \alpha$; $bc = ab \cdot \cos \alpha = ac \cdot \text{ctg} \alpha$; $ad = ab \cdot \sin \beta$; $\sphericalangle \beta = \sphericalangle \alpha - \sphericalangle \varphi$

Fig. 11.



Vertikalschnitt
eines zufallenden Sprunges.

Fig. 12.



Vertikalschnitt
eines abfallenden Sprunges.

Fig. 11 u. 12: VV = Sprung, $F F'$ = Leitschicht, H = Hangendes, L = Liegendes, ab = flache, ac = saigere, ad = stratigraphische Sprunghöhe, bc = söhliche, bd = stratigraphische Sprunghöhe.

beim zufallenden, $\sphericalangle \beta = 180 - (\alpha + \varphi)$ beim abfallenden Sprung; $bd = ab \cdot \cos \beta$. Diese Beziehungen ergeben sich aus den voranstehenden Figuren und benötigen keine weiteren Erläuterungen.

Meist werden die saigere Sprunghöhen angegeben, die sehr verschieden groß sind. Der Vilmößbruch in Tirol verwirft bis zu 800 m, der Judikariensprung schätzungsweise um 2000 m, die Lettenkluff bei Příbram (Böhmen) um 600 m, die Oderspalt am Harz um mindestens 125 m und die Harzer Gänge des Johann-Friedrichschachtes verwerfen um 380 m. O. Wilkens schätzt die Sprunghöhe im südlichen Schwarzwald gegen die Reintalsenke auf 1500 m²⁾. Auf der Herrenkuppe bei Schmalkalden (Thüringen) verwirft ein Sprung um 370 bis 450 m

¹⁾ Vorschlag des Amerikanischen Komitees. — ²⁾ Dürfte die gesamte Sprunghöhe der Staffelbrüche sein.

(H. Bücking); der Süd- oder Hauptsprung im Saarkohlenbecken, dessen Tätigkeit im Unterrotliegenden begann, verwirft nach C. Kliver um 3000 m, nach anderen jedoch nur um 1000 m, der „Rote Ochs“ im Döhlener Becken (Sachsen) um 350 m; der Birkefelder Sprung im westfälischen Kohlenbecken um etwa 850 m (P. Krusch); der Primusprung daselbst in der Syncline bis zu 500; der westliche Hauptsprung in der Grube Nordstern bei Eschweiler verwirft das Karbon um 325 m saiger (E. Holzapfel). Im Tunnel von Fuveau bei Marseille fand man die Sprunghöhe mit 1200 m. Aus dem englischen Steinkohlenbecken¹⁾ seien nachfolgende größere Sprunghöhen erwähnt: In Süd-Staffordshire verwirft der große Bentleysprung das ganze Becken verquerend um etwa 1000 m nach N.; in Leicestershire ist die Sprunghöhe des Thringstone-sprunges über 700 m. Im nordenglischen, fast ungefalteten Becken (Northumberland — Durham) verwirft unter den elf Sprüngen, von welchen acht Eruptivgänge sind, am meisten der Ninety-fathoms dyke, und zwar am Nordflügel um 200 bis 300 m; die Verwerfer stehen saiger oder fallen sehr steil gegen N., wohin die meisten Schollen abgesunken sind; in Cumberland treten zwei zueinander senkrechte Sprungsysteme, nämlich nach N.—S. und O.—W. streichend, auf, die das Kohlengebirge, namentlich im S., fast schachbrettartig zerstückeln; bei Maryport verwirft ein Sprung um 340 m, jener von Cleator moor um etwa 400 m. J. P. Lesley schätzt die Sprunghöhe an der Westseite der Cove Canoe in Virginien auf wenigstens 6600 m²⁾ und H. D. Rogers nimmt hier in den Kohlenfeldern einen 2300 bis 2660 m²⁾ großen Verwurf an. King und W. Emmons berechneten die Sprunghöhe der Verwerfung vom Wasatschgebirge bis zum Senkungsfeld von Utah mit 9000 m²⁾, welche jedoch E. Reyer als viel zu hoch gegriffen erklärt. Nach Dutton steigt im Hochgebirge von Utah die Sprunghöhe bis zu 2300 m. H. Stille gibt die Sprunghöhe des Verwurfes S. von Ricaurti (Grenze der Ostkordillere in Kolumbien) mit 2000 m²⁾, bei Hondas im Magdalenatal mit 4000 m²⁾ (Staffelbrüche) an. Diese Werte, insbesondere jene von Nordamerika, dürften später nicht unwesentliche Änderungen erfahren und dienen nur zur allgemeinen Orientierung.

Im allgemeinen setzen die Sprünge zu ihrer Entstehung eine Zerzung voraus, wodurch offene Spalten gebildet wurden, welche ein Abgleiten der Hangendscholle erlaubten. Doch können sie auch Einbruchspalten infolge der Schwere und des Weichens der Unterlage sein.

Im gefalteten Gebirge, durch Seitenschub entstanden, sind deshalb die Sprünge seltener oder sind in den meisten näher studierten Gebieten fast immer nach den Wechsellinien und der Faltung zu dieser querweise entstanden. Man bekommt den Eindruck, daß nach dem Schub eine hierauf senkrechte, akkumulierte Komponente zerrend

¹⁾ A. Dannenberg: Geologie der Steinkohlenlager, I. Bd., a. v. O. Berlin 1915,
²⁾ Dürfte die gesamte Sprunghöhe der Staffelbrüche sein.

gewirkt habe, die nach der Auslösung des tangentialen Druckes zur Geltung kam, was später (Reihenfolge der Deformationen, S. 55) näher erörtert werden wird. Hingegen sind die Sprünge im Schollengebirge das bestimmende Element.

Sehr oft sind die jüngsten Verwerfungen Sprünge, bei welchen gewöhnlich nur an eine primäre Zerrung gedacht werden kann.

Der Bergmeister zu Bieber (Siegen), Joh. Christ. Leberecht Schmidt, hat sich zuerst eingehender mit den Verwerfungen in seiner „Theorie der Verschiebungen älterer Gänge“¹⁾ befaßt und kam hierbei zu dem Schluß, daß alle Verwerfungen Sprünge sind, worauf er seine Regel zur Wiederauffindung (Ausrichtung) der verworfenen Lagerstätten basierte. Diese Hypothese beherrschte durch viele Jahrzehnte die bergmännischen Anschauungen und auch die Geologen hielten im großen ganzen hieran fest, die Wechsel als seltene Ausnahmen erklärend und die Beobachtungen an verkörperten Bewegungsrichtungen nicht weiter beachtend. Dies ist zum Teil dadurch erklärlich, daß auch andere Verwerfungen das geometrische Bild von Sprüngen geben können. Erst das eingehende Studium der Details der Verwerfungen hat jenes langjährige Vorurteil, das dem Bergbau ebensoviel Schaden wie Nutzen gebracht haben dürfte, überwunden.

2. Die Wechsel [Überschiebungen²⁾].

Die aus dem westfälischen Kohlenrevier stammende Bezeichnung Wechsel verdient den Vorzug, nicht bloß weil sie älter, sondern weil sie auch eindeutig ist. Überschiebung hingegen ist ein weiterer Begriff, der allgemein einen bestimmten mechanischen Vorgang, eine Ortsveränderung manchmal auch ohne Spaltenbildung bezeichnet und in diesem weiteren Sinne auch in der tektonischen Geologie angewendet wird.

Der Wechsel entstand dadurch, daß die hangende Scholle ganz oder angenähert längs der Fallinie des Verwerfers nach aufwärts geschoben wurde, wie dies Fig. 13 und 14 zeigen. Durch diesen Vorgang kommt beim Verwerfer ein älteres Gestein über ein jüngeres zu liegen; doch kann eine solche Lagerung auch durch andere Vorgänge erzeugt worden sein. Deshalb müssen wir an der gegebenen genetischen Definition festhalten, wie sie auch schon vor langer Zeit gegeben wurde, obschon ihr die Schwäche jeder genetischen Definition anhängt, der wir jedoch in der Geologie oft nicht entgehen können.

Die Wechsel sind fast ausnahmslos an das Faltengebirge gebunden.

¹⁾ Frankfurt a. M., 1810. — ²⁾ Übersprung nach v. Carnall, Französisch: *Faille inverse, recouvrement, charriages*; englisch: *Reversed fault* (Amer. Kommission), *overthrust, thrust, overlaps*, bei geringerem Fallwinkel auch *overfault*. *Daubrée-Gurtt* heißen die Wechsel widersinnische Verwerfungen.

Man unterscheidet Längs-, Quer- und Faltenwechsel; die Längswechsel liegen ganz oder nahezu im Streichen der Schichten bzw. Falten, die Querwechsel verqueren dieselben, während die Faltenwechsel zerspaltene, überkippte Falten sind, deren Hangendes längs der Spalte überschoben wurde. Bei den Längs- und Querwechseln unterscheidet man deckende und nicht deckende; bei jenen überdeckt die horizontale Projektion des überschobenen Teiles der Leitschicht (Flöz) F' den liegenden Teil F (Fig. 13), was bei dem nicht

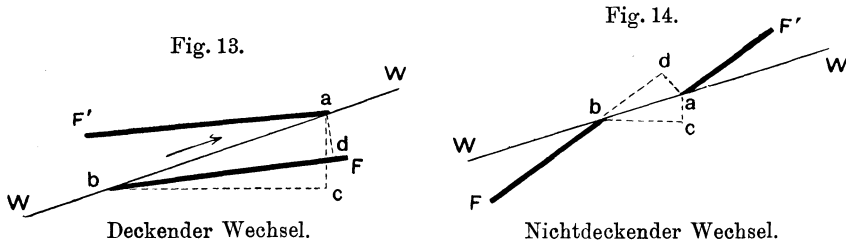
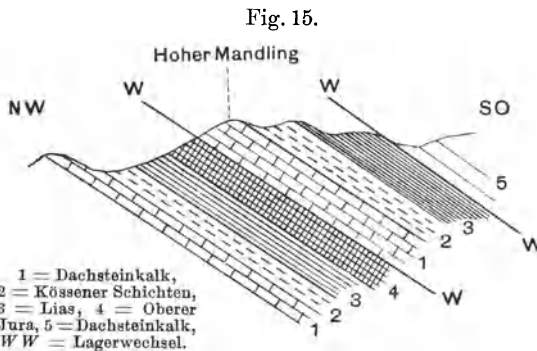


Fig. 13 u. 14: WW = Wechsel, ab = flache, ac = saigere, ad = stratigraphische Schubhöhe, bc = söhlige, bd = stratigraphische Schubbreite.

deckenden Wechsel (Fig. 14) nicht der Fall ist. Deckung tritt ein, wenn der Wechsel stärker als die Leitschicht geneigt ist. Erfolgt die Überschiebung längs einer Schichtfläche, so ist dies ein Lagerwechsel, wie solchen z. B. V. Uhlig¹⁾ in den Karpathen, A. Bittner vom hohen



Lagerwechsel; nach A. Bittner.

Mandling [Fig. 15]²⁾ beschreibt, bzw. zeichnet. Die Faltenwechsel sind deckend.

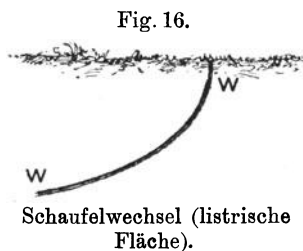
Die geometrischen Verhältnisse und Bezeichnungen sind beim Längs- und Querwechsel folgende: Die flache Schubhöhe ab (Fig. 13 und 14) ist die Entfernung der verworfenen Leitschicht F' von der liegenden F in

der Falllinie des Wechsels WW gemessen; ihre vertikale Projektion ist die saigere Schubhöhe ac . Die stratigraphische Schubhöhe ad ist die kürzeste, d. i. die normale Entfernung der beiden verworfenen Leitschichtstücke, bzw. ihrer Verlängerungen. Die horizontale Projektion der flachen Schubhöhe ist die söhlige Wechselbreite bc , hingegen ist bd , in der Leitschicht F gemessen, die stratigraphische Wechselbreite. Bei deckenden Wechseln wird die söhlige Wechselbreite bc auch die Deckung genannt.

¹⁾ Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt 38, S. 259, Taf. II, 1888. — ²⁾ Hertenstein, aus dem Profil Hainthaler Hof-Brunn.

Die Längswechsel

lagen ursprünglich meist flach, können jedoch durch fortgesetzte Deformation, vorwiegend Faltung, steil gestellt und verbogen worden sein. Die Schaufelwechsel oder listrischen Flächen [Smeysters und E. Sueß] (Fig. 16) liegen in der Tiefe flach und steigen nach oben allmählich an, so daß sie zur Erdoberfläche konkav sind. Diese Biegung kann dadurch bedingt sein, daß der Seitenschub oben größer als in der Tiefe war oder auch dadurch, daß sich in der Nähe des Tages das Gesetz des geringsten Widerstandes geltend machte. E. Sueß¹⁾ meint, daß „ihre konkave Form vielleicht nur der Ausdruck der geringeren Belastung des vorderen Teiles ist“. Die Schaufelwechsel finden sich in zerdrückten Synklinen, z. B. in der belgischen Hauptflözmulde, oder in schmalen Antiklinen im rheinisch-westfälischen Kohlenrevier [R. Lachmann²⁾]. Im Kohlenbecken von Hennegau (Belgien) sind alle acht großen einfachen Wechsel listrisch gebaut. Manchmal gabeln sich die Schaufelwechsel nach oben und die einzelnen Äste sind nach oben ebenfalls gleichsinnig konkav. Nach E. Sueß¹⁾ hat an den Schaufelflächen eine Aufwärts-(Überschiebung), nach R. Lachmann jedoch eine Abwärtsbewegung (Unterschiebung) stattgefunden; ersteres ist wahrscheinlicher und entspricht auch der vorangegebenen Erklärung der konkaven Biegung. Deshalb sind auch die listrischen Flächen zu den Wechseln zu stellen. H. Quiring³⁾



sieht in ihnen nachträgliche lokale Auslösungen von noch vorhandenen Spannungen, es sind also posthume Wechsel, und H. Mylius⁴⁾ erklärt sie mittels einer allmählichen Drehung der Kraftrichtung; der Schaufelwechsel tritt ein, „wenn es sich um den Schub eines großen Komplexes weicher Schiefer über eine feste Basis handelt.“

Die Längswechsel verflachen bei ihrer ersten Entwicklung flach dorthin, von wo der Schub kam, was ich auch experimentell feststellte. Dies bestätigen die sehr wichtigen Beobachtungen L. Cremers⁵⁾, welcher im westfälischen Kohlenrevier fand, daß dort die Wechsel die Schichten, welche ursprünglich ganz oder nahezu horizontal lagen, unter einem Winkel von 15° ($\pm 3^{\circ}$) durchschneiden und später mit ihnen gleichsinnig gefaltet wurden. Daraus darf auch gefolgert werden, daß hier die Wechsel das erste Produkt der Deformation sind, was ebenfalls mit meinen Versuchen übereinstimmt. Auch B. Willis⁶⁾ wies experimentell nach, daß die Wechsel bedeutend früher als die überkippten

¹⁾ Antlitz der Erde, III. Bd., 2. Tl., S. 612. — ²⁾ Glückauf 43, Nr. 6, 1910. —

³⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 65, 450, 1913. — ⁴⁾ Geol. Forschungen 2, 32. —

⁵⁾ Glückauf 1894, Nr. 62 bis 65. — ⁶⁾ Mechanics of Appalachian structure; 19th annual rep. Director U. S. geol. survey, part. III.

Falten auftreten. F. A. Hoffmann¹⁾ bezweifelt die allgemeine Gültigkeit der von L. Cremer angegebenen Winkelgröße (15°) für das in Rede stehende Revier an der Hand eines Profiles der Zeche Sälzer und Neuack; doch verlängert man in diesem Schnitt den unteren, listrisch nicht beeinflussten Teil des Wechsels zu den Liegendflözen, welche in diesem Falle maßgebend sind, so wird das Flöz Fünfhandbank unter einem Winkel von 19°, das Flöz Röttgersbank unter 15° und das Flöz Herrnbank unter 14° geschnitten; der Mittelwert von 16° entspricht somit jenem Cremers sehr gut.

Auch während der Faltung konnten neuerdings Wechsel entstehen.

Die Wechsel sind geschlossene, oft glatte Spalten, eine naturgemäße Folge des Vertikaldruckes (Gewichtes) der überschobenen Hangendscholle auf ihre Unterlage (Liegend); infolgedessen können die Wechsel kein Wasser führen, weder ab- noch aufsteigendes, was nicht bloß hydrologisch-technisch, sondern auch darum wichtig ist, weil sich aus Wechseln keine Gänge bilden konnten, da auch eine Zirkulation von Minerallösungen ausgeschlossen war und ist. Diese wird auch dadurch verhindert, daß die Wechsel häufig ein toniges Reibungsprodukt (Besteg) führen. Seit v. Dechen begegnet man der Meinung, daß die Burtscheid-Aachener Thermen der Eifeler Spalte (Wechsel) entspringen, deren Unrichtigkeit E. Holzapfel²⁾ nachwies, was mir auch privat von den Aachener Geologen F. Klockmann und A. Dannenberg bestätigt wurde. Die geschlossenen Spalten waren selbstverständlich auch keine Eruptionswege.

Das Geschlossenein der Wechsel ist wohl auch die Ursache, daß sie sich gewöhnlich an der Talbildung viel weniger beteiligen, als die anderen Verwerfungen, falls nicht, wie so oft, mit dem Wechsel eine Zertrümmerungszone verbunden ist.

In manchen Gebieten liegen die Wechsel, meist von geringer Ausdehnung, sehr flach bis horizontal, wie z. B. viele sogenannte Deckel im Siegerland, die Bänke auf der Grube Gute Hoffnung bei Werlau a. Rh. und die Flächen der Ramsbecker Gänge; es liegt kein Grund vor, hieraus eine eigene Gruppe von Verwerfern zu machen, wie dies versucht wurde, da sich alle hierbei auftretenden Erscheinungen als Wechsel, durch Stau und Gegenstau gebildet, ungezwungen erklären lassen.

Die Längs- und Querwechsel können sich sowohl im Streichen als auch im Verflächen gabeln.

Diejenigen Wechsel, welche durch denselben Stau ohne Gegenstau entstanden sind, pflegen die Leitschichten (Lagerstätten) stets in der gleichen Richtung zu überschieben, was ja naturgemäß ist, da ja Ursache und Gegenstand durchwegs gleich sind. So z. B. schieben die

¹⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 1895, S. 233. — ²⁾ Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen, Lieferung 141, Blatt Aachen, S. 69.

soeben erwähnten Deckel und Flächen da wie dort die Hangendscholle stets aufwärts nach N., d. h. sie verfläachen nach S.; auch im großen Kohlenbecken Essen—Aachen—Lüttich—Mons—Hennegau überschieben die meisten Wechsel nach N., bzw. NW.; der tangentielle Schub kam somit aus S. bis SO., was man bisher auch aus dem Faltenbau schloß.

Im erwähnten deutsch-belgischen Kohlenbecken¹⁾ wurden viele Längswechsel aufgeschlossen; da sie bergmännisch von größter Wichtigkeit sind, so wurden sie sehr eingehend studiert; von dort stammen unsere ersten und wichtigsten Kenntnisse, welche, weil sie stets bergmännisch kontrolliert werden konnten, einen besonderen Wert besitzen. An der Südseite des Beckens von Münster [P. Krusch²⁾] und im westfälischen Revier treten die Längswechsel gewöhnlich in den Südflügeln der relativ schmalen Sättel auf³⁾, und bilden oft sehr breite Störungszonen. Die wichtigsten Wechsel sind im letzteren der Sutan³⁾, welcher durch das ganze Kohlenbecken, d. i. 65 km, nachgewiesen wurde, der Satanella oder Hattinger Wechsel, der etwa 30 km aufgeschlossen ist. Der Sutan überschiebt in der Zeche Graf Schwerin flach um etwa 1000 m, westlich um 400 bis 500 m, der Satanella um etwa 2000 m.

Die Wurmmulde bei Aachen ist im S. vom Eifeler Wechsel (Eifeler Spalte, Aachener Überschiebung, faille du midi) begrenzt, der von hier durch ganz Belgien⁴⁾ bis gegen Boulogne bergmännisch bekannt ist, d. i. eine streichende Länge von 380 km. Längs dieses Wechsels wird das Silur und Devon über das Karbon nach NNW. geschoben. Die Schubhöhe wird von O. gegen W. stetig größer, ist bei Aachen 800 bis 1000 m saiger und 3 bis 4 km flach, bei Mons 2,300 m saiger und 5,44 km flach und steigt im Departement Calais bis zu 3 oder 4 km saiger an. Ein anderer Wechsel der belgischen Kohlenmulde, jener von Boussu, überschiebt um 4000 m flach und um 2300 m saiger (v. Dechen). Die Überschiebung der Dinantmulde über jene von Namur fand F. P. Fourmarier⁵⁾ mit etwa 15 km.

Die Faltung des deutsch-belgischen Kohlenbeckens, also auch die Wechselbildung, erfolgte am Schluß des Karbons und war in der Permzeit im großen ganzen beendet (variscische Gebirgsbewegung). In der Kreidezeit war das Steinkohlengebirge von Westfalen bis Calais bereits eingeebnet. Vom Oberkarbon bis zur Kreide konnten sich Verwerfungen aller Art bilden, was im Aachener Revier sogar bis in die jüngste Zeit anhielt. Hingegen setzen im westfälischen Kohlengebiet nur wenige Sprünge vom Karbon bis in die Kreide fort. Die Sprünge und die Horizontalverwürfe verwerfen auch hier die Wechsel; so verschiebt

¹⁾ Siehe A. Dannenberg: Geologie der Steinkohlenlager 1, 97, 259. —

²⁾ Jahrb. Preuß. geol. Landesanstalt 29, 1908. — ³⁾ P. Krusch: Erläuterungen zu den Blättern Dortmund und Hörde 1909. — ⁴⁾ F. L. Cornet und A. Briart: Sur le relief du sol Belgique. Liège 1877. Dewalque: Ann. soc. géol. Belg. 6, 117. v. Dechen: Sitzungsber. d. niederrh. Ges. f. Naturkunde 1881. A. Rothpletz: Geotekt. Probleme, S. 110. Stuttgart 1894. A. Dannenberg: Geologie der Steinkohlenlager. — ⁵⁾ Ann. soc. géol. Belg. 39, Mem, 587.

die Birkefelder Störung den Sutan- und Satanellawechsel um 400 m streichend. Auch im Becken von Münster, im Allgäu und Lechtal (H. Mylius), im französischen Jura [W. Kilian und E. Haug¹⁾] sind die Wechsel älter als die anderen Verwerfungen.

Bei Aachen fallen die Wechsel mit 45 bis 60° nach SO., westlicher verfläachen sie flacher und nehmen mehr Südrichtung an. In der Grube Courcelles-les-Lens im Departement Pas-de-Calais fällt der Eifeler Wechsel bis 205 m Tiefe mit 45°, in 228 m mit 22¹/₂° (v. Dechen nach Breton). Weiter westlich sinkt das Verfläachen auf 6 bis 9° herab. Hieraus könnte geschlossen werden, daß die Hebung des Kohlengebirges in der Aachener Gegend wesentlich größer ist, als im W. Die Zahl der Wechsel nimmt im allgemeinen gegen W. zu und sie charakterisieren den Bau dieser Becken. In jenem des Hennegaus sind acht bedeutende Wechsel aufgeschlossen, welche alle nahe dem Tag mit 30 bis 40°, in der Tiefe jedoch flacher nach S. einfallen, also listrisch gebaut sind; auch hier schließt der Eifeler Wechsel (faille du midi) das Becken gegen S. ab. Nicht bloß, daß dieser das Devon über das Karbon schiebt, sondern es finden sich auch nach N. von dieser Randzone, auf dem eigentlichen Kohlenbecken, isolierte Silur- und Devonmassen (Massiv de la Tombe und Mas. de Boussu), also Klippen, in umgekehrter Lagerung, Erosionsreste einer einstigen wurzellosen, überkippten Schubdecke. Während die sechs nördlichen Wechsel des Hennegaus nahezu parallel mit mittlerem Gefälle in die Tiefe setzen und nur das Kohlengebirge verschieben, liegen die beiden südlichen (faille du midi und faille de la Tombe) ganz flach, greifen zum Teil über die früher genannte Gruppe und überschieben ältere Formationen über das Kohlengebirge. Die faille de la Tombe wurde dabei zerschoben, jedes Teilstück schiebt sich ebenfalls über das nördlich vorliegende und der Stirnrand jeder dieser Teilschollen zeigt Schichtenumbiegung. Die Überschiebung hat im N. begonnen und setzte sich allmählich gegen S. fort, so daß hier die faille du midi tektonisch der jüngste Wechsel ist (A. Dannenberg), was auch dadurch an Wahrscheinlichkeit gewinnt, daß in dieser jetzt noch Bewegungen — Erdbeben — stattfinden.

Bemerkenswert ist es gegenüber dem Voranstehenden, daß Ledouble²⁾ beim Studium der verschiedenen Störungen des Lütticher Beckens zu der Überzeugung kam, daß manche Wechsel mit flachem südlichen Einfallen die ältesten Störungen der Flöze und die frühesten Äußerungen des von S. wirkenden Zusammenschubes sind, also Cremers Beobachtung im westfälischen Revier bestätigt.

Sowohl im westfälischen (Zeche Unser Fritz) als auch im belgisch-französischen Kohlenbecken treten im N. widersinnisch, d. i. nördlich fallende Wechsel auf, welche durch einen Gegenstau bedingt sein dürften; hierfür einen eigenen selbständigen Schub von N. nach S. anzunehmen,

¹⁾ Bull. serv. cart. géol. France 17, No. 112, 1906. — ²⁾ Congr. internat. d. mines. Liège 1905. A. Dannenberg: Geologie d. Steinkohlenlager 1, S. 278.

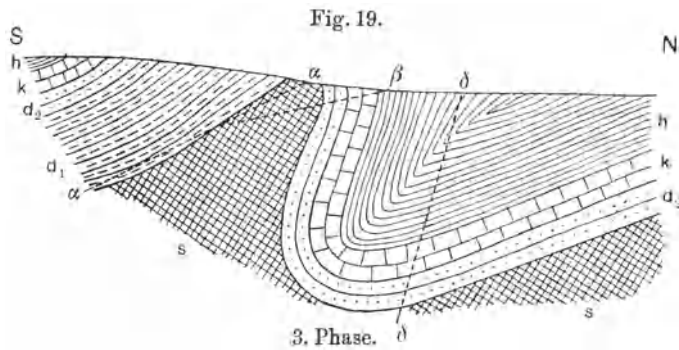
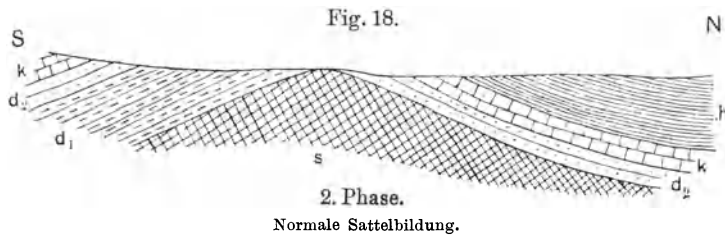
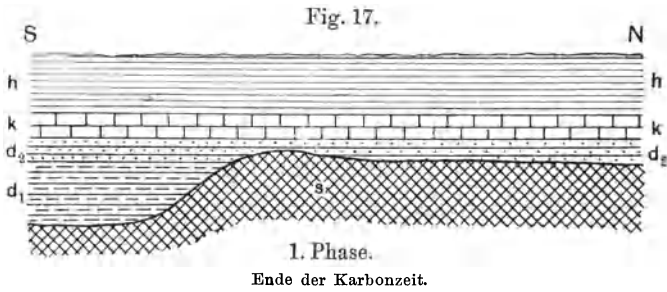
scheint mir nicht notwendig zu sein. Von Essen bis Valenciennes rechnet E. Sueß die Faltung, die vor der Einwirkung der atmosphärischen Abtragung ein beträchtliches Gebirge aufgebaut hatte, zum variscischen, von Valenciennes bis Calais zum armorikanischen System.

Es haben verschiedene belgische Bergingenieure und Geologen versucht, für das belgische Gebiet die Entstehung der vielen, gewaltigen und komplizierten Störungen, vornehmlich durch die Wechsel bedingt, und deren Reihenfolge zu entziffern. In sehr geistreicher Weise taten dies F. L. Cornet und A. Briart¹⁾ an der Hand von fünf Idealprofilen, aus welchen auch folgt, daß dabei ein Gebirge²⁾ von 5 bis 6 km Höhe entstanden wäre, welches dann die Erosion abtrug. A. Rothpletz³⁾ fragt mit Recht: „Wohin aber die Erosion die ungeheueren Gesteinsmassen geschafft habe, weiß niemand anzugeben“. Überdies bewies der fortschreitende Bergbau, daß die Wirklichkeit dem Endprofil dieser Forscher an mehreren Stellen widerspricht. Entsprechend diesen neuen Aufschlüssen modifizierte Gosselet⁴⁾ jene Erklärungen; seine Auffassungen sollen die folgenden vier Profile (Fig. 17 bis 20 a. f. S.) erläutern. Hierzu sei jedoch bemerkt, daß in der vierten Phase die beiden Wechsel und der Sprung *cran de retour* in dieselbe Phase einbezogen sind, was mir nicht möglich zu sein scheint; die Bildung der *cran de retour* muß als einer späteren Phase zugehörend ausgeschieden werden. Cornet und Briart nahmen ganz richtig für die Entstehung der Sprünge (*cran de retour* und *faille de Boussu*) eine eigene vierte Phase an, welcher als fünfte Phase die Bildung der *faille du midi* folgt, womit die großen Dislokationen in der Hauptsache abschließen. Ist das von ihnen auf T. IV, Pl. 11 (korrigiert 10) gegebene Croquis D richtig, so wäre die von ihnen aufgestellte Reihenfolge insoweit zutreffend, da die *faille du midi* (links) die *faille de Boussu* (im Croquis irrtümlich mit *faille du midi* bezeichnet) übergreift.

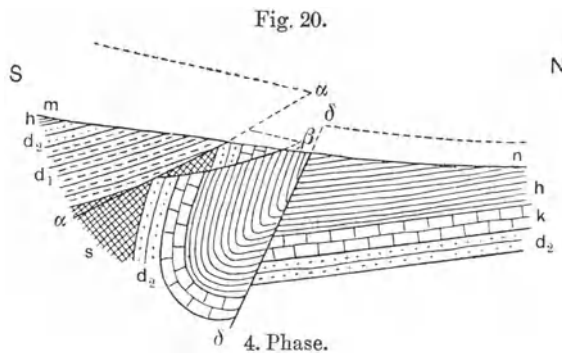
Bemerkenswert ist die Feststellung Stainers⁵⁾, daß im Wurmrevier bei Aachen die Kohle im Liegenden des Wechsels ärmer an flüchtigen Bestandteilen ist, als das Hangende, woraus geschlossen werden könnte, daß bei der Überschiebung das Liegende stärker beansprucht wurde, als das Hangende, — oder aber, daß im Liegenden eine bessere Gelegenheit zum Entweichen der Gase, Produkte der Reibungswärme, gegeben war. Aus Stainers Mitteilung ist nicht zu entnehmen, welche räumliche Ausdehnung diese Entgasung besitzt. Diese jedenfalls sehr interessante Beobachtung verdient auch weitere und genauere Untersuchungen in anderen Gebieten; erst dann dürfen aus der Tatsache ausreichend begründete Schlüsse gezogen werden. Aus dem belgischen

¹⁾ Sur le relief du sol Belgique. Liège 1877. — ²⁾ Der Umstand, daß dieses Gebiet vom Karbon bis zur Kreide Festland war, stünde hiermit im Zusammenhang. — ³⁾ Geotektonische Probleme, S. 129. — ⁴⁾ L'Ardenne, p. 745, 1888. — ⁵⁾ Bull. soc. belg. de géol. **19**, 105, 1905.

Verwerfungen.



Überkipfung des Sattels nach Nord und Zerreißen längs der Flächen des Eifeler Wechsels (Faille du midi (α), der Faille limite (β) und des Cran de retour (δ)).



Auf α und β erfolgt Überschiebung, auf δ Senkung des Hangenden. Nach erfolgter Denudation und Erosion der heutige Zustand mit der Tagesoberfläche mn .

Fig. 17 bis 20: Reihenfolge der tektonischen Vorgänge, welche seit der Karbonzeit stattfanden und den Bau des belgisch-französischen Kohlenbeckens erzeugten; im Sinne Gosselets; nach A. Rothpletz.

s = Silur, d_1 = Unterdevon, d_2 = Oberdevon, k = Kohlenkalk, h = Steinkohlschichten.

Steinkohlenrevier liegt eine übereinstimmende Beobachtung vor, dahin gehend, daß dort unterhalb der großen Wechsel keine Schlagwetterausbrüche auftreten, hingegen oberhalb wiederholt vorkamen¹⁾.

Daß ich der Besprechung der Wechsel im deutsch-belgischen Kohlengebiet größeren Raum widmete, ist dadurch gerechtfertigt, daß es das klassische Gebiet der Wechsel, besonders der Längswechsel, ist, in welchem diese Art der Verwerfungen vielseitig bergmännisch aufgeschlossen und in allen Einzelheiten studiert wurde. Ich bemerke noch, daß in diesem Kohlenzug Faltenwechsel fehlen. Köhler²⁾ glaubte solche im westfälischen Becken gesehen zu haben, zog jedoch später diese seine Mitteilung zurück.

In Gebieten, welche bergmännisch nicht erschlossen sind, wurden früher Wechsel oft übersehen; erst in neuerer Zeit wurde ihr häufigeres Vorkommen vielenorts nachgewiesen. In Dalmatien, besonders im S., sind sie ein wichtiger tektonischer Faktor. Auch im nördlichen Teil der Dinariden, in Innerkrain wies sie F. Kosmat³⁾ zwischen Laibach und Idria nach; da wie dort besitzen sie dinarisches Streichen, was der Vorstellung, daß auch die Längswechsel im innigsten Zusammenhang mit der Faltung stehen, vollends entspricht. In Dalmatien verflachen die Längswechsel landeinwärts, der Schub kam also von O.—NO.; hingegen erfolgte in Innerkrain derselbe aus SW., was für die Dynamik der Dinariden sehr beachtenswert ist.

In den südlichen Kalkalpen, die ich nicht zu den Dinariden rechne, erfolgte der Schub von S. nach N. Denn am Nordfuß der Karawanken bei Ferlach (Kärnten) fand ich den Triaskalk flach über das jungtertiäre Konglomerat geschoben⁴⁾. Diese Schubrichtung hält in den Alpen größtenteils mit leichtem örtlichen Wechsel nach NO. bis NW. an. A. Rothpletz und seinen Schülern gebührt das Verdienst, in den Alpen auch einen Ostschub nachgewiesen zu haben, der jedoch an zweite Stelle tritt.

Am äußeren Fuß der nördlichen Kalkalpen kann man von der Wiener-Neustädter Ebene im O. bis zum Ursprung des Lechs und von hier bis zum Thuner See in der Schweiz die große nordalpine Wechselzone verfolgen, welche häufig auch als Schuppenlandschaft entwickelt ist. Das Verflachen der Wechsel ist im O. nach SO., westlicher nach S., dann wieder gegen SO., gewöhnlich dem Verlauf des Gebirges entsprechend. Die Wechsel greifen auch von den Kalkalpen in den nördlich vorgelagerten Flysch über und die Grenze beider ist häufig ein Wechsel, wozu wesentlich der petrographische Unterschied beitrug, welcher das Hinaufgleiten des Kalkes über den

1) W. Schulz in Glückauf 48, 60, 1912 nach S. Stassart und E. Lemaire: Les dedagements instantanés de grisou (Ann. d. mines Belgique 15, 1910). —

2) Preuß. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 28, 1880; Glückauf 1894. — 3) Compt. rend. IX. Congr. géol. internat., Vienna 1903. — 4) Verh. d. k. k. geol. Reichsanstalt Wien 1908, Nr. 13.

Flysch erleichterte; dies dürfte auch an der Südgrenze der bayerischen Molasse der Fall sein. Von den vielen Beobachtern seien nur einige genannt. Aus Nieder- und Oberösterreich beschreiben die Wechsel A. Bittner (s. Fig. 15), M. Lipold und G. Geyer, aus der Gosau E. Spengler, aus den tiroler-bayerischen Alpen C. W. v. Gümbel, F. v. Richthofen, A. Rothpletz, E. Böse, F. Wähner, G. Gillitzer, F. F. Hahn¹⁾, welcher die durch die Wechselzone bedingte Verschmälerung der nördlichen Kalkalpen bei Berchtesgaden mit 50 km = 50 v. H. berechnete; aus dem Allgäu und dem oberen Lechgebiete F. v. Richthofen und C. W. v. Gümbel, M. Vacek, O. Ampferer, W. Hammer, H. Mylius, aus dem oberen Inntal bei Landeck W. Hammer. Im vielfach umstrittenen Rhätikon herrscht Schuppenstruktur, welche F. v. Richthofen, Theobald, Ch. Tarnuzzer, Lorenz, G. Steinmann, A. Rothpletz und deren Schüler nachwiesen. H. Schardt wies die Wechsel vom Lech bis zum Thuner See nach, was jüngst R. Schider für den Schattenfluh (Kanton Luzern) bestätigte.

Sehr bemerkenswert ist es, daß zwischen dem Allgäu und dem rheinischen Schiefergebirge die Wechsel fehlen²⁾. Auch im östlichen Frankreich, bei Besançon, verschwinden nordwärts die Wechsel und stellen sich erst bei Dillenbourg ein. Es ist also ein fast 3½ Breitengrade breiter Gürtel ohne Wechsel, ohne alpinen Schub, jedoch eine Zone der Zerrung vorhanden.

Durch P. Lory ist schon seit langem der 150 km lange Wechsel zwischen den Massiven Mont Blanc und Mont Pelvoux bekannt. Die Längswechsel des Schweizer Jura haben F. Mühlberg³⁾ und A. Rothpletz⁴⁾ beschrieben; sie verflächen gegen S. bzw. SO., woher der tangentielle Schub kam, und wurden im südlichen Kettenjura nachträglich verbogen, was mit der Annäherung zum Tafeljura zurücktritt, da hier flachliegende, ebene Wechsel auftreten. Südlich von Basel verschwinden die nördlichen Wechsel nacheinander, die südlichen drängen sich wegen des stärkeren alpinen Nordschubes näher aneinander, im östlichen Fortstreichen verschwindet ein Wechsel nach dem anderen, so daß bei Baden nur mehr einer verbleibt. Im eigentlichen Tafeljura fehlen die Überschiebungen.

Im Rheinischen Schiefergebirge und Umgebung begegnet man häufig Wechsellinien, welche nach S. bis SO. verflächen und welche sich bis zu dem früher besprochenen deutsch-belgischen Kohlengebirge in voller Übereinstimmung verfolgen lassen. Es sei hier bloß des wiederholt von A. Denckmann, E. Kayser und E. Schulz⁵⁾ beschriebenen bedeutenden Wechsels gedacht, der von Bensberg über Olpe bis nach

¹⁾ Mitt. d. Wien. geol. Ges. **6**, 238, 1913. — ²⁾ Siehe Regelmanns Schollenkarte von Südwestdeutschland, herausgegeben vom Oberrhein. geol. Verein. — ³⁾ *Eclogae geol. Helvetiae* **3**, 181 (1892) und 413 (1893). — ⁴⁾ *Geotekt. Probleme*, S. 61. Stuttgart 1894. — ⁵⁾ W. Bornhardt: *Gangverhältnisse des Siegerlandes* **1**, S. 116.

Padberg in 50 km Länge bekannt ist und an welchem die Glieder des Unterdevons stellenweise bis zu 35 km weit nach N. über Leneschiefer und Koblenzschichten überschoben sind. Dieser Verwurf ist ebenso, wie die Wechsel des deutsch-belgischen Kohlenzuges, jungkarbonen Alters; sie alle gehören also der variscischen Gebirgsbewegung an. Die große Breite des rheinischen Schiefergebirges ist die Folge der vielen Überschiebungen aller Art.

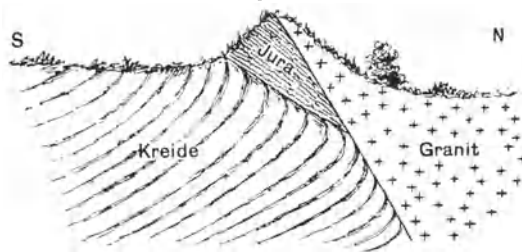
Der erste, allgemein bekannt gewordene Wechsel ist die Lausitzer Überschiebung¹⁾, welche Chr. S. Weiß schon im Jahre 1827 auf fand und die später auch von vielen bedeutenden Geologen untersucht und als Wechsel erklärt wurde. Dieser überschiebt zwischen Oberau bei Meißen (Sachsen) bis Zittau auf 127 km streichender Länge den Granit (zum Teil Syenit) über das Cenoman des sächsisch-böhmischen Kreidegebirges, wodurch dessen weiterhin flachliegende Schichten stellenweise steil aufgerichtet, ja selbst überkippt wurden, wie dies das schematische Profil Fig. 21 zeigt. Nach R. Beck fällt bei Hohenstein der Wechsel mit 21°

nach N., und Th. Siegert hat am Kreidekalk Schrämmung in der Richtung O. — W. und NO. — SW. beobachtet. Am Wechsel ist sowohl die Kreide als auch der Granit stark gestört und führt oft eine 1 bis 2 m mächtige Reibungsbreccie

mit bis über einen Kubikmeter großen Stücken der Nebengesteine. H. v. Staff²⁾ bestimmte das Alter des Wechsels zwischen Turon und Oberoligozän.

Ein bedeutender Wechsel ist in Schottland seit 1884 bekannt und wurde als kaledonische Überschiebung³⁾ bezeichnet. Im NO. Schottlands trägt ein Gneiszug eine Silurscholle; beim Südrand des Loch Eriboll zerfällt dann dieses Gebirge in zahlreiche Schuppen, deren Wechselflächen nach SO. bis OSO. verflächen, woher auch der Schub kam. Über diese kleineren Gneis-Silurschuppen ist von OSO. her eine bis 400 Fuß (130 m) mächtige Scholle von altem Gneis herübergeschoben. Östlich von Whitten Head, am Ausgang des Loch Eriboll, ist eine zweite noch gewaltigere Überschiebung, welche viele Meilen weit gegen SSW. sichtbar ist, gleichsam eine zweite Hauptschuppe über der ersten. Die tangentielle Bewegung der großen Gneis-

Fig. 21.



Schematisches Profil des Lausitzer Wechsels.

¹⁾ v. Dechen: *Gesellsch. f. Natur- und Heilkunde* 1881. A. Rothpletz: *Geotekt. Probleme*, S. 101. R. Beck: *Erläut. z. Sekt. Königsstein-Hohenstein* 1893. Th. Siegert: *Erläut. z. Sekt. Kötzschenbroda* 1892. — ²⁾ *Geol. und pal. Abh., N. F.*, 13, Heft 2, 1914. — ³⁾ E. Sueß: *Antlitz der Erde* 2, 95.

schuppen, welche Überschiebung auf 145 km streichend sichtbar ist, beträgt mindestens 16 km (E. Sueß).

Nach Benj. S. Lyman ¹⁾ streichen die Wechsel im pennsylvanischen Anthrazitgebiet übereinstimmend mit den Falten nach NO. In 22 Fällen verflächen die Wechsel südlich und in 9 Fällen nördlich. Die flache Schubhöhe ist durchschnittlich 72 Fuß = 24 m (20 bis 240 Fuß) und die stratigraphische Wechselbreite im Mittel 62 Fuß = 30 m (10 bis 160 Fuß).

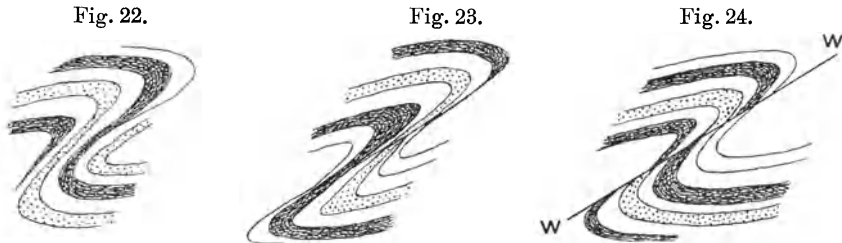
In den südlichen Appalachen, den Smoky mountains, treten die Längswechsel häufiger auf und wurden insbesondere von A. Keith eingehend studiert; er findet sie ganz ähnlich wie in Schottland gebaut. Sie sind gewiß älter als die Faltung und wurden von ihr mitbetroffen [B. Willis ²⁾]. Also auch hier sind die Längswechsel, wie im westfälischen und Lütticher Kohlengebiet, der Beginn der Deformation der Schichten, das erste Produkt des Seitenschubes.

Im W. der Vereinigten Staaten sind gewaltigere Wechsel; so gibt J. E. Spur ³⁾ für die Castle Creek fault im Aspen-Gebiet (Kolorado) die saigere Schubhöhe mit 9000 Fuß = 2000 m an.

Die Längswechsel leiteten den Faltungsprozeß ein und konnten sich auch während dessen Entwicklung bilden.

Faltenwechsel ⁴⁾.

Schon im Jahre 1841 haben die beiden Rogers Faltenwechsel im Great Valley (Pennsylvanien), in Virginien, Tennessee, Georgia und Alabama entdeckt, sie als solche erkannt und beschrieben.



Entwicklung eines Faltenwechsels; nach Alb. Heim.

Dies wurde jedoch in Europa wenig oder gar nicht beachtet, so daß sie hier Alb. Heim das zweitemal entdeckte, 1878 in seinem monumentalen Werk: „Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung“ eingehend beschrieb und als das Endergebnis der höchsten Potenz der Faltung erklärte, dadurch entstanden, daß eine überkippte Falte (Fig. 22) weiter (Fig. 23) und so lang zusammengequetscht wurde, bis sie zerriß (Fig. 24). Durch den Zusammenschub

¹⁾ Transact. Americ. Instit. Min. Eng. for 1895. — ²⁾ Compt. rend. IX. sess. congrès géol. internat., Vienna 1903, p. 529. — ³⁾ Economic Geology 4, 307, 1909. — ⁴⁾ Faltenverwerfung nach Alb. Heim: Mechanismus der Gebirgsbildung 2, S. 44. Französisch: pli-faille; englisch: fold thrust.

wurden die beiden Faltenscheitel in der Achsenrichtung stetig auseinandergebracht, wodurch zwischen ihnen ein Zug entstand, längs welchem sich die Spalte, der Wechsel *W*, aufriß und den Hangendflügel überschob. Deshalb muß sein Streichen mit jenem der Falte, welche streichend manchmal als Fortsetzung des Wechsels noch unzerrissen vorhanden ist, genau übereinstimmen, was bei den Längswechslern nicht oder nicht in diesem Maße zu sein braucht, da diese, weil manchmal nicht gleichalterig, die Falten auch schräg, spitzwinklig schneiden können.

Diese beiden Wechselarten sind also nicht bloß genetisch und geometrisch, sondern auch relativ zeitlich grundverschieden; während die Längswechsel meist den Anfang der Deformation oder auch deren weitere Entwicklung bezeichnen, so markieren die Faltenwechsel deren Schlußperiode. Auch dadurch sind die beiden Wechselarten verschieden, daß die Faltenwechsel beiderseits nahe des Verwerfers eine Wiederkehr derselben fast parallelen Schichten in verkehrter Folge zeigen, wobei der Mittelschenkel häufig sehr reduziert (ausgewalzt) ist, was bei den Längswechslern nicht zutrifft.

Ein Umbiegen der Schichten am Verwerfer ist noch kein Beweis für einen Faltenwechsel, da es auch eine Schleppung an einem Längswechsel sein kann.

Nach dem von Alb. Heim angenommenen Entstehungsvorgang ist es auch eine notwendige Folge, daß beim Faltenwechsel die Schichten umgebogen, geschleppt sind, ebenso, daß die Rutschstreifen die Bewegung nach aufwärts ganz oder nahezu markieren; diese Rutschstreifen findet man auch in den nachbarlichen Schichtflächen, durch die bei der Auswalzung der Falte wirksam gewordene Zerrung bedingt.

Die von Heim gegebene Erklärung der Bildung der Faltenwechsel ließ sich an verschiedenen Orten, man könnte sagen, schrittweise als richtig nachweisen, da Wechsel tatsächlich im Streichen in überkippte Falten übergingen. Die flache Schubhöhe des Wechsels wird am Weg zur Falte naturgemäß stetig kleiner.

Heims Erklärung der Faltenwechsel fand allgemeine Zustimmung und wurde von vielen europäischen Geologen auf alle Wechsel, auch auf die Längswechsel übertragen, ohne zu prüfen, ob Umbiegung der Schichten usw. vorhanden sei; die alte Erklärung in der Art der Längswechsel schien vergessen zu sein, bis L. Cremer¹⁾ gegen Faltenwechsel im westfälischen Kohlenrevier entscheidende Stellung nahm. Während man vordem nur Faltenwechsel sah, ist jetzt festgestellt, daß die Längswechsel vorwalten.

Alb. Heim²⁾ hat später die in den Faltengewölben auftretenden Verwerfungen, meist Wechsel, eingehender studiert und kam hierbei bezüglich der streichenden Längsbrüche zu sehr beachtenswerten

¹⁾ Glückauf 1894, Nr. 62 bis 65. — ²⁾ Sämtisgebirge 1905, S. 46, 649.

Ergebnissen. Er unterscheidet schwächende und verstärkende Schenkelbrüche und erläutert den Unterschied an den schematischen Bildern Fig. 25 und Fig. 26. Die verstärkenden Schenkelbrüche (Fig. 25), welche durchwegs Längswchsel sind, „sind der Ausdruck einer Steigerung in der Faltung, ein Herausdrängen des Gewölbekerns nach oben und außen infolge eines stärkeren Zusammenschubes im unteren Teile der Falte. Hingegen bedeuten die schwächenden Schenkelbrüche (Fig. 26) ein Einsinken des Gewölbes, eine Abnahme der faltenden Stauung und sie treten nicht bloß im Gewölbeschenkel auf, sie können noch über die Gewölbebiegung hinaus in den anderen Schenkel greifen.“

Die schwächenden Schenkelbrüche und die Querbrüche bilden ein System und fallen beide in die Zeit gegen Schluß der Faltung, während die verstärkenden Längsbrüche (Wechsel) in einer etwas früheren Phase der Faltung entstanden sind.

Der Mittelschenkelbruch ist ein Wechsel parallel zu den Schichtstreichern; der Gewölbeschenkelbruch, der im Jura häufiger auftritt, ist

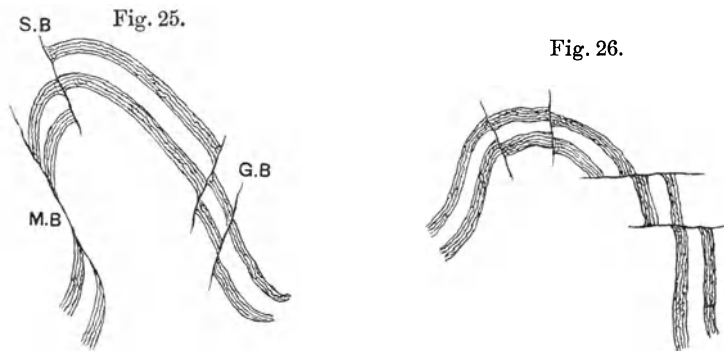


Fig. 25: Verstärkender, Fig. 26: Schwächender Längsbruch; nach Alb. Heim.
S.B. = Scheitelbruch, *G.B.* = Gewölbebruch, *M.B.* = Mittelschenkelbruch.

ebenso wie der Gewölbeschenkelbruch ein Längswchsel, beide können jedoch das Schichtstreichern unter einem spitzen Winkel durchschneiden.

Die Faltenwechsel sind später als die Längswchsel desselben Gebietes entstanden und sind das Produkt der höchsten Potenz der Faltung.

Die Fernwechsel.

Ein Wechsel mit flacher Schubhöhe von vielen Kilometern Länge wird Fernüberschiebung genannt, wofür ich konsequenterweise die Bezeichnung Fernwechsel vorschlage, um so mehr, nachdem für deren flache Schubhöhe, hier auch Förderlänge genannt, von keiner Seite ein Grenzwert bestimmt werden konnte und manche der früher besprochenen Wechsel ganz beliebig auch mit Fernwechsel bezeichnet werden können.

Will man für die überschobene Hangendscholle die alte Bezeichnung *Decke* beibehalten, die jedoch nicht eindeutig ist, da sie in der Vulkanologie schon lange in Anwendung ist, so hat man *Gleit- und Faltendecken* zu unterscheiden, entsprechend den *Längswechseln* und den *Faltenwechseln*. Bei der *Gleitdecke* wurde eine ältere Scholle längs einer Wechselfläche über eine jüngere Gesteinsgruppe weit geschoben. Eine *Faltendecke* ist eine riesig langgestreckte Falte älterer Schichten, die sich über ein jüngeres Gebirge legte. Einer solchen viele Kilometer langen Falte mit verschiedenen Kilometer langen Luftlinien scheint der Festigkeit und Duktilität der Gesteine zu widersprechen (s. Entwicklung der Faltenwechsel nach Alb. Heim), weshalb die Fernwechsel eigentlich nur die Faltenwechsel repräsentieren können.

Die Ausgangsstelle (*Heimstätte*) der Scholle wird *Wurzel*, ihr äußerster Rand *Stirn* genannt. Die *Decke* ist gegen das *Liegende* wurzellos, sie schwimmt gleichsam auf ihr. Das an der Wechselfläche auftretende Reibungsprodukt wird auch *Mylonit* genannt; seine Mächtigkeit wechselt an der Stoß- und Leeseite der *Liegendscholle* (A. E. Törnebohm).

Angeregt durch die großartigen Wechsel in der französisch-belgischen Kohlenmulde fand M. Bertrand¹⁾ sie auch in den Schweizer Alpen, was insbesondere H. Schardt 1893 und E. Querau 1893 bestätigten; diesen folgten L. Lugeon, welcher diese Theorie mit sehr viel Geschick weiter entwickelte, E. Haug, P. Termier, Alb. Heim, G. Steinemann mit seinen Schülern, K. Schmidt u. a. m. E. Sueß wies einen größeren Wechsel bei Nauders im oberen Inntal nach und damit wurde die sogenannte „*Deckentheorie*“ auch auf die österreichischen Alpen übertragen. L. Lugeon und besonders V. Uhlig²⁾ verwendete sie auch für die Karpathen. Zur *Deckenhypothese* bekannten und bekennen sich zwar sehr gefeierte Geologen; und dennoch blieb sie nicht ohne Widerspruch, der geradezu herausgefordert wurde, als an Stelle der objektiven Beobachtung und Beurteilung die Phantasie trat. Eine solche Verirrung ist die von Lugeon, Termier und E. Haug³⁾ am Internationalen Geologenkongreß in Wien (1903) aufgestellte und von anderen Geologen angenommene Hypothese, daß die südlichen Kalkalpen (*Dinariden*) über die Zentralalpen hinweggeschoben und als nördliche Kalkalpen abgelagert wurden; jene seien die *Wurzel* für diese. Diese phantasiereiche Hypothese übersieht die vielen stratigraphischen Unterschiede der beiden Kalkalpenzonen und die vielen, Jahrzehnte umfassenden Bemühungen zur äquivalenten Feststellung der verschiedenen Schichtenglieder der alpinen Trias dies- und jenseits der Zentralalpen. Jene Annahme übersieht ferner die Beweise der autochthonen Ablagerung; es sei hier verwiesen auf die großen Blöcke und die kleinen

1) *Rapports de structure des Alpes de Glaris et du bassin houillers du Nord*. Bull. soc. géol. France 3. ser. 12, 1884. — 2) *Sitzungsber. d. k. k. Akademie d. Wiss. Wien* 1907. — 3) Auch in *Compt. rend. Acad. sc. Paris* 1909.

Stücke Granit beim Buchdenkmal (Oberösterreich), welcher mit dem nachbarlichen böhmischen Granit die größte Ähnlichkeit hat. Es sei ferner auf die Pflanzen- und Kohlenführung der Lunzer Schichten (besonders in Niederösterreich) verwiesen, welche zweifelsohne als küstennahe — limnische — Bildungen aufgefaßt werden müssen. Dieses Kohlenniveau fehlt in den Südalpen ebenso wie die Einlagerung der Granitblöcke. Hingegen ist von der Bozener Porphyrydecke in den Nordalpen kein Rest aufzufinden. Man mag sich die Zentralalpen zur Zeit jenes hypothetischen Transportes wie immer vorstellen — an eine horizontale oder nach N. geneigte Ebene kann nicht gedacht werden —, so ist vorauszusetzen, daß die Bahn sehr uneben und bergig war, weshalb auf der Nordseite der Zentralalpen die überschobenen Südalpen als ein unregelmäßiges Gehäufte von Riesenblöcken, aber nicht als ein relativ regelmäßiger Zug angekommen wären.

In den Westalpen liegen oft mehrere Gleitdecken übereinander, welche am Glärnisch verschiedene Wurzeln haben, d. h. aus verschiedenen Richtungen hergeschoben wurden. Alb. Heim schätzt die Mächtigkeit der Deckenpakete der Dent Blanche und des Großen St. Bernhardmassivs mit 25 bis 30 km.

Läßt sich in einer Deckenhypothese die Wurzel, d. i. der Ursprungsort der Decke, nicht nachweisen, so steht sie auf lahmen Füßen.

Ohne die Gültigkeit der Decken- oder Charriaghypothese für die Schweiz beschränken oder gar bestreiten zu wollen, muß, was Fernwechsel anbelangt, ihre Übertragung auf die Nordalpen in dem früher erwähnten Sinne entschieden abgelehnt werden. F. Heritsch¹⁾, welcher vordem der Deckenhypothese für die östlichen Alpen sehr zugetan war, lehnt sie nun nach langjährigen Studien unumwunden ab und läßt auch Fernüberschiebungen innerhalb ein und derselben Alpenzone nicht gelten; denn „die Unterschiede der Facies“ lassen sich restlos erklären ohne Zerlegung in Decken. „Es sind die Einheiten der (nördlichen) Kalkalpen nicht übereinandergeschoben aus einzelnen Wurzeln, sondern ohne Fernschub nebeneinandergepreßt, und zum Teil übereinandergeschoben.“

In den Ostalpen gibt es in allen drei Zonen Wechsel, doch keine Fernwechsel.

Einer der Ersten, welcher die Deckenhypothese als „eine fixe Idee“ ablehnte, war L. Rollier²⁾. H. Mylius³⁾, welcher besonders die geologischen Verhältnisse an der Grenze der Ost- und Westalpen studierte, lehnt ebenfalls die schweizer Fernwechsel ganz entschieden ab und sagt, „daß die durch sie verschleppten Massen Strecken zurückgelegt haben, die eine geringe Zahl“ (im Glarner Gebiet höchstens neun) „von Kilometern nicht übersteigen. Wo ein Berg in den Alpen,

¹⁾ Die österreichischen u. deutschen Alpen, Handbuch d. region. Geologie II, 5a. Heidelberg 1915. — ²⁾ Act. Soc. Jurassien d'Emulation 1906, S 115. — ³⁾ Geolog. Forschungen 2, 170. München 1913.

ob groß oder klein, heute steht, nicht weit von ihm ist der Ort, wo seine Sedimente abgelagert wurden.“ Seine Erklärung großer Schublängen durch verschieden gerichtete kurze Schübe verdient in jedem Einzelfalle Beachtung.

Auch R. Lachmann¹⁾ lehnt in einer zusammenfassenden Studie: „Der Bau der alpinen Gebirge“ die Deckenlehre mit guten Gründen ab.

B. Mellard²⁾ lehnt auf Grund von Betrachtungen der Dynamik die Möglichkeit von Fernüberschiebungen auf 160 km (100 miles) Länge ab, dem jedoch M. S. Smoluchowski³⁾ auf gleicher Basis widerspricht und solche weite Transporte für möglich hält. Solche Rechnungen sind darum zwecklos, weil für die allgemeinen Formeln die realen Werte fehlen, welche zur Zeit der Überschiebung, der Wechselbildung, vorhanden waren; man kennt nicht die Lage und den Winkel der schiefen Ebene, man kennt auch nicht den Reibungskoeffizienten. Tornquist nimmt eine Bewegung der Scholle unter Wasser, womit bekanntlich Gewichtsverlust verbunden ist, und auf unverfestigten Sedimenten, z. B. des Alpenflysches an. H. Schardt und mit ihm A. Penck setzen ein Abgleiten der Decke auf einer gegen die Vortiefe, also abwärts geneigten Wechselfläche voraus. Allen diesen Möglichkeitsberechnungen steht die unleugbare Tatsache gegenüber, daß die flache Schubweite der Wechsel oft viele Kilometer erreicht; ich verweise nur auf das beststudierte Wechselgebiet des deutsch-belgischen Kohlenrevieres.

Einen großen Fernwechsel im skandinavischen Felsengebirge bespricht A. E. Törnebohm⁴⁾. Von W. her wurde eine aus altem, arg gequetschtem Granit, Glimmer-, Hornblendeschiefer und Gneis bestehende Scholle flach über die Silurschichten 100 bis 130 km weit nach O. bis OSO. vorgeschoben. Die Ostgrenze reicht weit über das Kölengebirge und zieht sich in einem nach SO. schwach konvexen Bogen vom Hardanger Fjord über den Torne-See (68° 14' n. Br.) bis zur Mündung des Alten Elv ins Eismeer (70° n. Br.). In der südlichen Hälfte ist diese Ostgrenze durch Deckenklippen bezeichnet, während der Stirnrand der zusammenhängenden Decke sehr weit, beim Rondane sogar fast 100 km, nach W. zurückliegt, ein Gebiet gewaltiger Erosion. Die Überschiebung kann erst gegen Ende der Faltungsperiode, also nicht früher als in jurassischer Zeit, begonnen haben und dauerte durch eine längere Periode fort. W. Brögger wollte hierauf die Schardtsche Ableitungshypothese anwenden, wogegen jedoch P. Holmquist⁵⁾ beachtenswerte Einwände erhob.

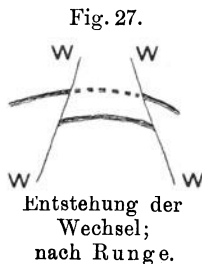
Die schottischen Geologen J. W. Judd⁶⁾ und A. Geikie⁷⁾ kamen auf Grund der großen stratigraphischen Übereinstimmung zu der

¹⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Gesellsch., Monatsber. März 1913. — ²⁾ Geol. Magazine 1908, S. 518. — ³⁾ Ebenda 1909, S. 204. — ⁴⁾ Compt. rend. IX. sess. congrès géol. internat., Vienna 1903, p. 521. — ⁵⁾ Geol. Fören. Förh. Stockholm, 23, 55, 1901. — ⁶⁾ Adress to the geol. Sect. of the Brit. Assoc. Aberdeen 1885. — ⁷⁾ Textbook of Geol. 1885, p. 712.

Überzeugung, daß die schottischen Hochländer samt den Hebriden und Donegal auf der einen, Orkney und Shetland auf der anderen Seite Stücke der Skandinavischen Halbinsel sind. E. Sueß¹⁾ schloß sich dieser Anschauung an, zog diese weitentlegenen Teile als Kaledonisches Gebirge zusammen und betont auch die „Übereinstimmung der Struktur“ in beiden Gebieten. J. W. Judd und E. Sueß sind der Ansicht, daß sich die Trennung von Skandinavien und Schottland in posttertiärer Zeit vollzogen habe. — Bemerkenswert ist es, daß sowohl in Skandinavien als auch in Schottland die Überschiebung, der Seitenschub, von der Nordsee ausging.

In Nordamerika (Vereinigte Staaten) hat C. W. Hayer in den südlichen Appalachen, B. Willis im westlichen Montana großartige Deckenüberschiebungen nachgewiesen. Die ersteren gehören dem Ende der Karbonzeit, die letzteren dem Tertiär (Eozän?) an. Diese beiden Epochen stimmen mit jenen der hauptsächlichlichen Kompression der Erdrinde in Nordamerika überein. Die Wechselfläche setzt sich außerhalb der Decke in einer topographischen Ebene fort. Die Deckenüberschiebungen sind jünger als die Faltenwechsel, und diese jünger als die Längswechsel.

Es wird jetzt von den meisten Geologen angenommen, daß die Wechsel aller Art durch Seitenschub entstanden sind, welche Theorie insbesondere auch mit dem Zusammenvorkommen der Wechsel mit Schichtenfaltung begründet erscheint. Mit ihr lassen sich auch alle Erscheinungen restlos erklären.



Trotzdem diese Erklärung sehr einfach ist, wurden doch auch andere Hypothesen aufgestellt, welche jedoch keinen Anwert fanden. So z. B. erklärt Runge²⁾ die Wechsel des Ruhrbeckens damit, daß er in den Sattelerhebungen eine größere Spannung als in den Muldentiefen annimmt, wodurch in den ersteren die Schichten lockerer und loser liegen, Zwischenräume gebildet wurden, in welche der Sattelrücken einstürzte. Er erläutert diese Vorstellung in Fig. 27. Es müßten alle Wechsel eingestürzten Sätteln entsprechen, was tatsächlich, auch im Ruhrbecken, nicht der Fall ist. Aus diesem Becken weist A. Rothpletz³⁾ nach, daß ein Wechsel quer durch einen Sattel oder eine Mulde unter spitzem Winkel streicht. Auch die nachträgliche Biegung der Wechsel im Sinne der späteren Faltung verwirft diese Hypothese.

Mühlberg⁴⁾ nahm zur Erklärung der Entstehung der Wechsel die Erosion zu Hilfe, welche z. B. in den Antiklinalbrüchen während der Faltung einsetzte, daselbst ein Tal ausnagte, über welches der eine Schenkel während der fortschreitenden Faltung geschoben wurde.

¹⁾ *Antlitz d. Erde* 2, 92, 1888. — ²⁾ *Das Ruhrsteinkohlenbecken*, S. 40. Berlin 1892. — ³⁾ *Geotekt. Probleme*, S. 113. Stuttgart 1894. — ⁴⁾ *Ebenda*, S. 82.

Diese Erklärung ist kompliziert, die Wechselfläche, welche gewöhnlich glatt ist, würde sehr uneben sein und müßte aus einer mächtigen Breccienlage bestehen. Eine weitere Folge dieser Hypothese wäre, daß keine Überschiebung älter als die Faltung sein könnte, — somit wiederholte Widersprüche mit den Tatsachen.

Auch B. Willis¹⁾ verknüpft die Entstehung der Wechsel mit der Erosion. Er will beim Studium der Wechsel in den Vereinigten Staaten Nordamerikas als sicher gefunden haben, daß sie da entstanden sind, wo eine längst erodierte, d. h. relativ erhobene Masse, an eine tief verschüttete, d. h. gesunkene Masse stößt.

Der Querwechsel.

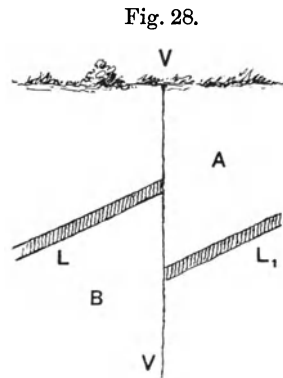
In einer das Schichtstreichen verquerenden Spalte wurde die Hangendscholle längs der Fallinie emporgeschoben; es trat somit die den Wechsel kennzeichnende Bewegung ein, doch fehlt hier die Beziehung zur Faltung. Solche reine Querwechsel können dadurch entstehen, daß zwei verschiedene Schubrichtungen nacheinander wirksam waren; die erste bildete Falten, die spätere wirkte hierauf senkrecht, wie z. B. in den Alpen auf den Nordschub der Ostschub folgte (Rothpletz). H. Mylius vergleicht zutreffend die Wirkung der späteren Kraft mit einer solchen querweise auf ein Wellblech, das nur brechen und nicht gefaltet werden kann. Längs der Spalte bewegte sich infolge des Schubes die eine Scholle über die andere.

Die Querwechsel sind somit jünger als die Falten.

In Verbindung mit Seitenverschiebungen (Horizontalverwerfern), welche die Spalten bedingten, wobei jedoch der Schub entweder ursprünglich oder infolge eines vorliegenden Widerstandes nicht genau horizontal, sondern schräg nach aufwärts gerichtet war, entstand ein schräger Querwechsel. Einen solchen bildet P. Krusch²⁾ aus dem westfälischen Steinkohlenrevier ab.

3. Der Saigersprung³⁾

ist ein Verwurf mit saigerem Verwerfer, weshalb man nicht entscheiden kann, ob die eine Scholle A (Fig. 28) gesunken oder die andere B gehoben wurde; übrigens kann geometrisch der Saigersprung auch durch irgendeine seitliche Verschiebung entstanden sein. Erst nach eingehendem Beobachten aller Einzelheiten, besonders der Rutschstreifen,



Saigersprung.

VV = Verwerfer, LL₁ = Leitschicht.

¹⁾ Compt. rend. IX. sess. congrès géol. internat., Vienna 1903, p. 537. —

²⁾ Erläuterung z. Blatt Dortmund, 1909. — ³⁾ Französisch: faille vertical; englisch: vertical fault.

ist es möglich, zu entscheiden, welcher der angedeuteten Verschiebungen er zugeteilt werden kann; solange dies nicht möglich ist, muß der Saigersprung als selbständige Art der Verwerfung aufgefaßt werden. Oft gelingt auch die Entscheidung beim Verfolgen der Spalte im Streichen oder im Verfläichen.

4. Die Horizontalverwerfung¹⁾.

Diese werden auch Horizontalverschiebungen (H. Quiring), horizontale Transversalverschiebungen (Alb. Heim), im Siegener Land Geschiebe genannt; ich gebrauchte früher auch die Bezeichnung Seitenverschiebung. E. Sueß nennt sie Blattverschiebungen oder Blätter, wobei ihm jedoch ein Mißverständnis unterlief, da der alpine Bergmann eine geschlossene Spalte, manchmal auch eine Schichtenfuge, Blatt heißt, gleichgültig, wohin und ob es verwirft oder nicht.

Ein Horizontalverwurf entstand durch eine ganz oder nahezu horizontale Verschiebung der einen Scholle gegen die nachbarliche. In den meisten Fällen steht er steil, die Richtung des Einfallens ein und desselben Verwerfers ändert sich manchmal im Streichen.

Auf Grund der fast horizontalen Lage der Rutschstreifen wies ich in der Österreichischen Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen bereits in den Jahren 1881 und 1886 auf das häufigere Vorkommen der Horizontalverwürfe in den Alpen hin. De la Beche²⁾ erwähnt schon 1853 horizontale Verschiebungen; früher noch B. v. Cotta³⁾. In späterer Zeit fanden Horizontalverwürfe A. Bittner in den nordöstlichen Alpen⁴⁾ mit Nordnordweststreichen, E. Sueß in den östlichen Alpen mit Nord- bis Nordostrichtung, Alb. Heim sowohl im Säntis als auch im Jura, A. Denckmann, W. Bornhardt u. a. im Siegerland, verschiedene Forscher am Harz, im westfälischen Kohlengebiet auch P. Krusch; in der Borinage (Belgien) verschiebt der „Grand transport“ die Flöze um 100 bis 140 m horizontal und im westfälischen Becken ist die Verschiebung in den Zechen Courl und Maßen bei Dortmund um 400 bis 500 m. Im Säntisgebirge erreicht die Schublänge 1500 m. H. F. Reid, W. M. Davis, A. C. Lawson und F. L. Ransome stellten im Report of the Committee on the Nomenclature of Faults⁵⁾ fest, daß die Horizontalverwürfe in Nordamerika häufig vorkommen.

Die geometrischen Verhältnisse der Horizontalverwerfer werden wie folgt bezeichnet: Die söhlige oder horizontale Schublänge s in Fig. 29 ist die Entfernung der beiden Scharungslinien l und l' der

¹⁾ Französisch: décrochement horizontale; englisch: flaw (Americ. Commit.), horizontal oder heave fault (Scott.). — ²⁾ Vorschule der Geologie 1853, S. 571. — ³⁾ Leitfaden oder Vademecum der Geognosie, 3. Aufl., 1849. — ⁴⁾ Herenstein. — ⁵⁾ Bullet. geol. Soc. of America 24.

verworfenen Leitschichten F und F' im Streichen des Verwerfers gemessen; die wahre Schublänge (englisch: net slip) W ist die Entfernung längs der Rutschstreifen gemessen. Sind diese genau horizontal, so sind beide Schublängen übereinstimmend. Die vertikale Projektion der wahren Schublänge, d. i. die Höhendifferenz ihrer Endpunkte, heißt Schubhöhe h (englisch: slip oder dip slip), die bei horizontaler Rutschstreifenlage Null wird; die horizontale Projektion der wahren Schublänge heißt Schubbreite, die bei horizontalen Rutschstreifen gleich den beiden Schublängen ist.

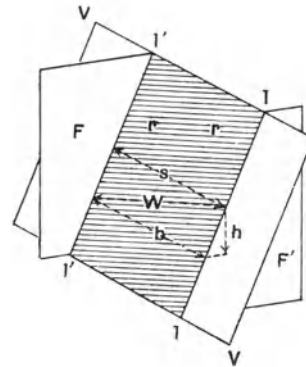
Da die Horizontalverwerfer sich geometrisch entweder als Sprünge oder als Querwechsel deuten lassen, so blieben sie durch lange Zeit, insbesondere bei den Markscheidern, unbeachtet.

Die Horizontalverwerfer treten vorwiegend im Faltengebirge auf und verdanken, wie dieses, ihre Entstehung einer horizontal wirkenden Kraft, also einem Seitenschub. Ist dieser nach der ganzen Länge der Schubfläche — vielleicht gestattet man mir diese Bezeichnung — nicht gleich, oder ist der äußere oder innere Widerstand der geschobenen Masse ungleich groß, so wird diese ungleich vorgeschoben. Zwischen dem rascher fortschreitenden und dem zurückbleibenden Teil muß eine Spannung eintreten, welche, wenn die Elastizitätsgrenze des Gesteins überschritten wird, eine Spalte bildet, in welcher der stärker geschobene Teil gegenüber dem zurückgebliebenen horizontal vorgeschoben erscheint. Setzt der Schub fort, so ist jede Scholle individualisiert, d. h. die Faltung geschieht in jeder verschieden. Je später der Bruch eintrat, desto ähnlicher wird die Faltung in den Nachbarschollen sein und umgekehrt.

Da in biegsamen Gesteinen die Spannung vor dem Bruch eine Biegung der Schichten bewirkt, welche Flexur im vorliegenden Falle fast saiger stehen muß, so kann man bei manchen Horizontalverwerfungen auch einen horizontalen Umbug der Schichten beobachten, wobei derselbe in der vorgeschobenen Scholle nach rückwärts — auf die Schubrichtung bezogen — in der anderen nach vorwärts gerichtet ist. Die Spalte endet oft auch mit einer solchen stehenden Flexur.

Ist dies der Fall, so wird in der Flexur zwar der Umbug mit allmählich abnehmender Stärke fortsetzen; doch die Schublänge am Ende der Spalte kann nur so groß sein, als die Verschiebung bei Beginn der Flexur. Weiter rückwärts zu jenem Gebiet, von welchem der Schub kam, sollte die Schublänge stetig wachsen. Hingegen berichtet

Fig. 29.



Horizontalverwurf.

$V V$ = Verwerfer, $F F'$ = Leitschicht,
 s = sölhige, W = wahre Schublänge,
 h = Schubhöhe, $r r$ = Rutschstreifen.

P. Krusch¹⁾ vom westfälischen Kohlengebiet, das bekanntlich seinen Schub von S. bzw. SO. bekam, daß die große Horizontalverschiebung mit 400 m Schublänge gegen S. stetig kleiner und im südlichen Hauptsattel minimal ist. Andererseits fand Alb. Heim, daß im „Säntisgebirge“²⁾ die Horizontalverwürfe in den äußeren Schichten stärker als im Gewölbekern entwickelt sind, in diesem rasch abnehmen oder auch ganz erlöschen.

Theoretisch sollte der Horizontalverwerfer in der Richtung des Horizontalschubes, somit senkrecht zum Streichen der Falten, also im bogenförmigen Kettengebirge radial, gerichtet sein; dies ist auch wiederholt der Fall, obzwar man auch Ausnahmen findet. Die Ursache hiervon ist stets zu ergründen und führt oft zu sehr interessanten und wertvollen Schlüssen. So kann der Grund darin liegen, daß der innere oder äußere Widerstand ungleich verteilt ist oder nicht senkrecht zur Schubrichtung liegt. Es kann aber nebst dem Faltenschub in demselben Gebiet gleichzeitig oder später noch eine andere Kraft aktiv gewesen sein, wovon später (S. 45) ein sehr lehrreiches Beispiel aus dem Juragebirge gegeben werden wird.

Die Wechsel sind ebenfalls ein Ergebnis des Horizontalschubes und streichen senkrecht zu dessen Richtung, weshalb Wechsel und Horizontalverschiebungen, bei deren normaler Ausbildung, im Streichen zueinander senkrecht stehen sollen. In der Regel verwerfen die Horizontalverwerfungen die Wechsel (Siegen, Westfalen, Belgien), ein Beweis dafür, daß diese älter sind als jene. Im westfälischen Kohlengebiet sind die Horizontalverwerfungen und die Sprünge gleichstreichend, eine sehr oft beobachtete Tatsache.

H. Quiring³⁾ hat in einer eingehenden Studie, „Zur Theorie der Horizontalverschiebungen“, je nach Wirksamkeit, Art und Zeit ihrer Entstehung folgende Einteilung vorgeschlagen:

A. Grenzblätter: Vor und während der Hauptfaltung in der Druckrichtung entstandene Steilspalten von meist beträchtlicher Länge, die eine auf beiden Seiten verschiedene Auslösung des Faltungsdruckes und verschiedenen tektonischen Bau der getrennten Schollen hervorgerufen haben.

B. Verschiebungsblätter:

1. Präzedente, d. h. vor der Hauptfaltung entstandene Verschiebungen von meist geringem Betrag.
2. Verschiebungsblätter im engeren Sinne, d. h. während der Faltung entstandene Spalten mit meist nur örtlichen Verschiebungen (Überschiebungsblätter).
3. Posthume Verschiebungsblätter, d. h. Spalten, auf denen eine Verschiebung der benachbarten gefalteten Schollen erfolgt ist, selten auf größere Entfernungen zu verfolgen.

¹⁾ Erläuterung z. Blatt Dortmund 1909, S. 68. — ²⁾ Ebenda, S. 647. — ³⁾ Zeitschr. f. prakt. Geol. 21, 70, 1913.

Alb. Heim¹⁾ verdankt man eine gehaltvolle und anregende Studie über die Horizontalverwürfe in den Falten der Juraketten, welche spießbeckig durchschnitten werden und die südlich von den Alpenketten bis zum Neuenburger See reichen. Er beschreibt zehn derartige Verwürfe, welche von dem Abzweigungspunkt der Alpen oder von Salève aus gesehen, gegen N. allmählich fächerförmig auseinanderlaufen, so daß der südlichste Verwurf N 40° W. (21^b 5°), der nördlichste N 35° O. (2^b 5°) streicht, somit der Konvergenzwinkel 75° beträgt. Im ersteren Falle wird das Streichen der Ketten unter 70°, im letzteren nur mehr unter 30 bis 35° geschnitten; der Übergang von diesen Grenzwerten ist für die dazwischen liegenden Verwerfer ein ganz allmählicher. Die Horizontalverwerfungen laufen westwärts in horizontale Schleppung (stehende Flexur) der Ketten aus; hierbei ist die Ostseite gleichsinnig gegen N. vorgeschoben. Die westlicheren Brüche setzen meist in der innersten Faltenzone an und endigen mit dem Eintritt in die äußere Zone des welligen Plateaus. Die östlichen Querbrüche lassen die innerste Kette unberührt, bleiben aber in der inneren Zone. Keiner der Querbrüche gehört der äußeren Zone des Jura Faltenbündels an. Die Transversalverschiebungen (Horizontalverwürfe) fehlen im südwestlichen Jura und im östlichen Kettenjura. Die bedeutendste Verwerfung, jene von Vallorbe-Pontallier, durchsetzt zehn Antiklinen und verschiebt im südlichsten Teile die Ostscholle um 10 km, gegen N. allmählich abnehmend; sie liegt völlig in der Mitte der zehn Verwürfe; die beiden nächstgroßen liegen hiervon symmetrisch je 35 km südwestlich bzw. nordöstlich davon.

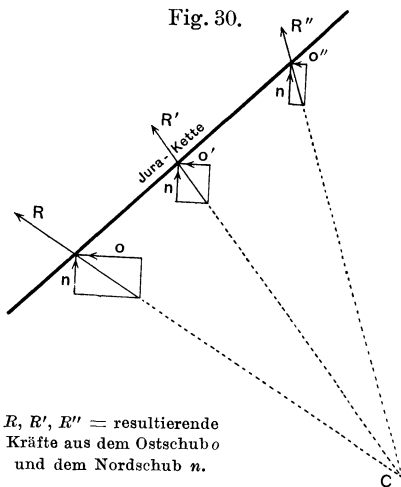
Soweit auszugsweise das Beobachtungsmaterial, dem Heim beifügt: „Wir erkennen damit die Transversalverbrüche im Juragebirge als das Resultat der durch die Ausbiegung entstandenen longitudinalen Streckung. Sie sind erst im späteren Teile der Jurafaltung entstanden. Sie sind unabhängig von den älteren Verwerfungen der nördlichen Gebirge (Tafeljura, Vogesen, Schwarzwald) als eine rein jurassische postsarmatische Horizontaldislokation aufzufassen.“

Verlängert man die Streichen der zehn Horizontalverschiebungen, so schneiden sich dieselben südwärts mit fast geometrischer Genauigkeit bei Moutiers in Savoyen, im Endgliede der granitischen Außenkette des Mont Blanc, nahe dem gewaltigen Umbug des Alpenstreichens, nahe einem Gebiete, in welchem nach E. Sueß²⁾ eine sehr verwickelte Scharung eintritt. Es scheint, daß gegen Ende der Jurafaltung im Massif de la Vanoise oder vom Massif du Pelvoux der alpine Schub ein Maximum³⁾ erreichte, also ein größeres Kraftzentrum, und von hier

1) Vierteljahrsschr. d. Naturf. Ges. Zürich 60, 597, 1915. — 2) Antlitz der Erde 2, 142. — 3) Alb. Heim sagt: „Die Alpen erlangen ihre kräftigste Entwicklung in den Zentralmassiven der Penninischen Alpen (Mont Blanc, Mont Colin-Weishorn) und des Finsteraarhorns. Von hier an nehmen sie ganz gleichförmig und allmählich gegen Osten ab“ (Mechanismus der Gebirgsbildung 2, 223).

radial auch in allgemein nördlicher Richtung ausging, welches die Horizontalverwürfe bedingte. Damit wäre es auch erklärlich, warum die Ostseite der Verwerfung gleichsinnisch gegen N. vorgeschoben ist. Von dem Piemont umspannenden Bogen der Westalpen ging ja auch ein Zusammenschub von O. nach W. aus.

Eine andere Erklärung ist folgende: Das Streichen der Jurakette paßt in jenes der Alpen nicht recht hinein; seine südlichsten Ausläufer standen unter einem Ostwestschub, von den savoijischen Alpen ausgehend, während seine nördlichen Enden an der Südseite des Tafeljurass ein ausgesprochenen alpinen Südnordschub ausgesetzt waren. Bei der Entwicklung des Juras waren also zweierlei Schubrichtungen bzw. -kräfte tätig, im Süden von Ost, im Norden von Süden. Dazwischen mußten sich diese beiden Kräfte kombinieren, womit auch die



Horizontalverwerfungen im Juragebirge.

der beiden Schubkräfte bedingte auch das SW.—NO.-Streichen der Jurakette und daß die Ostseiten der Verwürfe gleichsinnisch gegen N. vorgeschoben wurden. War der Schub in der Höhe nicht gleich stark mit jenem in der Tiefe, so mußte auch nebenbei eine Drehbewegung, eine zyklodische Bewegung stattfinden.

5. Der Liegendsprung

ist ein Abgleiten der Liegendscholle unter der Hangendscholle, ganz oder annähernd in der Fallinie des Verwerfers. Die Liegendscholle muß hierbei eine Art zwangsläufige Bewegung durchmachen, um ein vertikales Absinken und die Bildung einer offenen Spalte zu verhindern. Diese unfreie Bewegung (rückläufige Scholle) kann in einem von Sprüngen durchsetzten Bruchgebiete eintreten, wie dies Fig. 31 zeigt. Die Scholle B ist infolge der beiden Sprünge V und V_1 gesunken, wodurch gegenüber

radiale Stellung der Seitenverschiebungen erklärt wird, wie dies die beistehende Prinzipskizze (Fig. 30) erläutert, in welcher der Schub von Ost südwärts immer größer wird, während der alpine Schub als durchwegs gleichbleibend angenommen wurde. Läßt man letzteren nordwärts wachsen, so trifft die Konstruktion ebenfalls zu, wobei mit dem Anwachsen der nördlichen Komponente die östliche kleiner wird. Die Horizontalverwürfe sind, wie gewöhnlich, in der Richtung der resultierenden Schubkräfte R, R', R'' aufgerissen worden. Das Zusammenwirken und die räumliche Verteilung

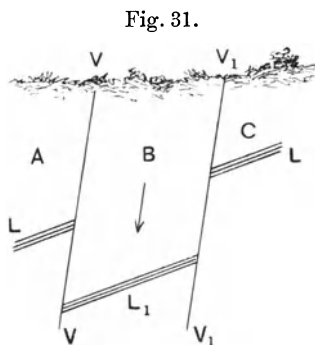
der Scholle *C* ein Sprung, gegenüber *A* jedoch ein Liegendsprung entstanden ist.

Der Liegendsprung erscheint geometrisch als Wechsel, ist jedoch keine Über-, sondern eine Unterschiebung.

Der Name Liegendsprung stammt von W. Bornhardt, welcher derartige Verwerfungen im Siegerlande beobachtete; es wurde auch die Bezeichnung Unterschub vorgeschlagen.

6. Die schrägen oder diagonalen Verwerfungen¹⁾.

Es ist naheliegend vorauszusetzen, daß sich die Verschiebungen nicht immer ganz oder nahe an die Fall- oder Streichlinie des Verwerfers binden, sondern auch Zwischenlagen einhalten; ein sorgfältiges Studium der Verwerfer, besonders der Rutschstreifen, hat dies bestätigt. Es ist klar, daß z. B. eine durch Seitenschub bewegte Scholle in manchen Fällen auch der Schwerkraft folgen muß und daß dann die Bewegungsrichtung der Resultierenden jener beiden Kräfte gehorcht. Dementsprechend können wir noch folgende Arten der Verwerfer feststellen. Die schrägen Verwerfungen sind in Fig. 2 (S. 2) in *OD*, *OD'* und *OE*, *OE'* schematisch dargestellt.



L' bzw. *VV* = Liegendsprung.

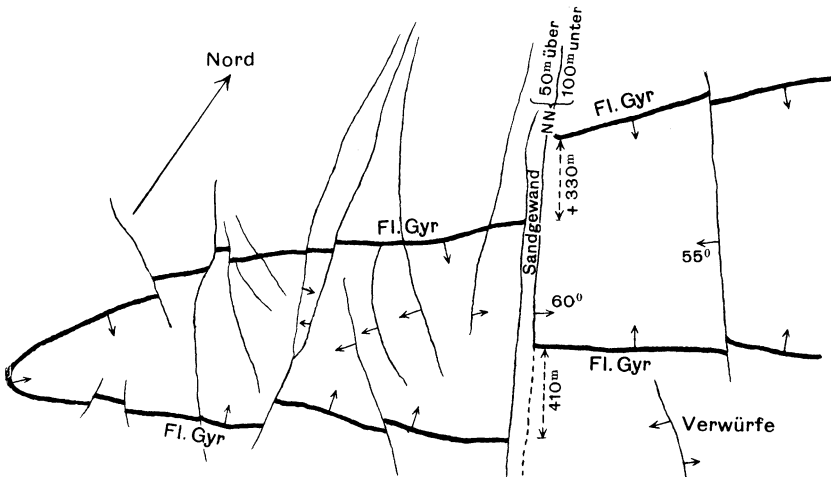
Der schräge oder diagonale Sprung, *OD* und *OD'* in Fig. 2. ist zwischen dem Sprung und dem Horizontalverwerfer gelegen und würde im idealen Falle mit der Streich- und Falllinie des Verwerfers einen Winkel von 45° einschließen, was in der Natur so haarscharf nur selten zutreffen wird. Doch wird in vielen Fällen die Bewegungsrichtung der verworfenen Scholle, die in den Rutschstreifen markiert ist, jener Mittellage näher sein, als der Fall- oder Streichlinie, so daß man Abweichungen von diesen beiden Richtungen um $45:2 = 22\frac{1}{2}^\circ$ als für die schrägen Sprünge bezeichnend ansehen kann. Diese müssen also mit der Streichlinie einen Winkel von $22\frac{1}{2}^\circ$ bis $77\frac{1}{2}^\circ$ oder rund von 22° bis 77° einschließen. Würde man die Lage der Rutschstreifen beachten, so würden die schrägen Sprünge vielenorts nachgewiesen werden. Nach A. Denckmann und W. Bornhardt besteht der Stahlberger Stuf (Siegerland), welcher den Müsener Horst gegen O. abbricht, aus einem Bündel schräger Sprünge, welche nach N., im ganzen

¹⁾ Das Americ. Committee on the nomenclature of faults bezeichnet sie mit oblique-slip faults. E. Philippi nennt sie Diagonalverschiebungen (Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 1897, S. 329, 342).

um 5 km verschoben. Auch am Oberharz sind die sogenannten Quer-
verwerfungen schräge Sprünge mit Verruschelungen [L. Beushausen ¹⁾].

Ein sehr lehrreiches Beispiel von einem schrägen Sprung in der
Indemulde bei Aachen zeichnet E. Holzapfel in den Blättern Eschweiler
und Stolberg der geologischen Karte von Preußen (Lieferung 141). In
der Fig. 32 ist der Horizontalschnitt des Flözes Gyr wiedergegeben.
Rechts von der großen Verwerfung „Sandgewand“ ist der Schnitt in
100 m unter, links 50 m über Normalnull geführt; trotzdem ist die
Breite der Mulde beiderseits der „Sandgewand“ gleich groß, obzwar
eine saigere Sprunghöhe von $100 + 50 = 150$ m vorhanden ist. Würde
ein Abgleiten nach der Fallinie des Verwerfers erfolgt sein, so müßten
die Streichen der beiden Flözflügel beiderseits der „Sandgewand“ zu-
sammen-, d. h. in gegenseitiger Fortsetzung fallen oder parallel sein.

Fig. 32.



Der schräge Sprung „Sandgewand“ bei Eschweiler; nach E. Holzapfel.
1: 31 250.

Dementgegen ist rechts der nördliche Flözflügel um 320 m, der südliche
um 410 m, also im Mittel um 365 m horizontal nach N. verschoben
worden. Die saigere Sprunghöhe 150 m auf die mit 60° nach O. ein-
fallende Fläche der „Sandgewand“ projiziert, gibt die flache Sprunghöhe
mit $150 : \sin 60^\circ = 171$ m. Die rechtsseitige (östliche) Scholle wurde somit
in der Fallinie des Verwerfers um 171 m abgesenkt, in der Streichlinie
um 365 m verschoben, folglich mußte die Bewegungsrichtung zwischen
beiden liegen und zwar ist die Tangente des Winkels, welchen sie mit
der Horizontalen (Streichlinie) einschließt, $171 : 365 = 0,4685$, welcher
ein Winkel von 25° entspricht. Die „Sandgewand“ ist also ein flacher,
schräger Sprung nach NNW., der sich einem Horizontalverwurf nähert.

¹⁾ v. Koenens Festschrift, S. 194.

Da die Schublängen bei den beiden Flözflügeln verschieden groß sind, so muß auch eine Drehbewegung derart stattgefunden haben, daß der Südfügel mehr als der Nordfügel gesunken ist.

7. Der schräge oder diagonale Wechsel

liegt zwischen der Horizontalverwerfung und dem Wechsel, ist also eine schräge Aufwärtsverschiebung, deren Richtung sowohl von der Fall- als auch Streichlinie des Verwerfers um 22 bis 75° abweicht. In Fig. 75 (S. 90) ist ein schräger Wechsel aus dem westfälischen Kohlengebiete nach P. Krusch abgebildet. E. Philippi¹⁾ beschreibt einen solchen aus dem Resegonemassiv in der Lombardei.

8. Der schräge Liegendsprung

ist ein Liegendsprung (Unterschub), dessen Bewegungsrichtung von der Fallinie des Verwerfers um mindestens 22° abweicht. Die Liegendsprünge aller Art sind bisher wenig beobachtet und beachtet worden und treten manchmal als eine Begleiterscheinung in Sprunggebieten als sogenannte rückläufige Staffel auf.

9. Der Dreh- oder Torsionsverwerfer.

Die Ursachen der Drehbewegung wurden bereits auf S. 10 besprochen. Es wird dort auch erwähnt, daß die Drehung mit der Spaltenbildung entweder gleichzeitig, syngenetisch, stattfinden konnte oder daß die Scholle längs irgendeines vorhandenen Verwerfers später gedreht wurde, daß also die Drehung epigenetisch ist.

Es kann entweder nur eine drehende oder mit dieser gleichzeitig auch eine fortschreitende Bewegung stattgefunden haben, was bei den „Rutschstreifen“ (S. 60) näher besprochen wird. Diese sind im Verwerfer so gerichtet, daß sie, im großen aufgefaßt, bei einer einfachen Drehbewegung Kreiselemente darstellen, deren Mittelpunkt die Drehachse der bewegten Scholle markiert.

Der deutlichste Beweis einer stattgefundenen Drehbewegung ist 1. die Divergenz des Streichens und Verflächens einer Leitschicht beiderseits des Verwerfers und 2. die Konvergenz der Scharungslinien im Verwerfer.

1. Würde eine parallele Verschiebung stattgefunden haben, so würde die Leitschicht (Flöz) nicht aus der Stunde des Streichens gebracht, sie würde, von örtlichen, untergeordneten Störungen abgesehen, dies- und jenseits des Verwerfers gleichgerichtet, parallel sein müssen. Ist dies nicht der Fall, so muß eine relative Drehbewegung der einen Scholle stattgefunden haben. Infolgedessen wurde in ihr nicht bloß

¹⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 1894, S. 329.

das Streichen der Schichten, sondern auch deren Fallwinkel geändert. Dies zeigen häufig die Grubenkarten, besonders die der Steinkohlenbaue (Fig. 10, S. 19). Um Täuschungen zu entgehen, hat man stets den gesamten Faltenbau der Flöze zu beachten.

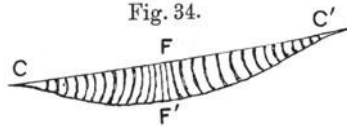
2. Sind die Verwerfer bergmännisch kartiert, so zeigen sie sich im Grundriß als flözleere Streifen entsprechend der söhligigen Sprungbreite. Wären die Verwerfer mathematische Ebenen, so müßten bei paralleler Verschiebung jene Streifen von parallelen Linien, der Horizontalprojektion der Scharungslinien, begrenzt sein; dies trifft in der Natur nicht genau, sondern nur in großen Zügen zu, einerseits da die Verwerfer keine Ebenen, sondern verschieden gekrümmte Flächen sind, andererseits weil beim Verwurf eine Drehung stattfand. Man kann wiederholt beobachten, daß die Begrenzungslinien dieser flözleeren Streifen nach einer Richtung konvergieren; dies kann zwei Ursachen haben. Stellt sich der Verwerfer steiler, so wird seine Sprungbreite kleiner, und ist er saiger gestellt, so wird sie Null; dadurch wird jener Streifen stetig enger und schließlich sich ausspitzen; ob dieser Fall vorliegt, wird man in der Karte aus der allmählichen Zunahme der

Fig. 33.



Offene einseitige Drehverwerfung.

Fig. 34.



Geschlossene Drehverwerfung.

verzeichneten Verflächungswinkel erkennen. Lassen diese die soeben erläuterte Konvergenz der Scharungslinien nicht zu, so ist diese eine Folge der Drehbewegung; dem Ausspitzen des flözleeren Streifens entspricht die Drehachse.

Im Flachriß des Verwerfers, d. h. in der Daraufsicht auf ihn, kommen die Drehbewegungen noch deutlicher zum Ausdruck in der konvergenten Lage der Scharungslinien der Leitschicht mit dem Verwerfer.

Die Drehverwerfungen werden in ein- und zweiseitige eingeteilt, je nachdem vom Schnittpunkte der beiden Scharungslinien die Drehung nur auf einer oder auf beiden Seiten stattfand. Die einseitigen Drehverwerfungen sind weiter zu trennen in offene und geschlossene.

In der offenen, einseitigen Drehverwerfung entfernen sich die beiden Scharungslinien vom Schnittpunkt C ab stetig mehr, sie bilden einen offenen Winkel (Fig. 33). In der geschlossenen Drehverwerfung sind zwei Schnittpunkte C und C' (Fig. 34) der Scharungslinien vorhanden, zwischen welchen sich die letzteren allmählich bis zu einem nahezu in der Mitte liegenden Höchstwert entfernen; die eine Scharungslinie verläuft zur anderen bogenförmig. Die Entstehung derselben erfolgte auf die Weise, daß längs eines Sprunges ein Teil

der Hangendscholle F' sich zwischen zwei Haltpunkten C und C' einbog.

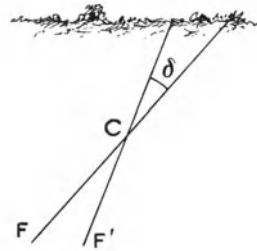
Eine morphologisch ganz ähnliche Erscheinung kann dadurch bedingt sein, daß auf einer Seite der Spalte, z. B. eines Horizontalverwerfers, der Faltendruck ein anderer war, als auf der anderen; in diesem Falle werden die Rutschstreifen entscheiden.

Die offene einseitige Drehverwerfung kann sich ursprünglich als solche dadurch gebildet haben, daß die Scholle nur an einer Seite bewegt wurde, sich abbog, oder auch dadurch, daß eine geschlossene Drehverwerfung durch eine Querspalte geteilt und verworfen wurde.

Der St. Joachimstaler Bruch¹⁾ (Zeileisengrund-Oberbrand) ist eine einseitige Drehverwerfung, welche im N. beim Graustein sein Scharnier (Drehpunkt) hat und im S. vom Erzgebirgsbruch abgeschnitten wird.

Der zweiseitige Drehverwurf ist dadurch gekennzeichnet, daß sich die beiden Scharungslinien kreuzen, daß sich diese beiderseits des Schnittpunktes fortsetzen (Fig. 35). C ist der Drehpunkt, der Drehachse entsprechend, welche zu dem Verwerfer senkrecht war. Solche Fälle sind bergmännisch von größtem Interesse; denn findet der Abbau des Flözes F statt, so ist bei C technisch keine Verwerfung; oberhalb von C wird der verworfene Flügel F' von F aus nach links, unterhalb nach rechts ausgerichtet werden müssen.

Fig. 35.



Zweiseitiger Drehverwurf.

Derartige Verwerfungen haben schon seit langem das Interesse des Bergmannes gefunden. Schon vor mehr als hundert Jahren (1799) beschrieb v. Charpentier²⁾ eine solche von der Grube Himmelfürst bei Freiberg (Sachsen) zwischen einem Stehenden und einem Morgengang; in 20 Lachter Tiefe schnitt einer den anderen ohne sichtbare Verwerfung ab (C), in 40 Lachter wurden die Gänge verschoben und in 60 Lachter war die söhliche Sprungweite noch größer. Die Scharungslinien konvergieren nach aufwärts; ob sie sich über dem Punkte C weiter divergierend fortsetzen, erwähnt v. Charpentier nicht; wäre dies nicht der Fall, so läge hier eine offene einseitige Drehverwerfung vor.

Ein anderes Beispiel aus dem Freiburger Ganggebiete gibt R. Beck³⁾, bei welchem jedoch zum Unterschied von dem früheren der Nullpunkt C in der Tiefe liegt. Der Gang Peter Stehender wird von der unter 70° nach O. einfallenden flachen Kluft verworfen. In den oberen Teufen sind die so entstandenen beiden Abschnitte ziemlich weit von-

¹⁾ M. Kraus: Das staatliche Uranpfecherbergbaurevier, S. 36. Wien 1916. —

²⁾ Beobachtungen über die Lagerstätten der Erze, S. 165. — ³⁾ Lehre v. d. Erzlagerstätten, 2. Aufl., 1903, S. 162.

einander getrennt. Ihr Abstand von der flachen Kluft beträgt in der zweiten Gezeugstrecke 13 m, in der fünften bloß 11 m, in der siebenten nur noch 5 m und in der neunten ist er gleich Null (Drehpunkt C). Da keine Angaben über das Verhalten in noch größerer Tiefe vorliegen, so besteht auch hier derselbe Zweifel, wie im vorigen Beispiele.

F. Beyschlag¹⁾ konnte im Kamsdorfer Revier ebenfalls Drehbewegungen an den Verwerfern nachweisen. Lossen²⁾ erklärte die Harzer Gangspalten, die allermeisten Ruscheln und die spießbeckigen Faltenverwerfungen als Drehverwerfungen, in welchen jedoch E. Sueß³⁾ nur einen gewissen Grad der Ähnlichkeit mit den von Daubrée erzeugten Bündeln von Torsionsspalten sieht. Nach Lossen kam im Harz die Torsion überhaupt zur ausgedehnten Wirkung, die er einerseits durch einen NW.- und einen darauffolgenden SW.-Schub, andererseits mit Differenzen in der Oberfläche des die Schichten unterteufenden Granits erklärt. Die niederländischen (variscischen) Falten fallen nach NO. und ruhen auf einer schief nach NW. einsinkenden Granittreppe; die herzynischen Falten fallen nach NW. in die Tiefe und stehen auf einer nach NO. niederführenden Treppe. Daraus folgen Drehbewegungen oder, wo sie gehemmt sind, Drehspannung und zwar im horizontalen und vertikalen Sinn, also Spiraldrehung (Korkzieherfalte), welche nach rechts gewunden sein muß. Demgemäß müßte man am Harz einfache und spiralige Drehverwerfungen unterscheiden.

Der Villnößbruch in Tirol ist nach der Darstellung von E. v. Mojsisovich⁴⁾ ein zweiseitiger Drehverwurf, der im Wengenertal seinen Drehpunkt hat. Im westlichen Teile ist der Nordflügel, im östlichen dagegen der Südflügel gesenkt.

A. Tornquist beschreibt eine Drehverwerfung aus dem „vizentinischen Gebirge“ (Stuttgart 1901, S. 177) an Horizontalverwerfern.

Der Courler Sprung hat bei Courl in Westfalen 10 m, 4 km weiter nach NW. 600 m Sprunghöhe [P. Krusch⁵⁾], woraus sich der Drehwinkel mit 8° berechnet.

Die großen Verwerfungen Münsterergewand und Feldbiß in den beiden Aachener Steinkohlenbecken zeigen in ihrer streichenden Erstreckung oft in geringer Entfernung verschiedene Sprunghöhen; im allgemeinen nehmen diese gegen SO. zu.

Die Drehverwerfer wurden, wie es scheint, im belgisch-französischen Kohlenbecken zuerst näher beachtet⁶⁾.

Der Sevierbruch⁷⁾ in Utah hat bei Monroe 1000 m Sprunghöhe, welche gegen N. allmählich bis zu Null abnimmt und dann gegensinnlich

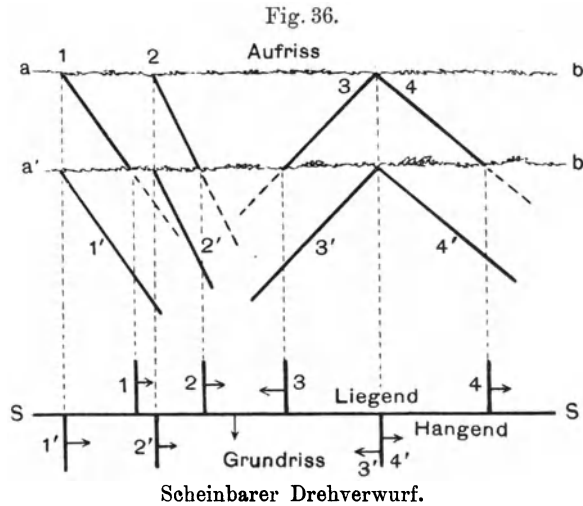
¹⁾ Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanst. f. 1888, S. 338. — ²⁾ Ebenda f. 1882, S. 1. — ³⁾ Antlitz der Erde 1, 161. — ⁴⁾ Dolomitriffe von Südtirol und Venetien, S. 293. Wien 1879. — ⁵⁾ Monatsber. Deutsch. geol. Ges. 1906, S. 25. — ⁶⁾ Beck: Lehre v. d. Erzlagerstätten. Berlin 1901. — ⁷⁾ Rep. on the Geol. of the High Plateaus of Utah 1880, p. 25.

nördlich weiterstreicht, d. h. der Sprung geht in einen Wechsel über, ist somit ein zweiseitiger Drehverwurf.

Die Größe der Drehung wird durch den Dreh- oder Torsionswinkel ausgedrückt, welcher aus dem Unterschied der Fallwinkel der beiden verworfenen Teile der Leitschicht leicht gefunden werden kann. Verflächt z. B. ein Kohlenflöz auf der einen Seite des Verwerfers mit 47° , auf der anderen mit 43° , so ist der Drehwinkel 4° . Der Winkel δ (Fig. 33 und 35), welchen die beiden Scharungslinien F und F' einschließen, ist nur dann annähernd der wahre Drehwinkel, wenn das Streichen der beiden Flügel der Leitschicht zu jenem des Verwerfers senkrecht stehen würde; der $\sphericalangle \delta$ ist sonst etwas kleiner als der wahre Torsionswinkel, weil der Verwerfer die beiden Flözflügel oder mindestens einen derselben schief schneidet. In den meisten Fällen weichen diese beiden Winkel voneinander nur wenig ab.

Scheinbare Drehbewegungen ergeben sich auch bei einem Verwurf von Spalten und Gängen mit widersinnlichem Einfallen. So

z. B. in Fig. 36, woselbst ab die ursprüngliche Oberfläche bzw. das Liegende des Verwerfers, $a'b'$ jedoch die jetzige Oberfläche bzw. das Hangende ist. Es sei angenommen, der Verwerfer sei ein Sprung, 1 rutschte nach $1'$, 2 nach $2'$ usf. nach der Fallinie von ab nach $a'b'$ herab. Auf diese Weise ergeben sich beim Gangbergbau oft recht komplizierte Grundrißbilder.



Doch auch beim Flözbergbau treten scheinbare Drehbewegungen auf, wenn die Schenkel einer Falte, die ja ebenfalls zueinander widersinnlich stehen, verschieden geneigt sind; es läßt sich dies leicht aus Fig. 36 entnehmen, wenn man die Gänge als Schenkel der linksseitigen Synkline und der rechtsseitigen Antikline ansieht.

Die Drehverwerfungen können bei Schurfbohrungen die Flözidentifizierung erschweren, da bei stärkerem Drehwinkel die Entfernungen der Flöze dies- und jenseits des Verwerfers infolge des Umstandes, daß die eine Scholle steiler als die andere steht, verschieden groß sind. Aus dem gleichen Grunde werden die Bohrungen in der steileren Scholle größere Flözmächtigkeiten geben, als in der flacheren.

Da diese Vergrößerungen der Mächtigkeiten gleichmäßig stattfinden, so läßt sich für die Drehung leicht ein konstantes Vergrößerungs- bzw. Verkleinerungsmaß finden.

Die Oberharzer Ruscheln¹⁾.

Darunter versteht man mächtige, übermäßig gequetschte und intensiv gefaltete Schieferschichten, welche in lauter krummschalige, von glänzenden Quetsch- und Gleitflächen begrenzte Fragmente zerfallen; eingelagerte Grauwackenbänke sind sehr häufig zerbrochen; die einzelnen Blöcke wurden geschleppt und in die verruschelten Schiefer hineingequetscht (Beushausen und Klockmann). Die Ruscheln sind älter als die Erzgänge. Der Begriff Ruschel wurde vor dem am Harz verschiedentlich angewendet; die voranstehende Definition entspricht der jetzigen Auffassung.

Die beiden Andreasberger Grenzzuscheln, welche sich unter einem Winkel von 30° schneiden, schließen die edlen Silbererzgänge mit den allbekannten Gangmineralien ein, während außerhalb des Ruschelwinkels Eisensteingänge mit untergeordneter Kupferführung aufsetzen, bis an die Ruscheln mit dieser Gangfüllung herantreten und dort abgeschnitten werden. Das Streichen der Gänge ist da wie dort herzynisch, das der Ruscheln jedoch nach Ost bzw. Nordost. Diese haben nicht bloß die Gänge abgeschnitten oder, richtiger gesagt, die Gänge schneiden sich an den Ruscheln ab, sondern sie haben auch die zwischen ihnen aufsteigenden Silberlösungen wasserdicht abgedämmt.

Die Anschauungen über die Entstehung der Ruscheln gehen im großen nur darin überein, daß sie Verwerfungen sind; doch über die Art derselben sind die Ansichten geteilt. E. Kayser erklärt die Andreasberger und Neufanger Ruschel als echte Sprünge und läßt die Natur der Edelleuter Ruschel unentschieden. Hingegen sagt Lossen, die Ruscheln seien aus Faltenverwerfungen und aus einem windschiefen Verbiegen bzw. Überbiegen schief gedrückter oder gedrehter Falten hervorgegangen; an anderer Stelle nennt er sie Torsionsverwerfungen. Auch als Horizontalverwerfungen wurden sie gedeutet. Klockmann sieht in ihnen Faltenwechsel.

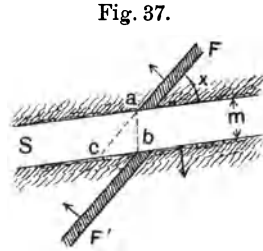
H. Thürich²⁾ beschreibt aus dem badensischen Schapach-Gneis Ruschelzonen paläozoischen Alters, welche Druckschieferung, neugebildeten Sillimanit und Turmalin zeigen.

Der Gangtonschiefer ist eine im Gang eingeschlossene Ver-ruschelung.

¹⁾ Die Literatur über die Ruscheln ist sehr reich; aus neuerer Zeit stammen: Lossen: Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanstalt f. 1881, S. 1. — E. Kayser: ebenda, S. 412. — Köhler: Glückauf 1894, S. 1615; Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1897, S. 217, 1902, Nr. 22. — Gebhard: Preuß. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1899, S. 168. — Hecker: ebenda 1903, S. 51. — Klockmann: Das Berg- u. Hüttenw. d. Oberharzes 1905, S. 19. — Beushausen: v. Koenens Festschrift 1907, S. 189. — ²⁾ Erläuterung z. Blatt Haslach, geol. Spezialkarte Badens, Nr. 93.

Scheinbare Verwerfungen.

Trennt eine mächtige Spalte zwei Schollen, so kann ohne Verwerfung eine solche vorgetäuscht werden, wenn sich die Spalte nur öffnete, um so mehr, je größer die Spaltenmächtigkeit ist; dies zeigt die nebenstehende Fig. 37, in welcher S die Spalte, F und F' die Leitschicht oder Lagerstätte ist, die geteilt wurde. Verlängert man F , so scheint cb die Verwurfsbreite zu sein; diese ist nicht bloß durch die Mächtigkeit m der Spalte, sondern auch durch den Winkel x bestimmt, welchen Leitschicht und Spalte einschließen.



Scheinbare Verwerfung.

Die Reihenfolge der Deformationen im Faltengebirge.

Aus den voranstehenden Erläuterungen ergibt sich für die Faltengebirge nachstehende Reihenfolge der Störungen, welche nicht überall im gleichen Maße entwickelt ist.

- I. Vor der Faltung oder zu Beginn derselben:
 - Präzedente Längswechsel und (?) Horizontalverwürfe.
- II. Faltung, begleitet von
 1. Längswechseln,
 2. Horizontalverwerfern,
 3. Faltenwechseln,
 4. Längs- und Querbrüchen in den Antiklinen.
- III. Nach der Faltung:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Posthume Horizontalverwerfer 2. Sprünge 3. Querwechsel 	}	quer zu den Falten.
---	---	---------------------

Spätere Störungen fanden ein gefaltetes und mannigfach zerstückeltes Gebirge vor, weshalb sie anders wirken konnten und mußten als im ungestörten, um so mehr, als die Richtung des Zuges oder Schubes später häufig anders gerichtet war. Die Wirkung äußerte sich zum Teil in den bereits vorhandenen Störungen, teils traten neue Deformationen auf.

Bemerkenswert ist es, daß häufig nach der Faltung Zerrung eintrat, welche die Sprünge bedingte, so daß es naheliegend ist, anzunehmen, daß auch diese die Folge der Faltung sind. Dies läßt sich damit erklären, daß im Faltengebirge infolge des tangentialen Schubes auch eine longitudinale Zerrung auftreten muß. Denn wenn die Falte an ihren beiden Längsenden festgehalten und dazwischen

stetig mehr gehoben wird, so muß von den festen Enden ein Zug ausgehen. M. Kraus¹⁾ erklärt dies für die St. Joachimstaler Falten auf andere Weise. Als der Seitenschub nachließ, folgte die Eruption von Granit, Porphyr, Minette, wodurch im Untergrunde der gefalteten Schiefer u. dgl. ein Massendefekt entstand; der Aufwärtsbewegung folgte eine Abwärtsbewegung. Diese wurde begünstigt durch die infolge der Auffaltung der kristallinen Schiefer pro Flächeneinheit vergrößerten Masse, d. h. durch die dadurch erhöhte, von oben nach unten, also vertikal wirkende Druckkraft.

Fig. 38.



Rutschfläche mit Rutschstreifen und Rutschrinnen im Knollenkalk g_3 (Mitteldevon) von Hlubočep bei Prag; Horizontalverwurf, einem Längsbruch sehr nahe kommend; nach F. Wähler.

Diese Erklärung übersieht vorab, daß schon zu Beginn der Eruptionen für diese Spalten vorhanden waren, deren Entstehung zu erklären ist.

In Siegen folgte der präsideritischen Faltung (nach A. Denckmann) Zerrung (Bildung von Sprüngen, Staffelbrüchen u. dgl.), worauf die postkulkmische Faltung einsetzte, welche Schieferung, Wechsel- und Horizontalverwürfe bedingte. In der Tertiärzeit, oder vielleicht noch später, wirkten neuerdings Zugkräfte, welche zuerst W.—O., dann N.—S. streichende Verwerfungen erzeugten.

¹⁾ Das staatliche Uranpecherzbergrevier St. Joachimstal, S. 35, 1916.

Die Bewegungsrichtung der Verwerfungen

wird bestimmt mittels A. den Rutschstreifen und B. den Schlepungen.

A. Rutschflächen¹⁾.

Bei den Verwerfungen ist es von großer theoretischer und praktischer Bedeutung, Merkmale der Bewegungsrichtung zu finden; diese sind u. a. die Rutschstreifen (Gleitstriemen) auf den Verwerfern und Rutschflächen (Fig. 38). Die Streifen treten in verschiedener Form auf; auf ziemlich glatten Flächen sind es Rutschkritzer, das sind geradlinige, parallele Kritzer, als wären sie mit einem scharfen Grabstichel eingegraben worden; ihre Entfernung ist verschieden, meist 1 bis 2 mm. Werden die Kritzer breiter und tiefer, so nennt man sie Rutschrillen.

Fig. 39.



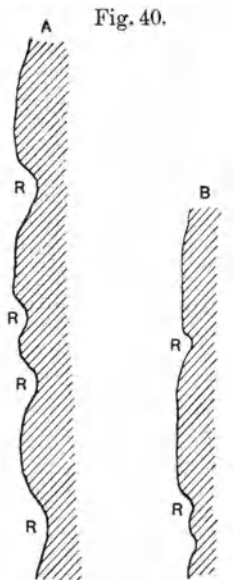
Rutschrillen im Tonschiefer von Andreasberg am Harz.
Geologische Sammlung der k. k. montanist. Hochschule Leoben.
¹/₂ natürliche Größe.

Seltener sind die Rutschrillen (Fig. 39), das sind parallele, rundliche, naheliegende Vertiefungen, als wären sie mit einem groben, rundlichen Meißel ausgehobelt. B. A. Wendeborn²⁾ beschreibt das Vorkommen von Rutschrillen eines im Quarzitsandstein bei Prätoria (Südafrika) auftretenden Verwerfers und gibt hiervon eine gute Abbildung. Die rinnenförmigen, parallelen Hohlkehlen, Rutschrinnen (Pošepny beschreibt sie von Raibl) (Fig. 40 a. f. S.), wie solche von Alb. Heim und Marie Jerosch im Säntisgebirge nachgewiesen wurden und dort zur Feststellung der Bewegungsrichtung bei den Verwerfern vorzügliche Dienste leisteten, besitzen parallel zu den meist flachen Rinnen sowohl in diesen, als auch in den dazwischen liegenden Wölbungen, Polituren mit feineren Rutschstreifen. Die Rutschrinnen treten im Säntis in den Rutschflächen gelegentlich und zwar vereinzelt oder scharenweise auf; sie lassen sich hier manchmal bis

¹⁾ Französisch: stries; englisch: striations, striae. — ²⁾ Zeitschr. f. prakt. Geol. 1897, S. 309.

auf 50 m Länge verfolgen; häufiger laufen sie nach kürzerer Entfernung flach aus (gütige Privatmitteilung des Herrn Prof. Alb. Heim). H. Gregory¹⁾ beschreibt Rutschrinnen von Curzes (Peru), welche den Diorithöcker Rodadero polierten und furchten; die meist parallelen Rinnen sind wenige Zoll bis 5 Fuß breit und 100 bis 300 Fuß (91 m) lang. Glazialwirkung ist ausgeschlossen.

Die Rutschstreifen lassen sich an den ebenen Salbändern einer Verwerfung oft auf größere Erstreckung verfolgen; sind diese Wände jedoch wellig, bucklig, so pflegen die Streifen nur auf einer Seite der Buckel, und zwar immer derselben, vorzukommen, nämlich auf der



Vertikalschnitte;
nach Alb. Heim.
R = Rutschrinnen (Hohl-
kehlen). A = stärkere,
B = schwächere.

Luvseite der Bewegung, so daß deren Richtung schon dadurch eindeutig markiert ist.

Es wird meines Wissens jetzt von fast allen Geologen angenommen, daß die Rutschstreifen durch das Aneinanderreiben der beiden bewegten Salbänder der Verwerfer entstanden sind; die Rauigkeiten dieser Wände rieben sich aneinander ab und härtere Gesteinsteilchen des einen Salbandes gruben sich in das andere ein, die Rutschstreifen erzeugend. Das Reibungsprodukt war feucht und ist infolge des Druckes und der Zeit verhärtet, manchmal sogar gefrittet; es bildete den Rutschbelag.

Auf manchen Rutschflächen findet man zwei, sehr selten mehr Systeme von Rutschstreifen, welche sich unter einem Winkel schneiden, ein Beweis, daß in der Spalte zweimal und zwar verschieden gerichtete Bewegungen stattfanden. Die Richtung der letzten Bewegung, welche die älteren Rutschstreifen zum Teil verwischte, ist am deutlichsten ausgeprägt. Es kommt vor, daß die erste Bewegung grobe Rutschstreifen erzeugte; das war gleichsam der Grobhobel. Die zweite zur ersten querweise Bewegung hobelte die vorgefundenen groben Streifen ab — es war dies der Feinhobel — und ebnete die Fläche ein, häufig sie auch glättend; man spricht dann von einem Spiegel oder Harnisch²⁾. Die Glätte ist besonders schön, wenn bei der Bewegung Schwefelkies, Bleiglanz u. dgl. mit in den Verwerfer eingezogen und bei der Bewegung feinstens zu einem Belag der Rutschfläche zerrieben und papierdünn ausgepreßt wurden. Dies zeigt deutlich, daß bei der Spiegelbildung der Belag, der ursprünglich nur Staub und ein vorzügliches Poliermittel war, eine wichtige Rolle spielt. Alb. Heim fand

¹⁾ Americ. Journ. of scienc. 187, 289, 1914. — ²⁾ Französisch: polis, surfaces polies; englisch: slickensides.

im Sántisgebirge (S. 245), daß „die spiegelnde Glättung“ an ein Zusammenwirken von Sprödem und Duktilem gebunden ist.

Ein Spiegel vom steierischen Erzberg, den das geologische Institut der k. k. montanistischen Hochschule in Leoben bewahrt, sei kurz beschrieben. Die Oberfläche eines Stückes Spateisenstein ist spiegelglatt und zeigt zarte, parallele Rutschkritzler; in der Spiegelfläche sind einige kleine und ganz seichte Grübchen, in welchen gröbere Rutschkritzler sichtbar sind, welche mit den feinen einen Winkel von etwa 45° einschließen.

Spiegel können auch durch fortschreitende und gleichzeitig drehende Bewegung und dadurch entstehen, daß beide Schollen in verschiedener Richtung an den geschlossenen Verwerfer verschoben wurden.

Insbesondere bei der Bewertung der feinen Rutschkritzler an Spiegeln ist Vorsicht geboten, da diese dadurch entstehen können, daß beim Herausziehen oder Abgleiten eines Spiegelstückes Kritzler gebildet werden können.

Rutschflächen finden sich auch in Quetschzonen; sie pflegen zwar häufig, doch von geringer Ausdehnung und zueinander wirr gestellt zu sein. Auch in überkippten Falten findet man ebenfalls Rutschflächen.

Im Bilde 38 (S. 56) fallen die Rutschstreifen und -rinnen mit der Schichtung zusammen; dasselbe beobachtete auch F. Mühlberg im Malmkalk bei Aarau (S. 61). Herrn Dr. M. Kraus verdanke ich die Mitteilung, daß im Kühngang zu St. Joachimstal (Böhmen) die annähernd horizontalen Rutschrillen der Schieferschichtung entsprechen. Diese auffallende Parallelität kann da wie dort Zufall sein, doch verdient sie weitere Beachtung. Es wäre möglich, daß infolge einer härteren, mächtigeren, konkordanten Gesteinsbank oder einer Gleitschicht ein schräger Schub zwangsläufig zur Schichtung parallel wird.

Die Lage der Rutschstreifen bestimmt man mittels des Handkompasses, nachdem man zuvor die des Verwerfers festlegte. Die Nordsüdkante des Kompasses hält man horizontal oberhalb, beim Überhang unterhalb eines Streifens, was durch vertikales Visieren auf Kante und Streifen möglich ist. Der Kompaß wird so gehalten, daß N. der Bodenplatte in der Richtung des Einfallens des Rutschstreifens liegt. Die Nordspitze der Magnetnadel zeigt die Einfallrichtung der Streifen. Den Fallwinkel bestimmt man mittels des Senkels durch unmittelbares Aufsetzen der Nordsüdkante des Kompasses auf einen Rutschstreifen. J. Blaas hat für diese Zwecke einen eigenen Klinokompaß konstruiert und im Jahrbuch der Wiener k. k. geologischen Reichsanstalt (Jahrg. 1903, S. 453) beschrieben; er empfiehlt, die Lage der Rutschstreifen mittels stereographischer Projektion darzustellen.

Da sich mittels des Kompasses der Fallwinkel der Rutschstreifen genauer als ihr Streichen abnehmen läßt, so kann dieses aus jenem gefunden werden mit Hilfe der Formel

$$\cos \beta = \frac{\operatorname{tg} \pi^1}{\operatorname{tg} \varphi},$$

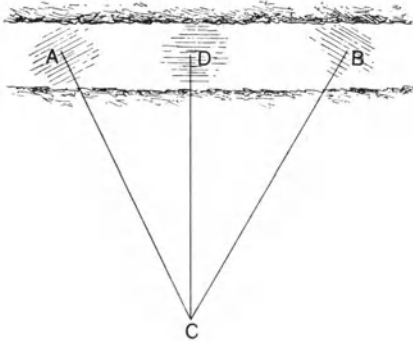
worin

$\sphericalangle \varphi$ = Fallwinkel des Verwerfers,

$\sphericalangle \pi$ = Fallwinkel der Rutschstreifen und

$\sphericalangle \beta$ = der Winkel ist, den die Richtung der Rutschstreifen mit jener des Fallens des Verwerfers (gleich dessen Streichen $\pm 90^\circ$) einschließt.

Fig. 41.



Rutschstreifen ADB einer Drehverwerfung.

Bei Drehbewegungen werden die Rutschstreifen eines Verwerfers, im großen aufgefaßt, kreisähnlich gestaltet sein, wie dies in Fig. 41 für einen kleinen Teil des Verwerfers zwischen A und B angedeutet ist. Errichtet man in A , D und B Normale zu den Rutschstreifen, so erhält man den Mittelpunkt C des Kreises, der Drehachse entsprechend. Wenn jedoch gleichzeitig ein Drehen und Fortschreiten durch Seitenschub stattfindet, so müssen die Rutschstreifen einer Zykloide entsprechen. Da in dieser die Bewegungsrichtung sich stetig ändert, so wird dadurch Spiegelbildung veranlaßt.

H. Stefan²⁾ hat die Rutschflächen des Adalbertihauptganges in den südlichsten Grubenaufschlüssen des Mariagrubenfeldes (Příbram) eingehend studiert. Außer der auf diesem Gange überall vorkommenden, namentlich im nordwestlichen Flügel vorherrschenden wagrechten Streifung, treten in letzterem nur selten und wohl meist auf Drehung einzelner, wenig ausgedehnter Gebirgsschollen zurückführbare Rillen mit südlicher, hingegen sehr häufig und weit verbreitet solche mit nördlicher Neigung bis zu 60° auf. Im S. herrscht, neben der mehr zurücktretenden wagrechten, durchaus unter einem Winkel von durchschnittlich 20° nach S. geneigte Streifung. Die durch Rutschflächen gekennzeichneten Klüfte durchsetzen häufig die jüngsten Kalkspatgänge; sie lassen daher nur einen Schluß auf jene Gebirgsbewegungen zu, die erst später, also bereits sehr lange Zeit nach der Bildung der Erzgänge stattfanden. Er erwähnt auch ein mit der Erzfüllung paralleles Blatt im Adalbertihauptgang, dessen Rutschstreifen 700 m südlich vom Marienschacht unter 20° gegen S. geneigt sind.

¹⁾ Die Ableitung dieser Formel gab ich für einen anderen Zweck und in etwas veränderter Form in meiner „Anleitung zum geologischen Beobachten“, S. 69. Braunschweig, Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn, 1915. — ²⁾ Österr. Zeitschrift f. Berg- u. Hüttenw. 1905, S. 599.

Die Rutschstreifen können auch durch eine nachfolgende Faltung der Schollen gebogen werden; ist es nicht der Fall, so ist dies ein Beweis, daß die Querspalte jünger als die Faltung ist; so z. B. streichen im Säntisgebirge die Rutschstreifen auf lange Erstreckung in den Querwerfungen gleichgerichtet weiter.

Die Rutschstreifen sind die verkörperten oder versteinerten Spuren der Bewegungsrichtung. Doch da jede Gerade nach zwei Richtungen weist, so ist durch genaueres Studium festzustellen, nach welcher Seite hin die Verschiebung stattgefunden hat. Daß dies mit Hilfe von Salbandhöckern geschehen kann, wurde bereits erörtert (S. 58). Ist der Verwerfer auf große Erstreckung abgeschlossen, so werden sich oft solche Höcker finden lassen. Doch im Bergbaubetrieb kommt es wiederholt vor, daß ein bisher unbekannter Verwerfer nur auf wenige Quadratmeter Fläche entblößt ist. Und eben in einem solchen Falle tritt an den Bergingenieur die schwierige und wichtige Aufgabe heran, die Bewegungsrichtung eindeutig zu bestimmen.

Ich¹⁾ habe bereits im Jahre 1881 darauf verwiesen, daß diese Richtung wie bei der Gletscherschrammung mittels des Gefühles der Hand festgestellt werden kann. Wäscht man die Rutschfläche sorgfältig rein und bewegt den Finger in der Richtung der Rutschstreifen, so fühlen sie sich nach einer Seite glatter als nach der anderen Richtung an. Die glattere Richtung ist die der Bewegung. Doch fand ich manchmal auch Verwerfungen, an welchen ich mittels des Gefühls keinen Unterschied entdecken konnte.

Alb. Heim erkennt die Bewegungsrichtung darin, daß die Rutschstreifen beim Beginn der Verschiebung leicht und beim Fortschreiten tiefer eingeritzt sind. E. Reyer²⁾ findet jedoch dieses Mittel oft trügerisch.

Bergingenieur Strobl in Littai (Krain) verfolgte in der Rutschfläche tiefere Schrammen, an deren Ende er manchmal ein hartes Korn fand, durch dessen Fortbewegung die Schramme entstanden ist. Auch F. Mühlberg³⁾ fand auf den Klüften des Malmkalkes des Zegli bei Aarau (Schweiz) an dem einen Ende der Rutschstreifen häufig einen härteren Körper, z. B. Schwefelkiesknöllchen, „eine Andeutung dafür, daß die Schleppung dieses Körpers die Ursache der Bildung der Furche ist“.

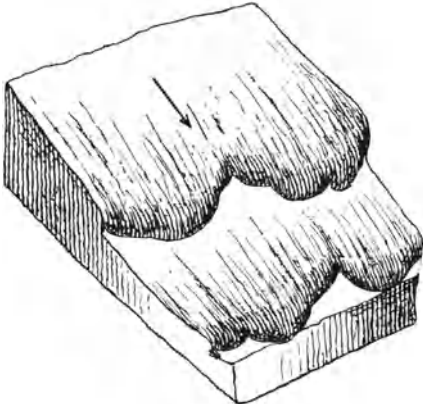
Ein eindeutiges Mittel zur Bestimmung der Bewegungsrichtung sind auch die Rutschlappen (Fig. 42 a. f. S.); der Rutschbelag erscheint manchmal stellenweise ausgewalkt und zeigt dort gelapptes Ende. Wird ein Teig ausgewalkt, so sind seine Ränder in der Rich-

¹⁾ Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 29, 349, 594, 1881; 34, 167, 1886. —

²⁾ Theoretische Geologie, S. 594. Stuttgart 1888. — ³⁾ Festschrift zur Eröffnung des neuen Kantonschulgebäudes in Aarau am 26. April 1896, S. 203.

tung der Bewegung der Walze ausgelappt; die konvexen Stellen der Lappen liegen in der Bewegungsrichtung, so auch bei den Rutschlappen. Das Lappende ist gegen seine Umgebung um wenig, oft nur um einen Bruchteil eines Millimeters, erhaben¹⁾, weshalb sich

Fig. 42.



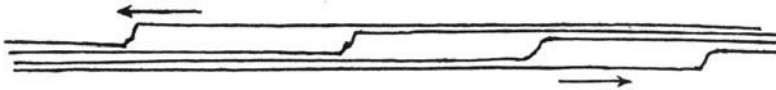
Rutschlappen.

dann die Rutschfläche entgegen der Bewegungsrichtung bei dem Lappen rau anfühlt.

F. Mühlberg²⁾ berichtet über Rutschstreifen und Rutschspiegel an den Klüften des schon erwähnten Malmkalkes, welche meistens parallel zu den Schichtfugen sind: „Häufig sind die Klüfte mit hellem Kalkspat ausgefüllt, der auf den an die gestreifte Kluft stoßenden Flächen naturgemäß den Abdruck der dortigen Rutschstreifen zeigt. Man darf als sicher annehmen, dieser Kalkspat habe sich erst nach-

träglich in der offen gebliebenen Kluft gebildet. Manchmal zeigen sich auch im Inneren des Kalkspates noch eine oder mehrere, mehr oder minder parallel den Streifen der Kluftwand gestreifte Flächen. Diese Erscheinung deutet darauf hin, daß die Verschiebung der Kluftwände in derselben Richtung sich mehrmals wiederholt hat, etwa wie folgende Fig. 43 zeigt“:

Fig. 43.



Berücksichtigt man in dieser Figur die Pfeile, welche jedenfalls die Bewegungsrichtung angeben sollen, so sind die kleinen Stufen nur als Rutschlappen des Kalkspates zu deuten; es ist die Frage, ob diese Kalkspatlamellen nicht ursprünglich feinstes Kalkgereibsel waren; das später in »hellen« Kalzit durch auf den Klüften zirkulierendes Wasser umgewandelt wurden.

Kennt man schon die Lage der beiden Stücke der verworfenen Leitschicht oder Lagerstätte, so ist damit die Frage der Richtung der Bewegung und die Art der Verwerfung an der Hand der Rutschstreifen sofort entschieden.

¹⁾ In der Fig. 42 ist die Lappendicke sehr stark gezeichnet. — ²⁾ Festschrift zur Eröffnung des neuen Kantonschulgebäudes in Aarau am 26. April 1896, S. 203.

Was den dynamischen Vorgang anbelangt, so sei an die Versuche A. Daubrées¹⁾ erinnert, welche ergaben, daß die den reibenden Steinen erteilte Geschwindigkeit und der auf sie ausgeübte Druck, um das Ritzen zu beginnen, im entgegengesetzten Sinn variieren. Ist die Geschwindigkeit 400 mal größer, so genügt zu derselben Wirkung ein Druck von nur $\frac{1}{33}$ des früheren. Die Rutschstreifen werden im Versuche Daubrées nicht durch Sand, sondern durch die Reibsteine erzeugt, welche sich während der Bewegung abnützen oder drehen, weshalb derselbe Streifen in der Fortsetzung verschwinden oder sich in seiner Form ändern kann.

Am Tage sind manchmal infolge der atmosphärischen Einflüsse die Rutschstreifen verschwunden, doch beweist die glatte Wand das Vorhandensein des Verwerfers, der Rutschfläche. Die Streifen sind gewöhnlich am besten an überhängenden Wänden und an Bächen aufgeschlossen und erhalten; letztere bewirken bei Hochwasser neue Aufschlüsse infolge der Unterwaschung.

Die Rutschflächen und ihre Streifen fielen den Bergleuten und Geologen schon seit langer Zeit als eine besondere Erscheinung auf, die hier und da auch genetisch richtig gedeutet wurde. Besonders die mit Erzen beschlagenen Spiegel findet man schon in den ältesten bergmännischen Schriften erwähnt. Joh. Christ. Schmidt²⁾ hat 1827 auf einer Hauptklüftfläche ältere und jüngere sich kreuzende Rutschstreifen beobachtet. K. C. v. Leonhard³⁾ hat schon 1837 die Rutschflächen als durch die Verschiebung zweier Felsmassen richtig gedeutet und nach ihm auch andere Geologen, welche sich mit dieser Frage beschäftigten. Unverständlich ist die Erklärung v. Koenens⁴⁾, daß die Rutschflächen im Buntsandstein Marburgs durch eine Gangausfüllung mit Kieselsäure entstanden sind, wogegen R. Brauns⁵⁾ auch auf Grund der mikroskopischen Untersuchung des Dünnschliffes dieses Quarzes die bereits von v. Leonhard gegebene Theorie verteidigte. Auch Mohs⁶⁾ waren die Rutschflächen mit horizontal bis vertikal gerichteten Streifen bekannt; doch konnte er sie nicht richtig deuten. Graff⁷⁾ fand 1841 horizontale Rutschstreifen bei La Gardette (Isère, Frankreich), die er, von der Schmidtschen Abgleittheorie befangen, damit erklärte, daß er eine nachträgliche Drehung der Gebirgsmassen um 90° annahm. Auf das Vorkommen der Rutschflächen und -streifen im Klausthaler Gangrevier machte Fr. Ad. Römer⁸⁾ 1844 aufmerksam und bemerkt: „Die Streifen (in den tauben Spalten) nähern sich meist dem Horizontalen und es scheinen daher die von ihnen abgesonderten Gebirgsstücke

¹⁾ Synthetische Studien zur Experimentalgeologie, S. 217. Deutsch von A. Gurlt. Braunschweig 1880. — ²⁾ Beiträge zur Lehre von den Gängen. Siegen 1827. — ³⁾ Neues Jahrbuch für Mineralogie 1837. — ⁴⁾ Ebenda 1890, I, S. 289. — ⁵⁾ Ebenda 1890, II, S. 190. — ⁶⁾ Die ersten Begriffe der Mineralogie u. Geognosie, S. 104. Wien 1842. — ⁷⁾ Neues Jahrbuch für Mineralogie 1841, S. 483. — ⁸⁾ Ebenda 1844, S. 56.

häufiger nebeneinander hin-, als aufeinander heraufgeschoben zu sein; auch in den Gängen und ihnen entlang kommen sie vor.“ Dies ist gegenüber Graff ein bedeutender Fortschritt, der jedoch weiterhin keine Beachtung fand, obzwar bald danach (1846) auch W. Fuchs¹⁾ auf einem Spiegel im Hodritscher Gangrevier bei Schemnitz Rutschstreifen fand, welche die Fallinie unter einem spitzen Winkel schnitten und deshalb eine Gleitung „niemals rechtwinkelig auf das Streichen stattgefunden haben kann“. Zeller und Henry²⁾ bestätigten dies vom Coloredogang daselbst 1873; 1881 fand Höfer³⁾ im gleichen Revier fast sählig liegende Rutschstreifen und Grätzmacher⁴⁾ wies das häufige Vorkommen fast horizontaler Rutschstreifen im Schemnitzer Ganggebiet nach. Auch de la Beche⁵⁾ weist auf die „Reibungsstriche“ hin, sieht darin die Wirkung eines ungeheuren Druckes und bemerkt, daß die Bewegung nicht immer in Übereinstimmung mit dem Fallen des Verwerfers steht. A. Escher von der Linth⁶⁾ machte 1857 auf die zum Teil polierten Querbrüche der Alpen aufmerksam, welche er als horizontal verlaufende Rutschflächen deutete. Eschers Beobachtung erwähnt auch Murchison⁷⁾ und betonte die große tektonische Bedeutung der Horizontalverwerfer. F. Pošepny⁸⁾ wies auf die zur Fallrichtung der Spalte schiefe Richtung von Rutschrinnen hin, ein Beweis, daß die Bewegung des Verwerfers nicht immer nach der Fallinie stattfand. An den Blättern (taube, geschlossene Klüfte) im Raibler Erzgebiet fand er unter dem ganz deutlichen, offenbar jüngsten Rinnensystem mehr oder weniger stark verstrichene, anders gerichtete Rinnen, was er ganz richtig dahin deutet, „daß verschiedene Bewegungen aufeinander folgten“. Später — nach 1881 — häuften sich die Angaben über Rutschflächen; Neubert⁹⁾ erwähnt sie von Freiberg (1887), Babanek¹⁰⁾ von Joachimstal, Nemeček¹¹⁾ und Stefan¹²⁾ von Příbram, Beyschlag¹³⁾ von Kamsdorf (1888) usw.

Trotz den erwähnten älteren Beobachtungen über die wagrechte und schiefe Lage der Rutschstreifen finden wir in den Lehrbüchern der Geologie einschließlich der Lagerstättenlehre, der Bergbau- und Markscheidekunde der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts nur die zwei althergebrachten Arten der Verwerfungen — Sprünge und Wechsel — erläutert, welche parallele Verschiebungen längs der Fallinie voraussetzen, obzwar die Bewegungsspuren, die Rutschstreifen, dieser Voraus-

¹⁾ Beiträge zur Lehre von den Erzlagerstätten, Wien 1846, S. 61 bis 63, 75. — ²⁾ Ann. d. mines 1873, 7. sér., T. III, p. 144. — ³⁾ Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 34, 164, 1886. — ⁴⁾ Berg- u. hüttenm. Jahrb. 37, S. 207, 1889. — ⁵⁾ Der geologische Beobachter, S. 579. Deutsch von E. Dieffenbach. Braunschweig 1852. — ⁶⁾ E. Sueß, Antlitz der Erde 1, 153. — ⁷⁾ Quart. Journ. London 5, 1848. — ⁸⁾ Berg- u. hüttenm. Jahrb. 1874, S. 250. — ⁹⁾ Jahrb. f. Berg- u. Hüttenw. in Sachsen f. 1881, S. 56. — ¹⁰⁾ Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1884, S. 22. — ¹¹⁾ Ebenda 1891, S. 550. — ¹²⁾ Ebenda 1905, S. 599. — ¹³⁾ Jahrb. d. Preuß. geolog. Landesanst. 1888, S. 357.

setzung verschiedenen Orts widersprachen. Sie wurden als seltene Ausnahmen erklärt und damit totgeschwiegen.

Meine Studien an den Gletscherschliffen in Kärnten ¹⁾ nötigten mich zur Bestimmung der Bewegungsrichtung des diluvialen Draugletschers; da mir ähnliche Schriffe von Verwerfern bekannt waren, so wurde ich von jenen zu diesen gelenkt, um so mehr, um Unterschiede zwischen beiden zu finden, um Verwechslungen und Irrungen vorzubeugen. So begann ich, den Rutschstreifen der Verwerfer mein Interesse zuzuwenden, und im Jahre 1881 ²⁾ konnte ich bereits sagen: „Wir würden in das ganze Wesen der Verwerfungserscheinungen bald einen klareren Einblick gewinnen, wenn man die räumliche Lage der Rutschstreifen sorgsam beobachten und kartieren würde; abgesehen von dem praktischen Nutzen, würde hierdurch ein sehr beachtenswertes Material zur Lösung der Frage über den Mechanismus der Gebirgsbildung geliefert.“ In derselben kleinen Arbeit wandte ich mich gegen die damals übliche Verallgemeinerung der Schmidt-Zimmermannschen Regel und verwies auf die Drehbewegung bei manchen Verwerfern; ich gab auch neue markscheiderische Konstruktionen zur Ausrichtung der Verwerfungen. Trotzdem diese Arbeit in das Französische ³⁾ und Englische ⁴⁾ übersetzt wurde, fand sie, insbesondere bei den Geotektonikern, wenig oder keine Beachtung, obzwar die tektonischen Vorgänge bei der Bildung und Umbildung eines Gebirges nur vollständig klargelegt werden können, wenn nicht allein die Falten, sondern auch die Verwerfer mit ihren Rutschstreifen eingehend studiert werden.

Zu derselben Überzeugung kam 1910 auch W. Bornhardt, welcher in seinem mustergültigen Werk: „Über die Gangverhältnisse des Siegerlandes und seiner Umgebung“ [1. Teil, S. 126] ⁵⁾ schreibt: „Man solle in erster Linie die Entstehung der Störungen zu ergründen suchen, indem man den Rutschstreifen, den Schichtenumbiegungen und der Verschleppung von Gangbruchstücken die gebührende Aufmerksamkeit zuwende. Die Regel der Wiederausrichtung eines Ganges werde sich dann, wenn das Wesen der Störung erst einmal erkannt worden sei, ganz von selbst ergeben.“

Ein anderes geradezu klassisches Beispiel ist die von Alb. Heim ⁶⁾ veröffentlichte herrliche Monographie des Säntisgebirges, in welchem er und Marie Jerosch die Verwerfungen eingehendst und vorbildlich studierte und beschrieb. W. Salomon ⁷⁾, J. G. Lind ⁸⁾,

¹⁾ Höfer: Die Eiszeit in Mittelkärnten. Neues Jahrb. f. Min. 1873, S. 128. — ²⁾ Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 29, 349, 1881. — ³⁾ A. de Vaux: La théorie des dérangements géologiques; Rev. univers. d. mines 10, 149. — ⁴⁾ Dr. R. W. Raymond: Hoefers methode of determing faults in mineral veins. Transact. Amer. Inst. of Mining Eng. 5, 456; Eng. and Mining Journ. 32. — ⁵⁾ Arch. f. Lagerstättenforschung, Nr. 2. Berlin 1910. — ⁶⁾ Das Säntisgebirge 1915, S. 125. — ⁷⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges., S. 436, 1911. — ⁸⁾ Verhandl. naturw.-mediz. Ver. Heidelberg, N. F., 11, 1910.

J. Dinn¹⁾ und B. Engstler²⁾ haben durch die Beobachtung horizontaler Rutschstreifen an einigen Verwerfungen des Rheingrabens ein neues Moment in die umstrittene Entstehung desselben gebracht. S. Blaas³⁾ sagt 1903: „Durch die genaue Bestimmung ihrer (der Rutschstreifen) Lage erhält man überraschend klare Bilder der Bewegungserscheinungen. Ich habe in unseren Alpen daraus von der Art der Bewegungen Vorstellungen gewonnen, die bloß aus der Lagerung nicht abzuleiten waren.“ Doch den meisten Geotektonikern, welche mit Vorliebe nur „in großen Zügen“ zu arbeiten pflegen, schienen und scheinen derartige Detailstudien nebensächlich zu sein.

In einer späteren Arbeit⁴⁾ setzte ich meine Studien über die Rutschstreifen fort, die ich in den Alpen häufig in horizontaler Lage fand, weshalb ich den Sprüngen und Wechseln ergänzend die Seitenverschiebungen oder Horizontalverwerfungen hinzufügte. Als ein Beispiel aus meinen vielen Beobachtungen in den Alpen erwähnte ich den uralten Erzbergbau Oberzeiring bei Judenburg (Steiermark), in welchem ich mehr als 100 Horizontalverwürfe und nur drei kurz entblößte Flächen mit annähernd im Verflachen liegenden Rutschstreifen fand. Ich gab ferner mehrere Beispiele von gleichsinnischen Seitenverschiebungen aus den Alpen, Westharz und von Chañarcillo (Chile), ein neues Verwerfungsgesetz bildend, das in manchen Bergbaugebieten auch praktisch von großer Bedeutung für die Ausrichtung verworfener Lagerstätten ist.

Meine fortgesetzten Beobachtungen lehrten mich, daß die Verschiebung der Verwerfer nach allen Richtungen erfolgt sein kann, weshalb ich genötigt war, in meinen Vorlesungen auch noch die schrägen (diagonalen) Verwerfungen aufzunehmen.

Nur die Rutschstreifen gestatten einen klaren Einblick in das Wesen der Verwerfungen, welche geometrisch sich nur als Sprung oder Wechsel darstellen, weshalb man sich durch lange Zeit, insbesondere vonseiten der Markscheider, mit dieser Zweiteilung begnügte.

Es gibt Zertrümmerungen der Gesteine, in welchen die einzelnen Stücke auf allen Seiten glatte Flächen mit Rutschstreifen haben. Manchmal zeigen letztere parallele Lage, der ursprünglichen Spalte entsprechend, bei deren Bildung das unmittelbare Nebengestein zertrümmert und zerquetscht wurde. Die einzelnen Stücke haben sich unter hohem Druck gegenseitig gerieben, verschoben, geglättet und geschrammt. Dieselbe Erscheinung tritt auch in einer Quetschzone auf.

Alb. Heim⁵⁾ hat zuerst auf Rutschflächen im gefalteten Gebirge aufmerksam gemacht, welche mit Schichtflächen zusammenfallen und bei welchen die Rutschstreifen in der Richtung der Fallinie liegen.

¹⁾ Verhandl. naturw.-mediz. Ver. Heidelberg, N. F., 11, 238. — ²⁾ Ebenda 12, 370. — ³⁾ Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst. Wien 53, 453, 1903. — ⁴⁾ Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 34, 167, 1886. — ⁵⁾ Mechanismus der Gebirgsbildung II, S. 25. Basel 1878.

Durch den Seitenschub wurde die eine Schichtenbank über die darunter liegende wechselartig geschoben, das Schichtenpaket wurde „nicht als mechanische Einheit“, sondern geteilt, bankweise bewegt¹⁾.

B. Schleppungen.

Die Schichten des Nebengesteins sind öfter neben dem Verwerfer infolge der Bewegung verbogen, geschleppt (Fig. 44). Die Richtung der Umbüge in der Hangend- und Liegendsholle gibt im Rohen die Bewegungsrichtung an, wobei die Lage der vom Verwurf weiter abwärts liegenden, durch ihn unbeeinflussten Schichten zu berücksichtigen ist. Wohin der Umbug der Schichten in der Liegendsholle weist, dorthin wurde die Hangendsholle verschoben.

Eine andere Schleppungserscheinung sind die kleinen Klemmstücke (Alb. Heim), welche von einem Salband des Verwerfers losgerissen und mitverschoben wurden. Aus dem petrographischen Charakter der Klemmstücke kann deren Herkunft ermittelt werden, wenn dieser von der jetzigen Nachbarschaft abweicht.

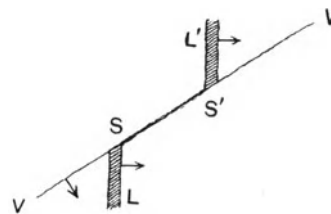
Hierher gehören auch die Erz- und Kohlenpiegel SS' (Fig. 45), das feinste Gereibsel des Materiales der Lagerstätte, welche verworfen wurde. Diese gestatten ebenfalls nur eine allgemeine, rohe Orientierung der Bewegung, etwa ob nach rechts oder links die Hangendsholle verschoben wurde, die jedoch zur Ausrichtung genügt. Eine genauere Bestimmung wäre nur möglich, wenn die Erzlagerstätte an einer bekannten Stelle mineralogisch ganz eigenartig, von dem übrigen abweichend entwickelt wäre, wenn z. B. eine Kieslagerstätte einen kleinen Butzen Bleiglanz eingelagert hätte, der einen Bleistreifen an der Rutschfläche in der Bewegungsrichtung erzeugte.

Fig. 44.



Schichtenschleppung längs des Verwerfers VV.

Fig. 45.

 SS' Spiegelbildung durch Schleppung.

Zusammenvorkommen mehrerer Verwerfungen.

Die Verwerfungen eines Gebietes können nahezu parallel, strahlenförmig oder sich kreuzend angeordnet sein. Sie sind gleichen oder verschiedenen Alters.

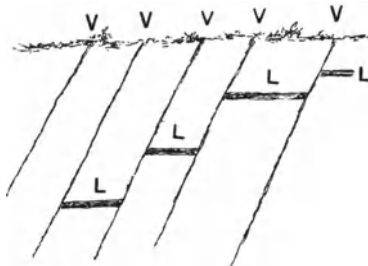
¹⁾ Nach gütiger Mitteilung des Herrn k. k. Bergrates Neuburger treten auch in Bleiberg (Kärnten) derartige Rutschflächen in Schichtflächen auf.

Verwurfzone.

Sind die Verwerfer nahezu parallel, so heißt man dies eine Verwurfzone oder einen Verwerferzug, eine ziemlich häufige Erscheinung, welche man sowohl bei geschlossenen und offenen Verwerfern, als auch bei den ausgefüllten (Gängen) begegnet. Alle oder fast alle größeren Verwürfe sind eigentlich Verwerferzüge. Die einzelnen durch die Verwerfer begrenzten Schollen haben im großen ganzen oft sehr ähnliche Bewegungen erlitten, doch im Detail zeigt auch jede einzelne eine gewisse Selbständigkeit.

In der Verwurfzone pflegt ein Verwerfer, der Hauptverwerfer, als größte Störung aufzutreten, welcher häufig mit seinen Parallelen (Begleit- oder Nebenverwerfern) durch spitzwinkelig abzweigende Spalten verbunden ist. Das Gestein ist innerhalb eines solchen Zuges manchmal sehr verbogen, zerquetscht, verruschelt, was besonders bei Wechseln häufiger auftritt; man spricht dann von einer Störungszone¹⁾, innerhalb welcher die Lagerstätten nutzbarer Mineralien so zertrümmert sind, daß sie unbauwürdig werden. Der Verwerferzug ist durch Randverwerfer (Randspalten) begrenzt. Pošepny wies darauf hin, daß die meisten gangförmigen Erzvorkommen die Linien größter Störung bezeichnen. Der in der Erzlagerstättenlehre oft genannte kalifornische, über 100 km lange Goldquarzgang Mother lode entspricht nicht einer Spalte, sondern einer Verwurfzone. Der Lavantaler Verwurf ist ebenfalls eine Zone, welche ganz Kärnten in NNW.-Richtung durchschneidet, welche ich bis nach Oberzeiring (Steiermark) verfolgte und durch Verwerfer, die in St. Stefan auch in der Grube aufgeschlossen sind, durch Erzgänge, Säuerlinge und einen Basaltberg markiert fand.

Fig. 46.



Staffelbruch.

V = Verwerfer, L = Leitschicht.

Die relative Bewegung der einzelnen Schollen kann sich im Verwerferzug verschieden gruppieren, und zwar zum einfachen Staffelbruch, zum Horst oder zum Graben.

Staffelbrüche.

Einen Staffelbruch zeigt die nebenstehende Abbildung (Fig. 46); innerhalb einer Verwurfzone ist nach einer bestimmten Richtung hin jede Scholle gleichsinnig tiefer abgesunken;

hier und da kommt es vor, daß eine der gesunkenen Schollen in der Bewegung zurückblieb (rückläufige Staffel) und dadurch den Eindruck erzeugt, sie sei gehoben worden.

¹⁾ Diese Bezeichnung wird manchmal mit Verwurfzone gleichbedeutend angewendet, doch empfiehlt sich obige Beschränkung.

Die Staffelbrüche sind verhältnismäßig häufig; sie treten sowohl im Schollen- als auch im Faltengebirge auf. Bergmännisch sind die typischen Staffelbrüche des Döhlener Kohlenbeckens (Sachsen) schon lange bekannt. Wäre die Schmidtsche Sprungregel in der Tat allgemein gültig, so wären auch die Staffelbrüche bei Parallelität der Spalten die Regel.

Es sind ganz besonders die Verwurfzonen, welche den Charakter des Antlitzes der Erde beeinflussen; in Europa ist eine der bedeutendsten jene, welche Karpinsky-E. Sueß¹⁾, v. Koenen²⁾ feststellten, welche sich von Osnabrück über den nördlichen Harzrand, längs des Riesengebirges, in die Gegend von Krakau und bis zum Kaspischen Meer erstreckt, das ist eine Länge von 4700 km. — In Norwegen, wo die Richtung der Wasserläufe von den Verwerfern oft bestimmt wird, sinken die einzelnen Bruchschollen gegen die Küste staffelförmig ab, worauf bereits Kjerulf hinwies; dasselbe ist im Gebiet der Adria häufig der Fall. Die schwäbisch-fränkische Staffellandschaft ist als solche schon lange bekannt. E. Reyer wies nach, daß auch in der Sierra Nevada ein stufenweises Absinken der Schollen gegen das westlich vorliegende Bruchfeld erfolgte. Nach F. v. Richthofen sinken in Nordostchina die einzelnen Schollen infolge Zerrung staffelförmig ab. W. Volz³⁾ weist auf die Ähnlichkeit der Ausbildung an den Osträndern des Stillen wie des Indischen Ozeans an der asiatischen und afrikanischen Küste hin und erklärt diese ganze Staffelbildung mit den tiefen Grabeneinsenkungen als Folge der steten Hebung des Kontinents und dauernden Absinkung des Ozeans. Die entstehenden Zerrungsbrüche sind die natürliche Folgeerscheinung dieses Vorganges, ihre Ursache der isostatische Ausgleich.

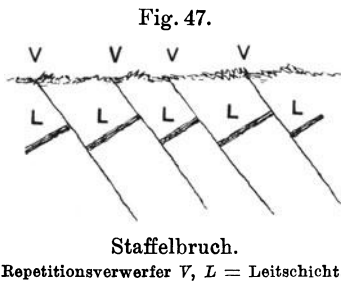
A. Philippson schildert im Schlußheft seiner „Reisen und Forschungen im westlichen Kleinasien“⁴⁾ den Bau des Landes südlich des Mäander: Unabhängig von dem Faltenbau der Gesteinszonen wird das Land von Staffelbrüchen durchsetzt, die parallel zur Küste (bogenförmig nach SO.) streichen; an diesen sinkt das Gebirgsland stufenförmig gegen die Küste ab, jedoch so, daß entlang jedem Staffbruch noch besondere Einbrüche, zum Teil mit Neogenschollen, sich einsenken, während jede Stufe wieder gegen die Küste in sich zu größeren Höhen ansteigt. Die letzte derartige Staffel bildet die Inselkette der Sporaden und den dahinter liegenden Meeresarm. Diese Struktur erinnert im Kleinen an den von v. Richthofen geschilderten Bau Ostasiens. Nur an der Küste kreuzen sich damit ostwestliche Grabenbrüche⁵⁾, die weiter nordwärts auch das Innere beherrschen; aus dieser Kreuzung ergibt sich die ungemein starke Gliederung der Karischen Küste. Auch an der Ionischen Küste lassen sich die Staffelsenken bis zum Ida verfolgen, hier aber untergeordnet gegenüber den W.—O.—Brüchen. Eine großartige Staffellandschaft ist besonders Süd-

¹⁾ Antlitz der Erde 1, Taf. V. — ²⁾ Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanst. 1885, S. 82. — ³⁾ Petermanns geogr. Mitteil. 60, 174, 1914. — ⁴⁾ Gotha 1915. — ⁵⁾ Also ein Schollengebirge. Höfer.

china, wo nach W. Volz¹⁾ die östlichen Staffeln selbst noch im Meere abgesunken sind, so daß der Höhenunterschied zwischen Tibet und der Tuscaroratiefe nahezu 50 km beträgt.

Zu den Staffelbrüchen gehören auch die Repetitionsverwürfe (A. Heim und E. de Margerie), auf die schon C. Naumann²⁾ als „Repetition“ aufmerksam machte, und wovon ein Fall in Fig. 47 skizziert ist. Sie können leicht zu Täuschungen führen, da es den Anschein hat, als ob eine Reihe konkordanter Schichten vorhanden wäre; dieser Irrtum wird durch die regelmäßige Wiederholung derselben Schichten-Gruppe und durch das Vorhandensein der nicht immer deutlichen Verwerfer VV behoben. Die überkippte und abradierte Faltung bringt eine ähnliche Erscheinung hervor, die jedoch durch eine andere Reihenfolge der Schichten unterschieden werden kann; sie ist hier 1 2 3 4, 3 2 1, 2 3 4, bei der Repetitionsverwerfung jedoch 1 2 3 4, 1 2 3 4.

Hiermit ist geometrisch, wenn auch genetisch ganz verschieden, die sogenannte Schuppenstruktur verwandt, bedingt durch die Repe-



tition von meist flachen, naheliegenden Wechslern, wobei die obere, tektonisch jüngere Scholle die darunter liegende schuppenförmig überdeckt. Es wurde bereits auf S. 31 auf den Schuppenbau der nördlichen Kalkalpen hingewiesen, der sich von der Wiener Bucht bis zum Thuner See (Schweiz) verfolgen läßt, und welche wir als die große nordalpine Überschiebungszone, die sich örtlich

als Schuppung entwickelt, bezeichneten. Auch im vorliegenden Flyschzug begegnet man vom Wiener Wald bis nach Oberbayern häufig Schuppenstruktur. Da wie dort verflachen die Wechsel gegen S. oder SO. Mit den Flyschschuppen nähern wir uns dem Nordende der alpinen Faltung.

Die Schuppenstruktur zeigt manchmal einen recht verwickelten Bau; innerhalb der größten Wechsel (1. Ordnung), welche in Schottland bis zu 50 km verschieben können, finden sich große Wechsel (2. Ordnung), welche kleinere Schollen überschieben, während die kleinen Wechsel (3. Ordnung) die großen Schollen neuerdings zerlegen und überschieben. Die Wechsel aller Art sind hier nahezu parallel.

Im westfälischen Kohlengebirge treten Wechsel, zu einem Wechselzug oder einer Wechselzone gruppiert, häufig nebeneinander auf, oder was dasselbe ist, eine solche Überschiebung besteht aus mehreren parallelen Wechslern. Nicht selten findet man auf dem Südflügel eines Sattels mehrere Wechsel³⁾, also Schuppenbau.

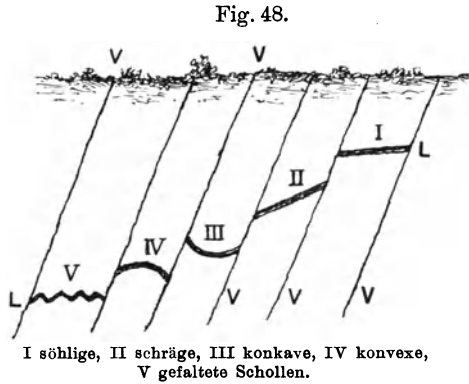
Je nach der Lage der Schollen bzw. der eingeschlossenen Leitschicht unterscheiden wir, ähnlich wie O. Wilckens, söhlig (in

¹⁾ Mittel. d. F. v. Richthofen-Tages 1913. Berlin 1914. — ²⁾ Geognosie, 2. Aufl., 1, 930. — ³⁾ Krusch, Erläuterungen zum Blatt Dortmund, 1909, S. 70.

Fig. 48, I), schräge (II), konkave (III), konvexe (IV) und gefaltete (V) Schollen.

Alb. Heim¹⁾ erklärt die Staffelbrüche und Grabenversenkungen des Säntisostendes aus der unregelmäßigen Unterlage der Säntisüberfaltung. Diese Erklärung kann auch auf Überschubdecken übertragen werden.

Die Staffelbrüche sind gewöhnlich die Folge von Absinkungen durch Einsturz oder durch Zerrung, also von Sprüngen; doch kann ein ähnliches Bild bei schräger Schichtenlage auch durch Seitenschub, durch Horizontalverwerfer entstehen, wenn dieselben gleichsinnig sind, d. h. stets nach derselben Richtung erfolgen; es bildet sich ein



Seitlicher Staffelbruch.

Dabei kann man rechts- und linksseitige Brüche unterscheiden. Geht man streichend in einer Leitschicht oder Lagerstätte L, so liegt

Fig. 49.

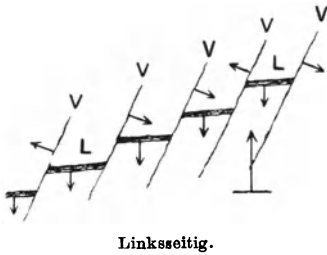
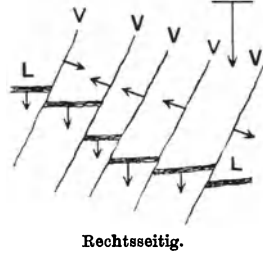


Fig. 50.



Seitliche
Staffelbrüche.

bei der Anfahrung der Verwerfer V, deren Verflächungsrichtung verschieden sein kann, das verworfene Stück stets links (Fig. 49) oder stets rechts (Fig. 50), von welcher Seite man immerhin kommt.

Diese Art Staffelbrüche läßt sich geometrisch häufig als durch Sprünge erzeugt deuten; genetisch lehren jedoch die Rutschstreifen das Irrige dieser Auffassung. Diese seitlichen Staffelbrüche entstanden meist dadurch, daß an einer Seite der Druck größer als an der anderen war, wie dies in den Abbildungen durch größere Pfeile angedeutet ist, oder daß der Widerstand der Bewegung einseitig verschieden war. Die Erkenntnis der gleichsinnigen Verwürfe, welche, wie an einzelnen Beispielen gezeigt werden soll, durchaus nicht selten sind, hat nicht bloß wissenschaftliches Interesse, da damit die Mechanik

¹⁾ Säntisgebirge 1905, S. 608.

der Störung klargelegt werden kann, sondern hat auch großen praktischen Wert bei der Ausrichtung der Verwerfungen. Wenn der Bergmann eine Verwerfung „ausrichten“, d. h. das verworfene Stück (Trumm) wieder auffinden soll, so ist diese Aufgabe bei gleichsinnischen Verwerfungen leicht und sicher zu lösen; bei einer rechtsseitigen Verwerfung durchbricht man den Verwerfer, wendet sich dann nach rechts und wird das verworfene Trumm gewiß anfahren. Wieviel Zeit und Geld würde vergeudet, wenn der Bergmann in diesem Falle nach links ginge.

In den südlichen Kalkalpen treten im Bergbau Bleiberg-Kreuth (Kärnten) im erzführenden Wettersteinkalk Verwerfungen auf, die nach 2 bis 4^h streichen und deren jede von glatten, mit ganz oder nahezu horizontalen Rutschstreifen versehenen Blättern begrenzt ist,

Fig. 51.



Rechtsseitiger Staffelbruch aus dem Toten Gebirge (nördliche Kalkalpen);
nach G. Geyer.

welche stellenweise bis 1 m starken, verruschelten, brecciösen Kalk einschließen. Diese Verwerfungen sind in dem nördlich vorliegenden Kalkzug des Bleiberges übertags deutlich sichtbar, während in der südlich vorliegenden Kalkmasse der Villacher Alpe (Dobratsch) nur die bedeutenderen überzutreten scheinen.

Südlich von den Erzlagerstätten lassen sich die Verwerfungen manchmal nur bis zum Mergelschieferzug (Cardita-Schichten) verfolgen und treten darin als Schleppungen auf, deren Schublänge oft größer als jene der Verwerfer bei den Erzlagerstätten ist, doch können sie auch den Schieferzug durchsetzen.

Bleiberg liegt in einem von O.—W. streichenden Längstal, innerhalb welchem eine Wasserscheide gegen Kreuth beim Rudolfschacht vorhanden ist. Westlich von Kreuth werden die Erzlagerstätten nach rechts, östlich nach links verworfen.

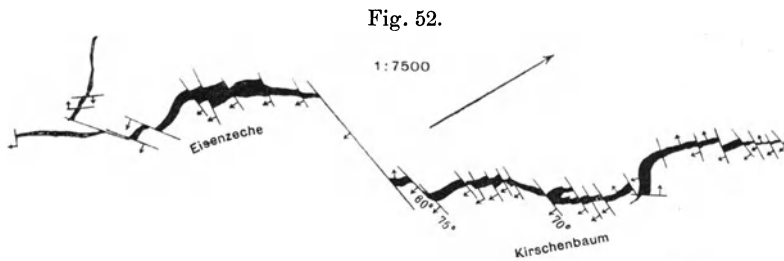
Pošepny wies in dem von Bleiberg 24 km südlich gelegenen Bleibergbau Raibl ganz ähnliche Verhältnisse nach; auch hier sind die

Bleizinklagerstätten links von dem nach N. streichenden Tal rechtsseitig, rechts vom Tal linksseitig verworfen. Die Verlängerung des Raibler Tales trifft nach Kreuth bei Bleiberg.

Ein anderes typisches Beispiel von rechtsseitigen Verwerfungen aus den nördlichen Kalkalpen, und zwar aus dem Toten Gebirge nördlich vom Grundlsee, verdanke ich der gütigen Mitteilung des Herrn k. k. Regierungsrates und Chefgeologen G. Geyer; der Kartenausschnitt ist in Fig. 51 wiedergegeben.

Auch aus dem Gangrevier Littai (Krain), vom Jaklowetz (Ostrauer Kohlenrevier) und vom Kohlenbecken Fünfkirchen (Ungarn) wurden mir gleichsinnige Verwerfungen bekannt.

Lossen¹⁾ sagt: „Bis auf ganz vereinzelte Ausnahmefälle findet in nahezu 100 Fällen kartierter Spaltenverschiebung durch den ganzen Harz stets in dem Sinne statt, daß das nördliche Stück des abgelenkten Ganges nach O. gerückt ist“; es sind also rechtsseitige Staffelbrüche vorhanden. „Dieses staffelförmige Vorrücken entspricht dem in dieser SW.—NO.-Richtung und nicht umgekehrt zusammengedrückten Z-förmigen Stauungsknicken.“



Seitliche Staffelbrüche in der Grube „Eisenzeeher Zug“ [bei Eiserfeld] (Siegerland); nach W. Bornhardt.

In Ems²⁾ verschieben die schrägen und die Horizontalverwürfe die Gänge stets nach rechts, weshalb sie die Bergleute „Rechtsverwerfer“ heißen.

Im Siegenerland³⁾ sind die „Geschiebe“ die häufigsten Verwerfer, und zwar gewöhnlich rechtsseitig, so daß bei ihrem Streichen zwischen 4 und 7^h die auf der S.- oder SO.-Seite beobachtete Scholle nach W. oder SW. verschoben wurde. W. Bornhardt beobachtete dieselben in gleicher Ausbildung auch im Bensberger Bezirk.

Seitliche Staffelbrüche treten im Siegener Gangrevier besonders in der Grube „Eisenzeeher Zug“ bei Eiserfeld⁴⁾ auf (Fig. 52). Ein von A. Denckmann und W. Bornhardt eingehend studierter seitlicher Staffelbruch ist der aus vielen, oft naheliegenden, jungen, schrägen Sprüngen bestehende Stahlberger Stuff bei Müsen (Siegerland), an

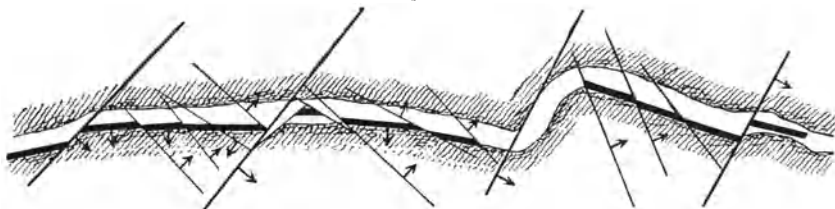
¹⁾ Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanst. 1881, S. 27. — ²⁾ A. Krümm er, Zeitschr. f. prakt. Geol. 20, 263, 1912. — ³⁾ W. Bornhardt, Gangverhältnisse im Siegerland, I. Teil, S. 107, im Archiv f. Lagerstättenforschung. Berlin 1910. — ⁴⁾ Ebenda, Taf. I.

welchem der Müsener Horst im O. abbricht. Der Stuf verschiebt die Grenze der Siegener Schichten mit dem Gedinien um etwa 5 km nach N. Die Horizontalkomponente der den Waldbröler Horst begrenzenden Staffelbrüche beträgt insgesamt 13 bis 15 km¹⁾.

Die bedeutenden Staffelbrüche in den Aachener Kohlengebieten, welche gegen den Rhein hin abfallen, resultieren nicht bloß aus vertikalen Bewegungen, sondern teilweise auch aus seitlichen, wie dies schräge, gelegentlich ziemlich flach gegen die Horizontale gerichtete Rutschstreifen beweisen. Auch das Bild der Verwerfung in der Indemulde und die bedeutend nördlich gelegene Fortsetzung der Aachener Flöze als westfälische Mulde bestätigen dies.

Sehr interessant sind die seitlichen Staffelbrüche der Ferraira-Goldbergwerke in der Südafrikanischen Republik. K. Schmeisser²⁾ gibt hiervon die Fig. 53, aus welcher hervorgeht, daß die NO. streichenden Hauptklüfte stets bedeutend nach links, die dazwischenliegenden, wie es scheint jüngeren Nebenklüfte stets etwas nach rechts verwerfen.

Fig. 53.



Seitliche Staffelbrüche der Ferraira-Goldbergwerke in der Südafrikanischen Republik; nach K. Schmeisser.

Ein weiteres Beispiel von der weiten Verbreitung der seitlichen Staffelbrüche verdanken wir F. A. Moesta³⁾ vom Silberbergbau Chañarcillo in Chile. Die Horizontalverwerfer sind Gesteinsgänge, welche durchwegs linksseitig verwerfen; unbekümmert um die Fallrichtung der Spalten aller Art. Die beiden Silbergänge Veta Candelaria und Corrida Colorado, welche verschieden verflachen, sind beiderseits des Verwerfers im Horizontalschnitt gleich weit entfernt, was doch nur bei einer horizontalen Verschiebung möglich ist.

Die voranstehenden Beispiele dürften genügen, um zu beweisen, daß die seitlichen Staffelbrüche eine weite Verbreitung haben und in der Geodynamik mehr Berücksichtigung verdienen.

In einem Bruchfeld können die höher gelegenen Schollen bedeutend abradiert und dadurch entlastet, die tieferen jedoch bedeckt und belastet worden sein, was neuerliche Verschiebungen meist auf den vorhandenen Spalten bedingte.

¹⁾ A. Denckmann, l. c., S. 268. — ²⁾ Vorkommen und Gewinnung der nutzbaren Mineralien in der Südafrik. Republik, Taf. VI, Fig. 4. — ³⁾ Über das Vorkommen der Chlor-, Brom- und Jodverbindung in der Natur. Marburg 1870. Karte.

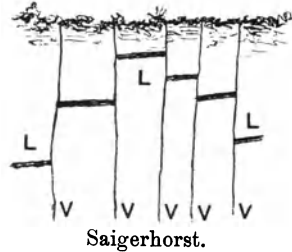
Horste¹⁾.

Ist ein Spaltensystem, zumeist eine Verwurfzone, vorhanden, so kann eine Scholle in höchster Lage sein, die Horstscholle (Horststafel), gegen welche die übrigen Schollen, die Flügel, tiefer liegen, bzw. staffelförmig abfallen. Eine solche Anordnung wird ein Horst genannt.

Je nach der Lage der Verwerfer, welche die Horstscholle begrenzen, unterscheidet man einen Saigerhorst (Fig. 54) mit saigeren, einen Keilhorst (Fig. 55) mit nach unten, und einen verkehrten Keilhorst (Fig. 56) mit nach oben konvergierenden Verwerfern.

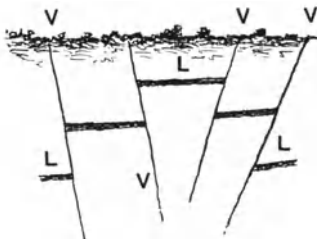
Es können zwei oder drei Horste, nahezu parallel streichend und durch Gräben getrennt, nebeneinanderliegen; man spricht dann von einem Doppel- bzw. Tripelhorst. Je nachdem die Verwerfer gegenüber dem Schichtenstreichen quer, spitzwinkelig oder

Fig. 54.



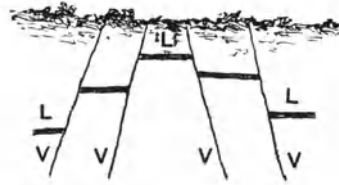
Saigerhorst.

Fig. 55.



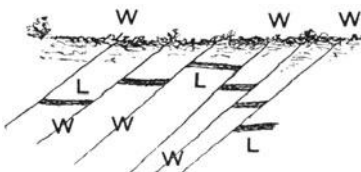
Keilhorst.

Fig. 56.



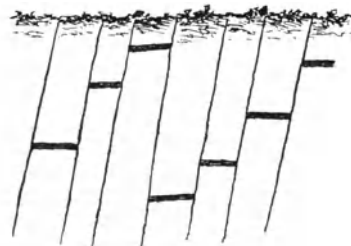
Verkehrter Keilhorst.

Fig. 57.



Wechselhorst.

Fig. 58.



Einseitiger Horst.

streichend sind, unterscheidet man Quer-, Diagonal- und Längshorste; letztere sind verhältnismäßig selten, und zu ihnen gehören die Wechselhorste (Fig. 57), in welchen die Staffeln auf der einen Seite von Wechselln begrenzt sind, wovon eine mittlere an der Grenze zwischen den Wechselln und Sprüngen am höchsten liegt, von welcher die

¹⁾ J. Walther, Zeitschr. Deutsch. geol. Gesellsch. Monatsber. 66, 311, 1914. O. Wilckens, Grundzüge der tektonischen Geologie, S. 90.

anderen beiderseits abfallen; es ist dies ein seltener und komplizierter Fall der Schuppenstruktur.

O. Wilckens unterscheidet nach der ebenen oder gefalteten Lage der Schichten den Tafel- und den Faltenhorst und gibt für den ersteren den Teutoburger, für den letzteren den Thüringer Wald als Beispiel an. Sind die Verwerfer des Horstes beiderseits durch Querwerfer abgeschnitten, so ist dies ein Inselhorst, erfolgt jedoch das Abschneiden nur an einer Seite, so nennt dies Wilckens einen Halbinselhorst.

Endet ein Staffelbruch bei der Horstscholle mit einem tief eingreifenden Verwerfer (große Sprunghöhe), hinter welchem die Staffeln in gleichem Sinne aufsteigen wie vordem, so ist dies ein einseitiger Horst (Fig. 58 a. v. S.). Einem solchen begegnet man an der Südgrenze des Muschelkalksattels bei Entrup in Westfalen¹⁾.

Seit langer Zeit erklärte man die Entstehung der Horste damit, daß eine Hochebene von Sprüngen durchzogen war, und daß die Horstscholle stehen blieb, während beiderseits die Schollen meist in Staffelbrüchen absanken; mit Vorliebe und Recht nahm man hierfür Zerrung an, obzwar auch Einsturzspalten zur Erklärung vorausgesetzt werden können. E. Sueß hat für die Horste Deutschlands jene Hypothese ebenfalls angenommen. Man nennt die auf diese Weise entstandenen Horste ständige. In neuerer Zeit jedoch wird statt Absenkung der Flügel die Hebung der Horstscholle vorausgesetzt; man nennt sie gehobene Horste. Die Hebung konnte auch durch Seitenschub auf der keilförmig nach unten sich verengenden Horstscholle bedingt sein (Keilhorst), worauf J. Walther zuerst hinwies, der die Frage der Horstentstehung eingehend erläuterte. Nach ihm sind die Vogesen, der Schwarz- und Odenwald, der Spessart, der Thüringer Wald, Seeberg und Kyffhäuser, Harz, der Flechtinger Höhenzug gehobene Horste. Manche Lokalforscher kamen besonders bezüglich der vier erstgenannten Horste zu anderer Anschauung. Die böhmische und die rheinische Masse wurden von den meisten Geologen als ständige Horste erklärt. Syrien und Arabien sind ebenfalls ständige Horste.

Sind die Sprünge der Horstscholle gut aufgeschlossen, so wird ein genaues Studium der auf größerer Erstreckung sichtbaren Bewegungsspuren (Rutschstreifen, Rutschlappen, Schleppungen) die viel umstrittene Frage: Senkung oder Hebung, entscheiden. Hat eine Zerrung stattgefunden, so muß das zerzernte Bruchfeld eine größere Fläche als vordem einnehmen, und in den einzelnen Schollen dürften sich manchmal auch Zerrungserscheinungen im Detail nachweisen lassen. Bei Horizontalverwürfen können zwei nachbarliche sowohl nach unten wie nach vorn konvergierende Spalten eine Scholle begrenzen, welche durch fortgesetzten Seitenschub schlittenartig nach der vorne aufsteigenden Keil-

¹⁾ A. Westwerdt, v. Koenens Festschrift, S. 221.

schneide vorgeschoben und dadurch auch stetig als Horstscholle gehoben wird. In diesem Falle wären die Bewegungsspuren parallel zur Keilschneide, also in den meisten Fällen flachliegend.

Gräben.

Wenn in einem Staffelbruch von der tiefsten Scholle, der Grabenscholle *G*, beiderseits die Staffeln aufsteigend höher liegen, so ist

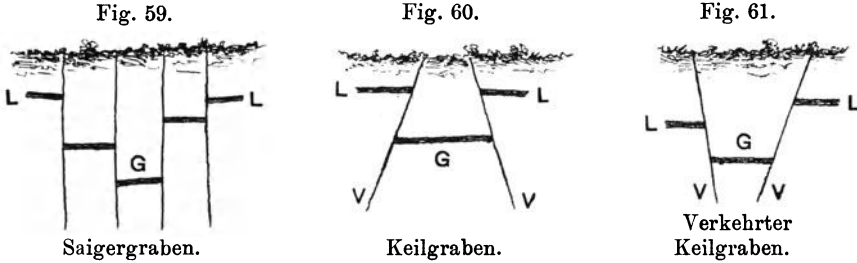
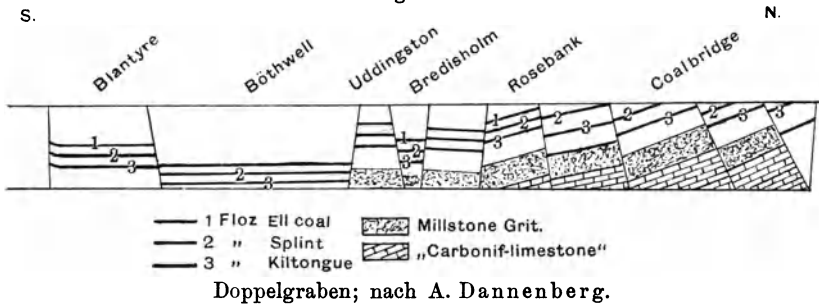
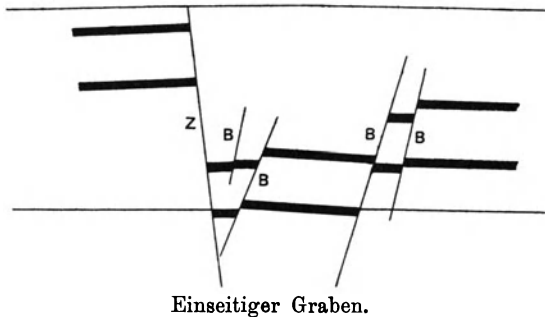


Fig. 62.



dies ein Graben. Ebenso wie bei den Horsten unterscheidet man Saiger- (Fig. 59), Keil- (Fig. 60), verkehrte Keil- (Fig. 61) und Wechselgräben, ebenso Doppel- und Tripelgräben (Fig. 62) von Horsten getrennt; hierbei kann man nun Haupt- und Nebengräben unterscheiden; letztere sind z. B. im Schwarz- und Odenwald häufig; ferner Quer-, Diagonal- und Längsgräben, welche letzteren jedoch, ebenso wie die Wechselgräben selten sind. Entsprechend dem einseitigen Horst liegt unter dem großen Verwurf der einseitige Graben (Fig. 63).

Fig. 63.



Entsprechend dem einseitigen Horst liegt unter dem großen Verwurf der einseitige Graben (Fig. 63).

Seit langem und von vielen Geologen ist der Rheingraben zwischen dem Bodensee und Mainz und zwischen den Vogesen und dem Schwarzwald bzw. Haardt und Odenwald eingehend studiert und seine Entstehung sehr verschieden erklärt worden; er bildet das breite Rheintal, die Hauptverwerfungen, welche tiefgreifende Zerrspalten sind, streichen hierzu parallel nach N. bis NNO. Auch zwischen dem rechts- und linksrheinischen Kohlengebiet entspricht dem Rhein ein Graben, dem gegen W. und SW. bis Herzogenrat drei Horste, durch Gräben getrennt, vorliegen. Auch anderorts folgen Flußläufe den Grabensenken.

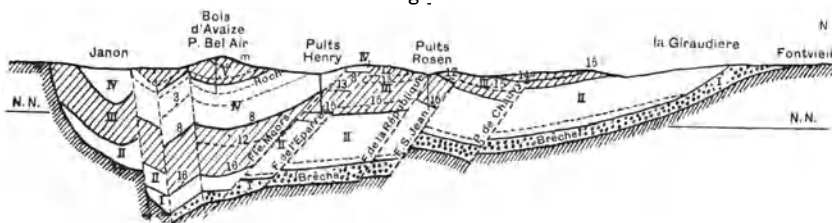
Es hätte wohl wenig Zweck, hier das Vorkommen verschiedener Gräben, welche z. B. in Norwegen manche Fjorde und den Verlauf der Küstenlinie stellenweise bedingen, zu besprechen; es sei bloß erwähnt, daß die Gräben häufig auch von meist erloschenen Vulkanen begleitet werden. Der größte Graben ist der ostafrikanische¹⁾; er beginnt bei der Sambesimündung (18° südl. Br.), ist hier 50 bis 80 km breit und schließt den Njassasee ein, wendet sich dann nach NW.; nahe seinem Ende setzt der Graben des Tanganikasees ein, dessen Tiefe 1700 bis 2700 m, dessen Steilufer 2000 bis 3000 m hoch ist, so daß die mittlere Grabentiefe 4700 m beträgt. Er setzt im Albert-Eduard- und im Albertsee nach N. fort. Die Ränder der Senkung erscheinen aufgewulstet, als wäre hier das Bersten mit einer gewissen Aufwärtsbewegung der plötzlich freigewordenen Bruchränder verbunden gewesen (O. Meyer). Ein dritter Graben beginnt östlich vom Viktoriasee, zieht sich über den Rudolfsee und dreht sich bei dem Horst von Abessinien nach NO., daselbst sich zu einem Dreieck erweiternd, das im Golf von Aden und in das Rote Meer mündet, eine ganz eigentümliche Grabenform mit jungvulkanischen Laven. Diese Gräben wurden während des Jungtertiärs gebildet. Die Fortsetzung ist der Graben des Roten Meeres, der sich im N. gabelt in den Golf von Suez und von Akaba, den Sinaihorst einschließend. Der Akabagolf setzt sich nach Syrien fort, zum Toten Meer und ins Jordantal (38° nördl. Br.). Die Gesamtlänge dieses Grabenzuges ist also nahezu 6000 km. Nach F. Schaffer²⁾ ist das Tal des Karasees bis nach Marasch die nördliche Fortsetzung des syrischen Grabens, dessen Länge um etwa 500 km zunehmen würde. Alle in diesen ostafrikanisch-syrischen Gräben liegenden Seen sind in der Richtung des Grabens S.—N. langgestreckt. M. Blankenhorn³⁾ erklärt Syrien und Arabien als Teile der Saharatafel, welche durch Brüche abgetrennt wurden; dies gibt das Bild von ständigen Horsten, und die weitere Folgerung wäre die, daß die genannte gewaltige Grabenzone durch Einsinken längs großartiger Sprünge entstanden ist, was auch mit der von W. Volz angenommenen Zerrung Ostafrikas übereinstimmt.

¹⁾ O. Meyer, Dissert. Stuttgart 1915. — Neues Jahrb. f. Min. G. P., Beil., 38, 805, 1915. — E. Sueß, Die Brüche des östl. Afrika. Wien 1891. — E. Scholz, Der Pflanzler, 10, Nr. 2, 1914. — ²⁾ Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., 109, 498, 1900. — ³⁾ Syrien, Arabien, Mesopotamien, 1914.

O. E. Meyer setzt nur Einbruch voraus, lehnt Zerrung, ebenso Jägers Antiklinalspalten ab. Der ostafrikanische Graben, von jungvulkanischen Erscheinungen begleitet, ist nach E. Scholz teils miozänen, teils pliozänen Alters.

In den Ländern des östlichen Mittelmeeres, z. B. auch in Griechenland¹⁾, sind die Gräben besonders häufig.

Fig. 64.



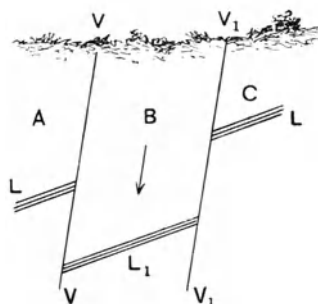
Bergmännisch aufgeschlossener Graben im Steinkohlenbecken von St. Etienne; nach A. Dannenberg.

Ein bergmännisch, also auch in der Tiefe aufgeschlossenes Bild eines Grabens bietet das Steinkohlenbecken von St. Etienne (Fig. 64).

Im Steinkohlenbecken von Hardingham (Pas de Calais, Frankreich) ist ein eigentümlicher Graben, ein Liegendensprung, den Fig. 65 im Prinzip wiedergibt; es ist hierbei fraglich, ob die Scholle *A* als rückläufige Staffel beim Absinken von *B* stehen blieb oder ob sie mit absank und später wieder gehoben wurde.

Wenn schon die Erklärung der Entstehung der Horste manche Schwierigkeiten bietet, so steigern sich dieselben bei einem ähnlichen Versuch für die Gräben. Auch hier glaubte man zuerst einfach mit Einbrüchen, mit Senkungen auszukommen, entsprechend jener Zeit, in welcher man fast alle Verwerfungen für Sprünge hielt. Man nahm zwei in der Tiefe sich abschneidende und nacheinander gebildete Sprünge an; der erste gab das Bild 66 a. f. S., der zweite jüngere das Bild 67, ebenfalls a. f. S. E. Sueß hat die Hypothese der Senkungsgräben wieder zur Geltung gebracht, was anfangs viele Anhänger, dann aber, besonders für den Rheingraben, mehrfachen und gewichtigen Widerspruch fand. — H. Quiring²⁾ sieht im Eifelgraben Bitburg—Düren einen postpaläozoischen Senkungsgraben, durch O.—W. wirkende horizontale Zerrung entstanden. — Die Gegenmeinung ist die, daß nicht die

Fig. 65.



Eigentümlicher Graben (Liegendensprung) im Steinkohlenbecken von Hardingham.

¹⁾ C. Renz: Über den Gebirgsbau Griechenlands. Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. **64**, 1912. — ²⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges., Monatsber. **66**, 277, 1914.

tiefere Schollen sanken, sondern daß die seitlichen Staffeln, insbesondere die randlichen gehoben wurden und Überschiebungsgräben bilden. Sind die Staffeln überschoben worden, d. h. sind sie von Querwechsellinien begrenzt, so wurden die tieferliegenden Schollen hinabgedrückt. In den letzteren müßten die Bewegungsspuren an den Verwerfern sorgfältig untersucht werden, um nachzuweisen, ob die höhere Staffel gehoben oder die tiefere gesunken ist. Finden sich in den Schollen Erscheinungen, die auf Zerrung verweisen, so wäre damit Senkung wahrscheinlich, hingegen würden Pressungserscheinungen, welche mit der Grabenbildung in Zusammenhang gebracht werden dürfen, auf Hebung weisen.

Aus Meyers erwähnter Aufwulstung der Ränder des ostafrikanischen Grabens scheint hervorzugehen, daß sie gehoben wurden, während der Graben einsank, weshalb auch die vordem angeregte Beobachtung der Bewegungsspuren keinen durchgreifenden Schluß auf die Entstehung des Grabens gestatten würde. Meyers Darstellung wäre

Fig. 66.

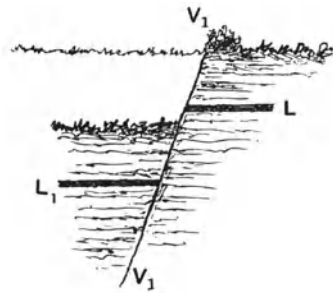
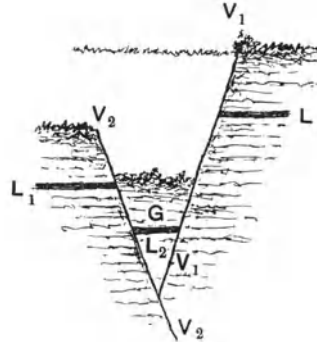


Fig. 67.



ein Mittelweg zwischen den beiden Hypothesen: Senkung oder Hebung; doch wäre immerhin die Senkung die ursprüngliche Ursache, die Hebung nur eine Begleiterscheinung. Dies läßt sich damit erklären, daß, wenn der Graben einsinkt, er auf das Magma drückt, welches nach dem hydrostatischen Gesetz den Druck auf die nachbarlichen Schollen fortpflanzt und dieselbe hebt. Also Hebung als Folge der Senkung.

Auch bei Bodensenkungen, bedingt durch den bergmännischen Abbau, wurde festgestellt, daß am Rande des obertägigen Verbruches, also am Rande des eingesunkenen Keiles, das Gelände gehoben wurde. Dies dürfte sich damit erklären lassen, daß am Umfang des Keiles der lotrechte Zug eine seitliche Komponente gab, die als Schub wirkte und die Umgebung empordrückte.

1887 setzte Andreea¹⁾ für den Rheingraben die Senkung einer mittleren Scholle längs Hauptspalten voraus; diese wurden dadurch

¹⁾ Verh. naturwiss. mediz. Ver. Heidelberg, N. F., 4, 1, 1887.

„klaffend“, so daß in sie auf Nebenspalten Stücke der nachbarlichen Schollen nachrutschen konnten. Einen ganz ähnlichen Gedankengang entwickelte 1913 H. Quiring¹⁾ allgemein bezüglich der Entstehung der tektonischen Gräben, ging jedoch insofern weiter, als er die Entstehung einer oder mehrerer Zerrspalten voraussetzte und bemerkt, daß „es selbstverständlich zur Ausbildung derartiger »klaffender« Spalten wohl nur in den seltensten Fällen gekommen ist“. Er unterscheidet den klaffenden Zerrsprung *Z* (Fig. 63) und nennt die Spalten, längs welchen Trümmer der Nachbarschollen in den Zerrsprung nachrutschen, Böschungssprünge *B*, deren Fallwinkel ungefähr dem Böschungswinkel des Gesteines entspricht. Wie ich aus dem voran wortgetreu wiedergegebenen Satze schließe, gebraucht Quiring gegenüber dem klaffenden Zerrsprung zwar große Vorsicht, legt ihn jedoch trotzdem seinen weiteren Spekulationen zugrunde.

Die bergbaulichen Bodensenkungen lassen ebenfalls erkennen, daß in dem ersten, über dem Abbau liegenden Bruchraum seitliche Nachrutschungen stattfinden, wobei die Lage der Hangendschichten von großer Bedeutung ist; dieses Schieben dauert in manchen Gegenden 20 Jahre und mehr.

Auch A. Wegener²⁾ (1915) setzt im Sal einen „klaffenden“ Riß voraus, in welchen die Nachbarschaft hineinrutschte; geht der Riß tiefer, so wird unten dem Sima Zutritt verschafft.

In manchen Gräben war auch ein tangentialer Seitenschub tätig, wie dies die in den Grabenspalten beobachteten, fast horizontalen Rutschstreifen beweisen; solche wurden an den Rheingrabenspalten von Valentin³⁾ (1890), L. van Werveke⁴⁾ (1897), W. Salomon⁵⁾ (1900) und seinen Schülern (S. 65 u. 66) nachgewiesen. Dieser Tatsache muß jedwede Hypothese gerecht werden.

Die Bildung eines Grabens dürfte in vielen Fällen kein einfacher Vorgang gewesen sein. Dieselbe wurde, wie es scheint, durch Zerrung eingeleitet und im großen ganzen gebildet. Die Zerrungsspalten setzen in große Tiefe. Folgte dann ein neuer Impuls, so wurden die Schollen neuerdings verschoben, bei tangentiellm Seitenschub horizontal, und die so verlaufenen Rutschstreifen haben die älteren ganz oder größtenteils vermischt.

Da die Horste mit den Gräben im innigen Zusammenhang sind, so können die voranstehenden Hypothesen auch auf die ständigen Horste übertragen werden. Doch scheinen die Horste durch Massendefekte, die Gräben durch Massenüberschuß ausgezeichnet zu sein, worüber jedoch die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind.

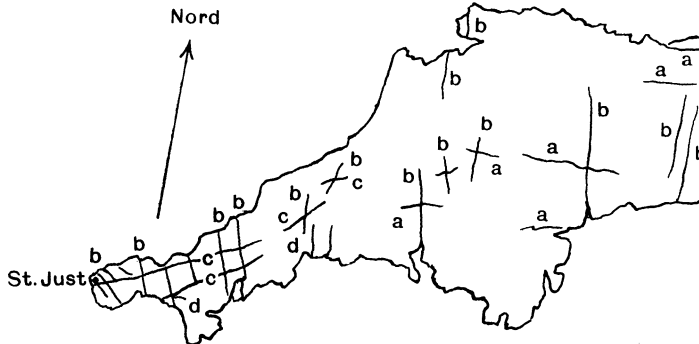
¹⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 65, 440, 1913. — ²⁾ Entstehung d. Kontinente, S. 48. Braunschweig 1915. — ³⁾ Mitteil. d. geol. Landesanst. Elsaß-Lothringen 3, 37, 1900. — ⁴⁾ Mitteil. Philomat. Ges. Elsaß-Lothringen 5, 50, 1897. — ⁵⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges., S. 436, 1911. Verhandl. naturw.-mediz. Ver. Heidelberg, N. F., 11, 1910; 11, 238; 12, 370.

Verwurfnetze

entstehen, wenn sich zwei oder mehrere Verwurfzüge kreuzen; diese sind entweder gleich- oder verschiedenalterig.

Die zwei Züge können sich unter verschiedenem Winkel, ab und zu auch unter nahezu 90° schneiden. So z. B. zu Joachimstal im böhmischen Erzgebirge, woselbst sich die nach O. streichenden Morgenänge mit den nach N. gerichteten Mitternachtsgängen kreuzen. Auch in Freiberg streicht der eine Spalten- bzw. Gangzug nach NO., der zweite nach NW.; hierzu gesellt sich ein dritter nach N.; sie sind verschiedenen Alters und führen auch verschiedene Erzformationen. Ähnliche Verhältnisse sind im Kinziggebiete (Württemberg); es streichen die tauben Verwerfer SW.—NO., SO.—NW. und SSW.—NNO., die Witticher, Reinerzgauer und Alpirsbacher Erzgänge SO.—NW.¹⁾

Fig. 68.



Verwurfnetz von Cornwall, Devonshire und Westsomerset; nach de la Beche.

Ein sehr interessantes und oft wiedergegebenes Beispiel von einem Verwurfsnetz bieten die Spalten und Gänge, welche Verwerfungen bedingen, von Cornwall, Devonshire und Westsomerset. Die de la Beche²⁾ entlehnte Fig. 68 zeigt fast durchweg, daß die Streichen dieser Spalten zueinander senkrecht stehen und daß jedes Streichen etwas Eigentümliches hat. So führen die Spalten *aa* Kupfer, durchsetzen im NO. des Bildes noch den Lias (nach Beche), westlicher das Devon und streichen W.—O. *bb* führen meist Blei-, Silber- und Eisenerze, durchschneiden im W. das Kambrium, Devon und Unterkarbon; im O. die Kreide (nach Beche) und streichen N.—S. oder mit geringen Abweichungen nach rechts oder links. *cc* sind Zinn- und Kupfergänge, älter als die übrigen Spalten und durchsetzen das Kambrium und Devon, ebenso *d*, welche jedoch in der Originalfigur nicht gut zum Ausdruck gelangen. *cc* streichen nach NO. parallel

¹⁾ M. Bräuhausen u. A. Sauer: Jahresber. und Mitteil. Oberrhein. Ver., N. F., 1, 40, 1911. — ²⁾ Vorschule der Geologie, S. 575, 1852.

zur Küste und zu dem Streichen der postkarbonen Granitdurchbrüche. — Im westlichen Teile der Halbinsel, bei St. Just, streichen die Gänge *bb* vorwiegend nach NW., vereinzelt einige *d* nach W.—O., schneiden sich also unter 45°. Das geologische Alter der durchsetzten Schichten habe ich, zum Teil abweichend von de la Beche, nach der neuen geologischen Karte von Mc Alister angegeben. Man könnte zu der Meinung kommen, daß trotz des verschiedenen Alters der durchschnittenen Nebengesteine die Spalten gleichzeitig entstanden sein könnten; doch sprechen gegen diese Annahme die Tatsachen, daß sich die Gangspalten gegenseitig verwerfen, wobei die eine Gangaufüllung die andere durchsetzt und daß die Erzformationen verschieden sind. Deshalb dürfen auch die Druckversuche Daubrées (S. 8) nicht zur Erklärung der rechtwinkeligen Stellung der Spalten benutzt werden, welche gleichalterige Spaltensysteme bedingen. Immerhin könnte man für den westlichen Teil, für Cornwall, die nach NW. gerichtete variscische Schubrichtung voraussetzen, welche zuerst die Spalten *cc*, später *bb* aufriß, während östlich eine ähnlich gerichtete Schubkraft doch viel später wirkte.

In Südnorwegen¹⁾ herrscht an der Westküste ein Bruchsystem O.—W. und N.—S., im östlichen Teile des Landes NW. und NO. vor; die Spalten schneiden sich somit da wie dort unter rechten Winkeln. Diese Verwerfungen bestimmen hier die steilen Schluchten, Fjorde und Seen; letztere beweisen, daß die Bewegungen bis in die jüngste Zeit anhielten.

In den Molukken streichen die Verwerfungen östlich von Sumba nach N. bis ONO., westlich NW., also fast rechtwinkelig, in Borneo treffen diese beiden Systeme zusammen.

Die Verwurfnetze können auf verschiedene Weise entstanden sein; es können zwei in verschiedener Richtung wirkende Kräfte wirksam gewesen sein; durch Seitenschub bildeten sich Wechsel, welche zur Gangbildung nicht geeignet sind, und hierauf nahezu senkrecht stehende Horizontalverwürfe, überdies auch Sprünge. Dies scheint in St. Joachimstal der Fall zu sein. Das Gangnetz von Freiberg erklärten C. Naumann und R. Beck für Aufbruchspalten einer Kuppel.

Das Bruchfeld.

Damit bezeichnet man manchmal auch das Verwurfnetz; doch während dieses von Verwurfszügen mit einer gewissen Regelmäßigkeit gebildet wird, ist diese für den allgemeinen Begriff „Bruchfeld“ nicht notwendig; die Verwürfe können ganz verschiedenes Streichen haben.

Das Bruchfeld des Höhgaues nördlich vom Bodensee mit den Phonolithbergen des Hohentwiels, Hohenkrähen, Mägdebergs und der

¹⁾ Kjerulf: Geologie v. Norwegen. Deutsch von Dr. A. Gurlt, 1880.

basaltischen Hohenstaffel läßt mit Rücksicht auf seine Vulkane auf einen sehr tief gelegenen Herd und auf das Vorhandensein von Sprüngen schließen; es ist ein tektonischer Einbruch oder ein Senkungsfeld.

Hierher gehören auch die Kesselbrüche, welche annähernd kreisförmig oder elliptisch begrenzt sind; sie sind von Einsturzspalten durchzogen, welche teils peripherisch, teils radial, untergeordnet auch diagonal zu diesen beiden verlaufen; die Hauptspalten streichen somit nahezu senkrecht zueinander. Es ist dies gleichsam ein kegelförmiges Verwurfnetz, wobei die mittleren Staffeln bei regelmäßiger Entwicklung am tiefsten liegen. Aus der Gestalt bzw. dem Umfang kann man auf jene des Herdes schließen, nicht jedoch auf die Größe des letzteren. Bei geringerer Herdtiefe kann der Kesselbruch größer, bei tieferer Lage hingegen kleiner als der Herd sein. Die Beobachtungen an derartigen Einbrüchen, durch den Bergbau bedingt, ergaben, daß hierbei auch horizontale Verschiebungen an der Oberfläche auftreten. Es kann gleichsam ein Einziehen der äußeren Schollen gegen die Mitte auftreten, wodurch die Randspalten an Mächtigkeit gewinnen, da nur der eine Teil einwärts gezogen wurde, während der äußere stehen blieb. Die peripherischen Spalten sind ja durch einen Zug, durch eine Zerrung gegen die Mitte hin ganz oder zum Teil veranlaßt. Dieser Zug bedingt auch, daß die Fläche des Kesselbruches größer als der Herd sein kann.

Die Bruchfelder, speziell die Senkungs- oder Einsturzfelder tragen häufig erloschene oder tätige Vulkane, so in den Alpen, in den Karpathen, im Apennin, woselbst sie auf der konkaven Seite sind, bei Japan, bei den Kurilen jedoch auf der konvexen Meerseite.

Ein eigentümliches Bruchfeld beschreibt E. Dagget¹⁾ von der Berlingrube in Nevada. Der Erzgang streicht nach 3^h und verflächt mit 45° nach SO. Er wird von einem Kluftsystem, das nach 24^h streicht und mit 40° nach W. einfällt, und von einem zweiten, nach 20^h streichenden und mit 63° verflächendem System durchsetzt. Während der Gang von jedem Spaltensystem verworfen wird, also älter ist, verwerfen sich die Klüfte gegenseitig, sind also gleich alt; ihre Scharungslinien fallen mit 59° nach $21^h 2^\circ$, in welcher Richtung nach Dagget die Schub- oder Zugkraft gewirkt haben muß.

Bei Peking sind gleichmäßig verlaufende Verwurfnen mit vielgestalteten Kesselbrüchen und Vulkanzügen verbunden. Ein gewaltiger, alter Verwurf streicht nach NNO. vom Liautal bei Nanking und trennt die nach ONO. streichenden Gebirgszüge von Ostshantung vom regellosen Bruchfeld des westlichen Shantung; auf den Verwerfungen sitzen Vulkane.

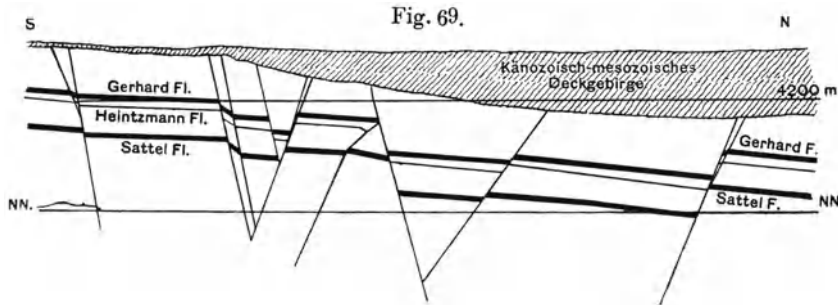
Die bedeutendsten Bruchfelder sind die Meeresbecken, von welchen nur die Morphologie durch gute Lotungen bekannt ist. Aus den Ana-

¹⁾ Transact. Americ. Inst. Ming. Eng. 1907, p. 331.

logien mit terrestrischen Bruchfeldern, insbesondere den naheliegenden, versucht man Einzelheiten jener marinen Bruchfelder zu erschließen. Sie sind meist grabenförmig gebaut.

Schollengebirge.

Ein Bruchfeld, dessen Verwerfer durchwegs Sprünge sind oder welche wenigstens entschieden und bestimmend vorwalten, heißt man ein Schollengebirge; die Morphologie der Erdoberfläche ist ganz nebensächlich. Wegen der vielen Sprünge ist ein Schollengebirge ein Zerrungsgebiet, dessen Fläche größer als vor Beginn der Verwerfungen ist. H. Quiring berechnet in seiner vortrefflichen Abhandlung über „die Entstehung der Schollengebirge“¹⁾ für die Umgebung des Königshütter Flözberges in Oberschlesien (Fig. 69) den linearen „Ausdehnungskoeffizient“ sowohl in der O.—W.- als auch in der N.—S.-Richtung mit mindestens 3 v. H., örtlich 0,68 bis 6,25 v. H.; die Verbreiterung des



Schollengebirge in der Umgebung des Königshütter Flözberges in Oberschlesien; nach H. Quiring.

Beckens ist flächenhaft nach allen Richtungen gleichmäßig erfolgt; die inneren Teile der Binnenmulde sind auf weite Erstreckung von Sprüngen ganz verschont oder sie haben nur geringe Sprunghöhen.

Im Schollengebirge liegen innerhalb jeder Scholle die Schichten nahezu tafelförmig und sind nur selten und dann gewöhnlich nur wenig gefaltet, oft auch flachliegend, wenn nur Zerrung waltete. Wenn ich auch vielfach mit Quiring übereinstimme, so kann ich doch nicht das westfälische Kohlengebiet als Schollengebiet erkennen, da es ein typisches Faltengebirge mit allerlei Verwerfungen ist; die von ihm hierfür berechneten Ausdehnungskoeffizienten gehören deshalb nicht hierher.

Es sei erinnert, daß die Sprünge im oberschlesischen Steinkohlengebirge nicht in die Trias fortsetzen, daß hier das Perm fehlt, zu welcher Zeit oder während des Karbonendes sich das Schollengebirge bildete.

¹⁾ H. Quiring: Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 65, 418, 1913.

E. Sueß erklärt die Sprünge überhaupt, so auch die des Schollengebirges, durch eine ungleichmäßige Senkung der Schollen bei weichendem Untergrund entstanden, was eine Zunahme der allgemeinen horizontalen Druckspannung zur Folge hätte (Quirings Senkungstheorie).

Sueß selbst bespricht die an Tatsachen reichen Arbeiten Powells¹⁾ und Duttons²⁾ über das Wasatchgebirge in Utah, ein großartiges Schollengebirge; diese amerikanischen Forscher sprechen sich nicht darüber aus, ob eine Scholle gegen die nachbarliche gehoben oder gesenkt wurde, lehnen auch jedwede horizontale Druckspannung ab, hingegen wird eine horizontale Zerrung angenommen (Zerrungstheorie). Auch H. Quiring kommt in seiner mustergültigen Studie über das oberschlesische Schollengebirge zu dem Ergebnis, daß die Ursache der Schollengebirge die „tangentielle Druckentlastung oder Zerrung in mehr oder weniger ausgedehnten Gebieten ist“, welcher Anschauung ich mich vollinhaltlich anschließe, wenn man das Hauptgewicht auf Zerrung, welche die Schollen erzeugte und deren Beweglichkeit ermöglichte, legt. Quiring sagt ferner: „Die Größe der gebildeten Schollen ist bedingt durch die Stärke der Zerrung³⁾ und die Zugfestigkeit des beanspruchten Gesteines; je widerstandsfähiger gegen Zerreißen durch Zug ein Gestein ist, auf um so größere Entfernung wird es auch eine Fortpflanzung der Zerrung gestatten. Die dabei entstehende größere Breite der Schollen wird durch die größere Breite und Tiefe der Gräben aufgewogen.“

Als Ursache der Zerrung betrachtet Quiring zuerst die säkularen, kontinentalen Schwankungen, welche bei der Hebung im ganzen eine Senkung im einzelnen zur Folge hatten; doch würde eine Hebung eines Gebietes um 10 km eine lineare Ausdehnung durch Zerrung von nur 0,157 v. H. der ursprünglichen Erstreckung ergeben, was gegenüber den in Oberschlesien gefundenen 3 v. H. viel zu klein ist. Deshalb muß „neben der gleichmäßigen, kontinentalen Hebung eine zonare Aufwölbung vorausgesetzt werden, bei der ein räumlich beschränktes Rindenstück sich in der Mitte höher erhebt als am Rande; dadurch treten an der Oberfläche des sich wölbenden Teiles Zugspannungen auf, die eine hauptsächlich oberflächliche Zerlegung hervorrufen“. Bei einer Aufwölbung von 5 km Höhe waren nach Quiring:

Breite der Zone	Lineare Ausdehnung
500 km	0,078 v. H.
200 „	0,217 „ „
100 „	0,715 „ „

¹⁾ Rep. on the Geol. Eastern Portion Uinta Mountain, p. 16. New York 1876.
 — ²⁾ Rep. Geol. High Plateau Utah, p. 25. New York 1880. — ³⁾ Hierzu muß auch als wichtiger Faktor die Zeit, die Dauer der Zerrung gesetzt werden. Höfer.

„Auch wenn wir beide Ausdehnungsursachen (die kontinentale und zonare) summieren, würde somit das (für Oberschlesien) ermittelte Maß der Zerrung nicht erreicht werden.“ Diese Hypothese könnte nur dann bestehen, wenn man die Möglichkeit zugibt, daß die gleichmäßige Zerrung die Fähigkeit hat, sich zu potenzieren durch Fortpflanzung über größere Gebiete geringerer Schollenverschiebung hinweg und sich in dem widerstandslosesten Rindenteil durch Bildung großer Grabenzonen äußert. Dieser Anschauung, welcher das oberschlesische Schollengebirge gar nicht entspricht, vermag ich nicht zu folgen; selbst H. Qiring hat dagegen sehr gewichtige Bedenken. Seine Hypothese, die Sprünge durch Hebungen zu erklären und welche eigentlich ein Faltengebirge voraussetzt, muß somit für den vorliegenden Fall als unzureichend erklärt werden.

Die historische Geologie gibt viele Beweise dafür, daß sich die Erde seit dem Archaicum gewaltig abkühlte. Die Geophysiker gründeten seit Dana hierauf die bekannte Kontraktionstheorie, welche eine Verkleinerung des Erdkernes voraussetzt, und welche die Ursache der Faltengebirge und der hiermit in engster Verbindung stehenden anderen der Erdoberfläche nahen Dislokationen, als z. B. Wechsel und Horizontalverwürfe, ist. Die Erdkruste ist einer tangentialen Druckwirkung ausgesetzt.

Die Abkühlung hat zweifelsohne zuerst die Erdhaut betroffen, welche infolgedessen sich zusammenziehen mußte, wodurch Zerrungen, tangentiale Zugwirkungen entstanden, welche die Zerrsprünge und die Schollengebirge bedingten. War die Zerrung vorwiegend tangential-linear, so war sie eine „gerichtete“, war sie jedoch flächenhaft, so war sie „ungerichtet“, um die bereits üblichen geometrischen Bezeichnungen zu gebrauchen, welche dynamisch mit „linear“ und „flächenhaft“ ganz gut ersetzt werden können.

Alle größeren tektonischen Störungen sind somit auf dieselbe Ursache zu beziehen, auf die Abkühlung der Erde. Auch die tektonischen Erdbeben sind nicht so sehr als Reaktion des Erdinnern auf die Erdkruste, sondern als eine Folge der Abkühlung der Erdhaut aufzufassen; sie haben ja zumeist ihren Sitz in den Zerrsprüngen.

In Mitteleuropa herrschte in manchen Gebieten ein meridionaler Schub nach N. mit Abweichungen nach rechts und links, welcher die Faltengebirge aufstaute, in diesen Wechsel und Horizontalverwürfe bedingte, und überdies eine Zerrung, vielenorts in der Richtung O.—W., welche die Schollengebirge, Staffelbrüche, Horste und die tiefen Gräben erzeugte.

Das nordenglische, fast ungefaltete Kohlenbecken Northumberland-Durham ist ebenfalls ein Schollengebirge, die einzelnen Schollen sind

nach N. abgesunken, und die Sprünge sind in ihrer Mehrzahl Eruptivgänge (S. 22).

Verwurffächer.

Konvergieren die Verwürfe an der Erdoberfläche nach einer Richtung hin, sind sie also fächerähnlich von einem Ort ausstrahlend, so bilden sie einen Verwurffächer; sind die Spalten ausgefüllt, so spricht man von Strahlengängen. Erstere treten nach E. Tietze¹⁾ im Jaworznoer Steinkohlenbecken (Krakauer Gebiet), letztere nach H. Credner, v. Groddeck, E. Kayser u. a. bei Andreasberg am Harz auf.

Aus den bisherigen unmittelbaren Aufschlüssen und der Kombination der Bohrungen geht hervor, daß die beiden Hauptverwerfer Sandgewand und Feldbiß der Wurmmulde sich nordwestlich bald nach Übertritt nach Holland scharen und daß sich in Limburg andere nordwestlich streichende Verwerfer mit dem sich fortsetzenden Sandgewand vereinen; bei Gruitrode (Limburg) scharft auch noch der nur durch Konstruktion festgestellte langhin streichende Verwerfer, welcher den Sittardgraben in SW. begrenzt, hinzu. In der Nähe von Gruitrode liegt der Mittelpunkt des Fächers.

Da die Torsionsversuche Daubrées mit Glasplatten (S. 10) auch Spaltenfächer gaben, so hält man in den meisten Fällen die Verwurffächer als durch Torsion entstanden; in diesem Falle müßten sich aber auch die anderen Erscheinungen jener Versuche nachweisen lassen. Es sei erinnert, daß Radialbrüche auch durch örtliche Auf- und Einbrüche entstehen können.

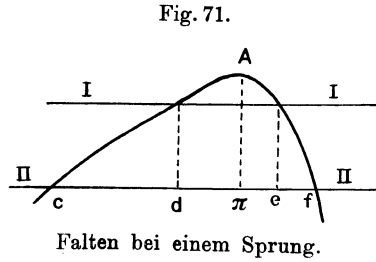
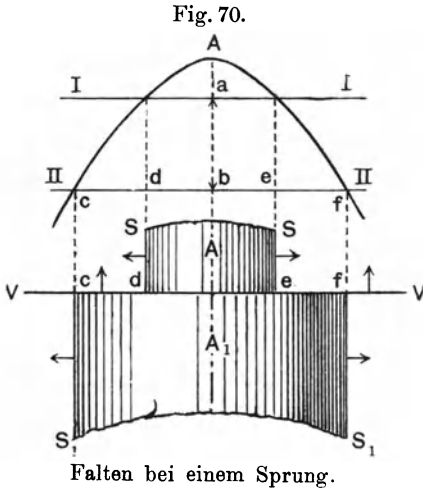
Die Verwerfungen und Falten.

Die Falten geben im Horizontalschnitt meist gerade Linien, den durchschnittenen Schenkeln entsprechend, und nur dort, wo der Schnitt die auf- oder untertauchende Wölbung trifft, sind krumme Linien. Wir wollen uns nur mit den Schenkelschnitten beschäftigen, da sie z. B. in den Grubenkarten der Flözbergbaue die häufigen sind. Liegt die Falte horizontal, so gibt der Schenkelschnitt zwei parallele Gerade; ist sie geneigt, so konvergieren die Schenkelschnitte in jener Richtung, in welcher die Falte geneigt ist. Der Einfachheit halber sei eine horizontale Antikline betrachtet; nach dieser Anleitung dürfte es keine Schwierigkeit haben, die Verhältnisse für die Synkline oder für geneigte Falten zu konstruieren.

1. Bei einem Sprung gestaltet sich das Bild auf beiden Seiten des Verwerfers VV je nach der Streichrichtung desselben gegenüber der Antiklinalachse bzw. den Schenkelschnitten:

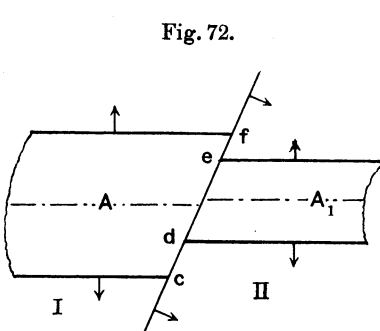
¹⁾ Jahrb. k. k. geol. Reichsanst. 37, 504, 1887.

a) Beide stehen zueinander normal. Da die Antiklinalachse AA_1 senkrecht zum Streichen des Verwerfers VV , somit auch in der Ebene des Verflächens des Verwerfers liegt, so wird die verworfene Achse A_1 in die Fortsetzung von A fallen müssen (Fig. 70). Die Partie I ist um ab in den Horizont II herabgerutscht, und bei einer regelmäßig

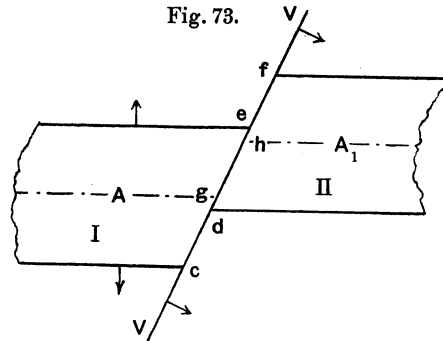


stehenden Antikline (Fig. 70) wird $cd = ef$ sein; bei einer schrägen Falte (Fig. 71) sind jedoch diese Entfernungen ungleich; der kleineren entspricht der steilere Schenkel.

b) Ist das Streichen des Verwerfers schief zur Antiklinalachse A , so können deren beide Stücke nicht in die Verlängerung fallen, da die Richtung des Verflächens des Sprunges nicht mit jener der Antiklinalachse übereinstimmt. Das eine Stück erscheint gegen das andere



Falten bei einem spießförmigen Sprung.



Falten beim reinen Horizontalverwerfer.

seitlich verschoben und bei einer regelmäßig stehenden Antikline sind die Schenkellinien beiderseits jeder Achse zwar gleich weit; doch die Entfernungen der korrespondierenden Schenkellinien cd und ef sind ungleich (Fig. 72).

2. Da die Längs- und Faltenwechsel in der Regel parallel zu den Falten sind, so sind bei horizontaler Lage auch die Schenkellinien parallel zum Verwerfer. Ist der Wechsel nicht parallel zur Faltung,

so wird seine Schnittlinie, die immer innerhalb der Schenkelschnitte liegt, mit jenen der Faltschenkel konvergieren.

3. Bei reinem Horizontalverwerfer (Fig. 73, a. v. S.) läßt der Horizontalschnitt die Verschiebungsgröße (söhlige Schublänge) unmittelbar erkennen und zwar gleichgültig, ob der Verwerfer die Falte rechtwinkelig oder schief durchschneidet, ob diese stehend oder schief ist. Die Entfernung der beiden Schenkelschnitte, d. i. die Breite der Antikline im Horizontalschnitt, ist beiderseits gleich, $cd = ef$, was bei den spießwinkelligen Sprüngen und Querwechselln nie der Fall sein kann; ferner ist $cd = ef = gh =$ die söhlige Schublänge.

Erfolgte die Verschiebung nicht horizontal, so ändern sich die Verhältnisse in mehrfacher Hinsicht, da sich die bei den Sprüngen erörterten um so mehr fühlbar machen, je mehr die Schubrichtung von der Horizontalen abweicht; dies führt zum

4. Schrägen Sprung. Die Antiklinalachsen der beiden Stücke können nicht gegenseitig in Verlängerung fallen, auch wenn dieser

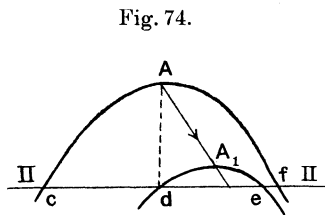


Fig. 74.
Falten beim schrägen Sprung.

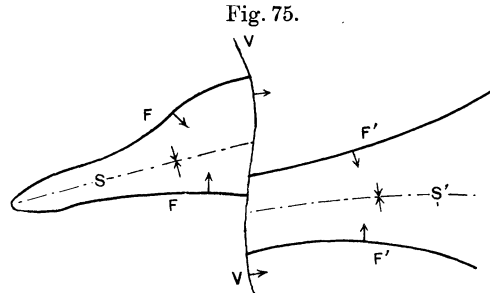


Fig. 75.
Verquerender schräger Wechsel.

Sprung senkrecht zur Falte streicht, da ja das eine Stück gegen das andere seitlich verschoben wurde. Die Antiklinalachse fällt deshalb auch nicht, wie beim normalen Sprung, in die Falllinie des Verwerfers, sondern seitlich, und die Entfernungen cd und ef (Fig. 74) der beiden korrespondierenden Schenkellinien werden verschieden groß sein; in der Richtung zur kleineren erfolgte der Schub. Bei den stehenden Antiklinen liegt die Antiklinenachse in der Mitte der beiden dazugehörigen Schenkellinien; die Entfernung der beiden Achsen, in dem Verwerfer gemessen, ist die söhlige Schublänge.

5. Die gleichen Erwägungen gelten für den schrägen Wechsel. P. Krusch¹⁾ bildet eine Seitenverschiebung (Fig. 75) ab, welche bei näherer Untersuchung sich als verquerender schräger Wechsel herausstellt. S und S' sind die Synklinalachsen.

Über den genetischen Zusammenhang von Spalten und Falten äußerte sich Joh. Walther²⁾ dahin, „daß wir alle Klüfte, Brüche und

¹⁾ Erläuterungen zu Blatt Dortmund 1909. — ²⁾ Zeitschr. d. Deutschen geol. Ges. 66, Monatsbericht Nr. 5, S. 287.

Gänge, sowie alle kleineren Gräben und viele Horste auf denselben tangentialen Seitenschub zurückführen können und müssen, mit dem wir Falten und Überschiebungen erklären“. Wenn auch dieser Satz in seiner allgemeinen Fassung zu weit gegriffen ist, so trifft er doch für viele Störungsgebiete zu und verdient festgehalten zu werden. L. van Werneke¹⁾ schließt sich nicht nur jener Auffassung, welche die wichtigen Zerrspalten ignoriert, an, sondern beansprucht deren Priorität.

Die Wasserführung der Verwerfer, Mineralquellen und Erzgänge.

Geschlossene Verwerfer, besonders Wechsel, pflegen nicht nur kein Wasser zu führen, sondern sie wirken zumeist wasserabdichtend, da auch die gewöhnlich tonigen Zerreibungsprodukte im praktischen Sinne wasserundurchlässig sind. Dies ist bei der Beurteilung der unterirdischen Wasserläufe wohl zu beachten; so z. B. kann ein artesischer Brunnen einen nachbarlichen, durch einen solchen Verwerfer abgeschlossenen, nicht, hingegen einen entfernteren, auf derselben Seite des Verwerfers liegenden Brunnen bedeutend beeinflussen. Andererseits können Wechsel als ein undurchlässiger Wall das Wasser aufstauen, wie dies beispielsweise am Südrande des Taunus²⁾ der Fall ist, wo das Wasser in Mineralquellen zutage tritt.

In offenen Verwerfern kann sowohl Tagwasser versinken, als auch Wasser aufsteigen. In letzterem Falle ist es mehr oder weniger mineralisiert. Viele Quellen, besonders die Mineralquellen, entspringen Verwerfern, deren Verlauf festgestellt werden muß, um die Hydrogeologie solcher Quellen beurteilen und die Quellen vor störenden Eingriffen schützen zu können.

Die Tätigkeit des Wassers kann auch den Verwerfer erweitern, und zwar nicht bloß dort, wo leichter lösliche Gesteine, wie Steinsalz, Gips, selbst Kalk und Dolomit, verquert werden, sondern auch dort, wo das Nebengestein stark zerrüttet ist, woselbst ein mechanisches Fortspülen der kleinen Stückchen stattfinden kann, wie z. B. in Kohlenflözen; im nordwestböhmisches Braunkohlengebiet haben Verwerfer neben sich im Flöz ganze Höhlen ausgearbeitet, die später mit Schwefelkies (Markasit) und Kohlenstückchen teilweise ausgefüllt wurden.

Die meisten Mineralquellen treten unmittelbar oder mittelbar — unter einer Tagdecke — an die Erdoberfläche; diese Spalten sind fast immer Verwerfungen.

Die Thermalquellen entsteigen tiefgreifenden Spalten oder Spalten-systemen; ihr Herd liegt um so tiefer, je höher ihre Temperatur ist,

¹⁾ Mitteilungen d. geol. Landesanstalt Elsaß-Lothringen 10, Heft 2, 1916. —

²⁾ R. Lepsius: Notizbl. d. Ver. f. Erdkunde 29, 4. Darmstadt 1908.

einen guten Abschluß des Tagwassers vorausgesetzt. Aus der Differenz der Temperatur der Therme und jener des Tages läßt sich die Tiefe des Ursprungs unter Zugrundelegung der geothermischen Tiefenstufe (32 m) berechnen. Die Säuerlinge entspringen, wenn sie reich an Kohlendioxyd sind, das meist profunden Ursprungs ist, aus tiefgreifenden Sprüngen; sie haben oft Kalziumbikarbonat gelöst, das an der Luft sich als einfaches Kalziumkarbonat, Kalksinter, absetzt. Dieses verrät dann das Vorhandensein der Verwerfung dort, wo die geologischen Verhältnisse das Vorkommen einer Schichtenquelle ausschließen.

Auch andere Quellabsätze findet man an dem Quellenmunde; häufiger ist Eisenocker, seltener sind andere Metalloxyde, z. B. Psilomelan, das ein kräftiges Adsorbens für Radioaktivität ist, Sulfide und Sulfate, z. B. Baryt u. a. m. Diese Absätze gestatten manchmal einen wertvollen Rückschluß auf die Mineralien in der Tiefe und auf jene Vorgänge, welche sich bei ihrer Umwandlung abspielten.

Die Mineral- und Erzgänge sind Spalten, in welchen die auf- oder absteigenden oder seitlich eingedrungenen, meist warmen Mineralwasser ihre gelösten Bestandteile ganz oder teilweise absetzten. Ein offener Verwerfer kann die ausgefüllte Spalte verschieben und jener kann auf gleiche Art wie vordem wieder mit Mineralien bzw. Erzen ausgefüllt werden. Der verworfene, also ältere Gang, wirkt bei der Präzipitation im jüngeren Gang ein, und zwar häufig bezüglich der Erzabscheidung günstig, so daß der jüngere Gang bei seiner Scharung (Durchkreuzung) mit dem älteren Gang eine Erzveredelung zeigt, welche sich nach der Scharungslinie erstreckt und einen sogenannten Adelsvorschub bildet.

Eine ausgefüllte Spalte kann neuerdings aufgerissen und mit Mineralien gefüllt werden, wodurch ein Doppelgang entsteht. Innerhalb der Ausfüllungsmasse kann man das frühere Salband erkennen, an welchem manchmal auch noch die Rutschstreifen sichtbar sind, deren Lagen nicht immer mit jener am jungen Salband übereinstimmen.

Reine Verwerfer gehen in ihrem Streichen wiederholt in Erzgänge über; dies ist seit langem aus der Aachener Gegend bekannt, woselbst die Spalten im Schiefer verdrückt und stellenweise kaum erkennbar sind, sich jedoch im Kalk und Dolomit auftun und mit Blei-, Zink- und anderen Erzen erfüllt sind. Auch im Rheintalgraben, z. B. bei Notweiler im Elsaß, gehen die Verwerfer in Erzgänge über, wie dies auch die jüngste Karte dieses Gebietes so trefflich zeigt¹⁾. Derartige Beispiele ließen sich reichlich vermehren.

Alle Erz- und Mineralgänge von größerer Ausdehnung sind ausgefüllte offene Verwerfer; da die Wechsel geschlossene Spalten sind, ist in ihnen die Gangbildung unmöglich.

¹⁾ O. M. Reis: Geognost. Jahresheft für 1914, Tafel XI.

Einfluß der Verwerfer auf das Nebengestein.

Das Nebengestein wird an den Salbändern der Verwerfer stellenweise geglättet, um so besser, je spröder und massiger das Gestein ist. Infolge des Aufreißen des Verwerfers lösen sich von diesem auch kleinere Spalten und Klüfte ab, die das Nebengestein zertrümmern, was sogar bis zur Bildung von Breccien führen kann. Der Spaltenbildung geht oft eine Flexur voraus, wodurch der Verwerfer von Schichtenbiegungen (Schleppungen) verschiedener Art begleitet wird. Ein eingehendes Studium dieser Biegungen gestattet wiederholt, die Richtung der Bewegung bei der Bildung des Verwerfers festzustellen. Offene Verwerfer sind Wege des Wassers, welches das Nebengestein um so leichter zersetzen kann, je zerklüfteter es ist.

Zirkulierende Metallösungen haben oft im Nebengestein Erze als Imprägnationen abgesetzt oder bedingten durch dessen Umwandlung die Bildung der metasomatischen Erzlagerstätten, z. B. Siderit nach Kalkstein. Bücking¹⁾ berichtet, daß der Muschelkalk der Rhön durch Verwerfungen kristallinisch und fossilfrei wurde. R. Lepsius²⁾ erwähnt, daß am Ostrand der Vogesen die paläozoischen Grauwacken, zuweilen auch der Muschelkalk und die Juraoolithe, an der Hauptverwerfung gegen den Granit in ein Kieselgestein umgewandelt sind und daß in dieser Zone auch Fluß- und Schwerspat vorkommen. In der Nähe der Verwerfer des Lautenbacher Grabens (NO. des Vogelsberges) sind die Kalke dolomitisiert, ebenso bei Fulda und in der Rhön³⁾. Die heißen im Verwerfer geflossenen Quellen haben das Nebengestein mineralisiert.

Spätere Störungen der Verwerfer.

Es ist bereits gesagt worden, daß sich ein Verwerfer später erweitern und neuerdings verschieben kann, wie dies an Gängen nachweisbar ist; je nachdem eine solche Erweiterung zwei- oder dreimal stattfand, unterscheidet man Doppel- und Tripelgänge. Diese sind Beweise für die periodische Erweiterung der Spalte, weil die erste bereits mit Mineralien ausgefüllt war, wozu doch eine geraume Zeit notwendig war, bevor die Gangspalte neuerdings aufgerissen wurde. Ein solcher Doppelgang repräsentiert somit verschiedene, manchmal weit voneinander liegende Bildungszeiten. Andererseits ist auch eine stetige Erweiterung der Spalten möglich, wobei die Ausfüllung derselben mit Mineralabsätzen nahezu gleichen Schritt hielt; erfolgte die Erweiterung nur an einem Salband, was naturgemäß erscheint, so

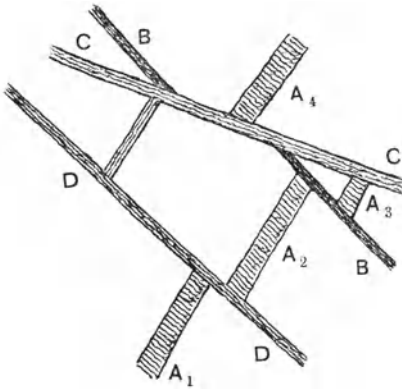
¹⁾ v. Koenens Festschrift, S. 11. — ²⁾ Geologie von Deutschland, 1. Teil, S. 439. — ³⁾ W. Beetz: Dissertat. Gießen 1913.

ist damit die unsymmetrische Lagenstruktur des Ganges, die ja häufig vorkommt, erklärt. H. Stille¹⁾ hat in Westfalen nachgewiesen, daß die S.—N. oder SO.—NW. streichenden Brüche vorkretazeischen (jungjurassischen) Alters neuerdings aufgerissen wurden.

In Gängen ist manchmal die Ausfüllungsmasse zerrüttet oder von Klüften durchzogen, was ebenfalls auf eine nachträgliche Bewegung der Gangspalte verweist.

Es wurde auch bereits erwähnt, daß sich Verwerfer gegenseitig verwerfen, wobei der verworfene Gang der ältere, der verwerfende der jüngere ist, worauf bereits Werner hinwies. Mit diesem Satz kann das relative Alter der beiden Verwerfer (Gänge), doch nicht das absolute geologische Alter bestimmt werden. M. F. Gätschmann²⁾ gibt die Abbildung 76; da der Gang *C* alle anderen Gänge verwirft und selbst nicht verworfen wird, so ist er der jüngste; älter sind *B* und *D*,

Fig. 76.



Gegenseitiges Verwerfen der Verwerfer;
nach M. Gätschmann.

welche gleich alt sein dürften, da sie parallel sind und *A* im gleichen Sinn verwerfen. Der älteste Gang ist *A*, da er von allen anderen verworfen wird.

Die abschneidende Spalte kann auch älter als die abgeschnittene sein, wenn die letztere bei Erreichung der ersteren ihre Energie in der vorhandenen Spalte verloren hat; in diesem Falle fehlt das verworfene Trumm.

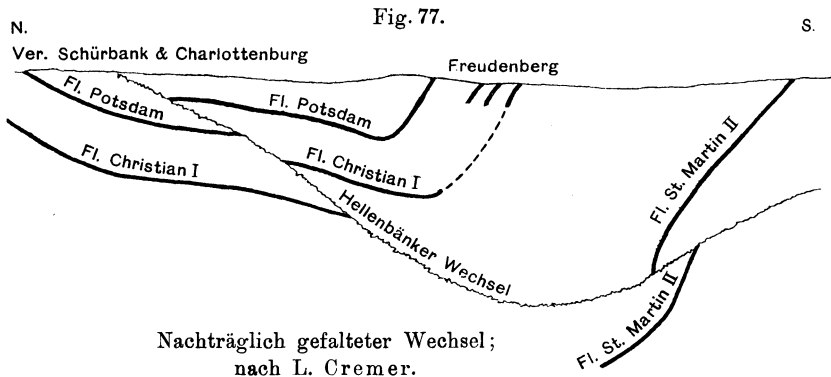
Sobald sich ein Verwerfer gebildet hat und vielleicht auch Gang wurde, so ist er allen folgenden tektonischen Störungen seiner Umgebung ausgesetzt. Setzt z. B. die Faltung fort oder eine neue ein, so wird auch der Verwerfer verbogen, wie dies z. B. besonders bei Längswechseln im belgischen, Aachener und westfälischen Kohlenbecken beobachtet wurde. Im letzteren sind alle Wechsel sehr stark verbogen. L. Cremer³⁾ wies nach, daß sie, wie die nachbarlichen Schichten bzw. Flöze, Mulden und Sättel bilden, was sich sowohl im Horizontal- als auch im Vertikalschnitt zeigt, woraus er schließt, daß die Wechsel älter als die Faltung sind. Von den vielen lehrreichen Profilen, die Cremer mitteilt, gebe ich das nachstehende (Fig. 77) wieder. Der Hellenbänder Wechsel ist links eine ausgesprochene Überschiebung, während er rechts im vereinigten Bickfelder Tiefbau geometrisch als Sprung erscheint; doch denkt man sich dort den Wechsel zu einer geraden Linie, körperlich

¹⁾ Jahrb. d. Preuß. geolog. Landesanstalt f. 1905, S. 103. — ²⁾ Auf- und Untersuchung der Lagerstätten, S. 117. Freiberg 1856. — ³⁾ Glückauf 1894, Nr. 62 bis 65.

zu einer Ebene ausgezogen, so sieht man, daß der Bickfelder Sprung vor der Faltung ein wirklicher Wechsel war und genetisch auch ist.

F. Büttgenbach¹⁾ bildet vom Schacht Furth im holländischen Teil des Wurmrevieres einen Wechsel ab, der Sattel und Mulde hat, welche mit der Faltung der nachbarlichen Flöze, die der Wechsel scharf durchschneidet, korrespondieren. In diesem Revier werden jedoch fast alle Wechsel geradlinig profiliert; diese scheinen jünger als die Hauptfaltung zu sein. F. Broili²⁾ fand auch in den Chiemgauer Bergen (Südbayern) nachträglich gefaltete Wechsel. Die einfachen Wechsel in den südlichen Appalachen, im Arkansas und im Indian Territory wurden nahe dem Ende der Karbonzeit ebenfalls gefaltet [B. Willis, A. Keith]³⁾.

Lossen⁴⁾ nimmt für den Harz ursprünglich eine Faltung im Erzgebirgssinne (Streichen NO. = varisceisch) an; die hierbei gebildeten Spalten wurden durch eine spätere Faltung im herzynischen Sinne (NW. streichend) windschief verbogen, wobei sich auch neue Spalten bildeten.



Den nachträglichen Biegungen der Verwerfer wurde bisher viel zu wenig Beachtung geschenkt, obzwar sie für die Beurteilung mehrerer aufeinanderfolgenden geotektonischen Vorgänge von großer Bedeutung sein können.

Das geologische Alter und die Bildungsdauer der Verwerfungen.

Es ist selbstverständlich, daß eine Verwerfung jünger als das von ihr durchsetzte Gestein ist; doch ist sehr häufig der Verwerfer viel jünger als sein Nebengestein, er kann z. B. im Gneis tertiären Alters sein, und die Bildungsdauer der Spalte ist oft kein einziger Akt, son-

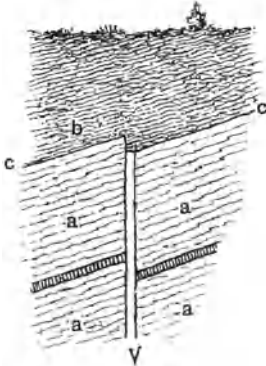
¹⁾ Glückauf 1894, Nr. 86, 87. — ²⁾ Neues Jahrb. f. Min., Geol., Pal. Beibd. 37, 391, 1913. — ³⁾ Compt. rend. IX sess., Congrès géolog. internat. 529, 541, Vienne 1903. — ⁴⁾ Jahrb. d. Preuß. geolog. Landesanst. 2, 1, 1882.

dem kann einen sehr großen Zeitraum, den mehrerer Formationen, umfassen.

Die ältesten Gesteine sind am längsten und zu allen Zeiten der Deformation, also auch der Bildung von Verwerfungen ausgesetzt gewesen, weshalb sich in ihnen die meisten und verschieden alte Verwerfungen vorfinden sollten; wenn dies nicht durchwegs zutrifft, so ist dies damit erklärt, daß die Erdkruste nicht überall im gleichen Maße deformiert wurde und nicht alle Gesteine gleiche Bruchfestigkeit haben.

Ein Verwerfer V (Fig. 78) durchsetzt oft eine Reihe von Gesteinsschichten a verschiedenen Alters, wird jedoch im Hangenden plötzlich von einer Schichte b abgeschnitten. Es ist üblich anzunehmen, daß die Spaltenbildung älter als die abschneidende Schichte b ist; dies

Fig. 78.



Ein Verwerfer V
wird von einer Schichte b
abgeschnitten.

ist bei Verwerfungen richtig, doch kann eine einfache Spalte an der Gesteinsscheide c auch dadurch enden, daß die Energie nicht ausreichte, die festere oder zähere Schichte b zu durchbrechen; dies äußert sich manchmal durch eine Schleppung in der Richtung der Spalte im Gestein b ; diese Spalte ist somit jünger als b . Bei Verwerfern wird dies wohl kaum der Fall sein, weil dann die Verschiebung längs der Gesteinsscheide aufgehoben wäre, was sich durch Zusammendrücken des Gesteines an der einen Seite des Verwerfers äußern müßte. Übrigens würde auch die Gesteinsscheide infolge des Verwurfes eine Staffel zeigen müssen, wenn b jünger als der Verwerfer V ist. Über-

tags vor oder während der Ablagerung von b konnte diese Stufe abradirt worden sein, wenn der Verwerfer älter als b ist.

Lassen sich in einem Verwurfsgebiet auch anderweitige Dislokationen, z. B. Faltenbildung, Transgressionen u. dgl. Bewegungen, nachweisen, deren Alter der Gesteinsscheide von a und b entspricht, so ist die größte Wahrscheinlichkeit vorhanden, daß der Verwerfer ebenfalls dieser Dislokationszeit angehört, welche mittels anderer, stratigraphischen Kriterien genau bestimmt werden kann. Es geschah wiederholt, daß man allen Verwerfern eines Gebietes dieselbe Dislokationszeit zuschrieb; doch können einzelne älter oder jünger sein.

In den sächsischen Steinkohlenbecken (Zwickau, Döhlen) streichen die Hauptverwerfungen SO.—NW., also senkrecht zum Erzgebirge; sie durchsetzen auch das untere und mittlere Rotliegende, sind somit jünger als dieses.

In der Beuthener Mulde Oberschlesiens setzen die Verwerfungen aus dem Karbon nicht in den Muschelkalk fort. Die Trias liegt hier

ganz flach und übergreifend über dem Karbon. Das Perm fehlt, die Trias transgredierte; das Alter der Verwürfe im Steinkohlengebirge ist also hier permisch oder jungkarbon.

E. Reyer gibt mehrere Beispiele: In den Mendep-Bergen (England) durchsetzen die Verwerfer das Karbon, jedoch reichen sie mit wenigen Ausnahmen nicht in den Buntsandstein; auch hier ist die Mehrzahl der Verwerfer permisch, wie auch an vielen Orten West- und Nordwestdeutschlands. Das Spätkarbon und das Perm sind in der nördlichen Halbkugel durch weitverbreitete und bedeutende Erdkrustenbewegungen ausgezeichnet. — Die australischen Goldgänge durchsetzen Silur und Devon, setzen jedoch im diskordant darüberliegenden Karbon nicht fort. Die Bleierzgänge von Wexford (Irland) im Silur reichen nicht ins Devon hinauf.

Die miozänen Braunkohlen in der niederrheinischen Bucht bei Cöln wurden während ihrer Ablagerung verworfen und sind allmählich grabenartig eingesunken, wobei der Pflanzenwuchs gleichmäßig mit der Senkung fortschritt; diese ist im Liegenden des Flözes nachweisbar, während das Hangende (untermiozäner Ton) ungestört über dem Flöz liegt, dessen Alter also auch das des Verwerfers ist.

Die Verwerfungen können sich zu Gängen ausfüllen; die ältere, so verdienstreiche Freiburger Schule bemühte sich auf Grund der Paragenesis der Gangmineralien Erzformationen aufzustellen und jeder derselben ein bestimmtes geologisches Alter zuzuweisen. So fruchtbar diese paragenetischen Studien bezüglich der Mineralgenese waren, so wenig war die Altersbestimmung von allgemeiner Gültigkeit. Die Ausfüllung der Gangspalte hat gewiß oft durch mehrere Formationen gedauert, so daß schon aus diesem Grunde den Gangformationen kein bestimmtes Alter zugeschrieben werden kann.

Wenn für manche, ja vielleicht viele Gebiete der Satz: „Gleichstreichende Verwerfer sind gleich alt“, volle Gültigkeit hat, so ist es doch nicht gestattet, ihn als allgemein zutreffende Regel aufzustellen; andererseits können in einem Gebiete verschieden streichende Verwerfer gleichalterig sein.

Die Verwerfungen aller Art können in einem Gebiet derselben Dislokationsperiode angehören und dennoch Altersunterschiede zeigen; so z. B. sind Wechsel manchmal von Sprüngen und Horizontalverwerfern durchsetzt, diese sind also jünger als jene; das wird erklärlich, da sich manche Längswechsel schon bei geringen Zickzackfalten sehr entfernt von der Schubfläche bei ganz gleichmäßigem Schub bildeten, während die verquerenden Verwerfer erst dann entstanden sind, als im Wechselgebiete ungleiche Schubkräfte oder Widerstände, auch Zerrungen wirksam wurden. Die die Sprünge bedingende Schwerkraft und die Zerrung können sich auch erst nach dem Nachlassen oder nach Beendigung der Schubwirkung stärker geäußert haben.

Viele Verwerfungen, welche in alten Gesteinen auftreten, sind oft relativ jung, da sie sich in jüngere Ablagerungen fortsetzen oder mit den in ihnen aufsetzenden Störungen in Beziehung gebracht werden können. So z. B. sind die Mitternachtsverwerfungen, welche das Siegener Devon durchsetzen, tertiären, wenn nicht vielleicht sogar diluvialen Alters. Dasselbe gilt auch von mehreren Sprüngen in der Steinkohlenmulde des Wurmgebietes bei Aachen, welche stellenweise auch den Terrassenschotter verwerfen [E. Holzapfel¹⁾]. Zwischen Ocaña und La Cruz in Kolumbien zerstückeln Verwerfungen, welche gewiß auch das Grundgebirge störten, die Diluvialterrassen [H. Stille²⁾]. Die Spalten auf Rügen sind postglazialen Alters [v. Koenen³⁾].

Ein altes Gebirge mit alten Verwerfern wird infolge der Denudation und Erosion vielfach eingeebnet sein und allmählich die Züge der Rumpfebenen (Peneplains) annehmen. Sind die Verwerfungen, somit auch die wohlmarkierten Verschiebungen an der Erdoberfläche jung, so prägen sie sich noch in der Bodenplastik aus, so daß diese eine Beurteilung des Alters der Verwerfer gestatten kann. Verwerfungen sind Wunden in der Erdkruste, welche manchmal sehr lange zu ihrer Verheilung brauchen. Viele tektonische Erdbeben haben ihren Herd in alten Verwürfen, in welchen die Bewegungen bis in die jüngste Zeit anhalten, womit jedoch nicht gesagt sein soll, daß während eines Bebens nicht auch neue Spalten und Verwerfungen aufgerissen werden können. In einem Bruchfeld sind bei einem Beben nicht alle Spalten gleichmäßig tätig, sondern bei dem einen treten Verschiebungen in gewissen Spalten, bei einem zweiten solche in Spalten, die früher ruhten, auf; E. Reyer⁴⁾ nennt dies Vikarieren der Massenbewegungen.

Von größtem Interesse sind die Dislokationen in der Wurmmulde bei Aachen, deren Kenntnis wir besonders E. Holzapfel⁵⁾ zu danken haben. Die Faltung des dortigen Steinkohlengebirges ist jünger als mittelkarbon; „es ist die variscische Faltung von E. Sueß“ (Holzapfel, S. 152), somit oberkarbonen Alters. Mit der Faltung war die Bildung der Wechsel innig verbunden, worauf bei zunehmendem Seitenschub die Horizontalverwürfe und Sprünge gebildet wurden. Zu Beginn der Senonzeit ist ein Teil dieses Gebietes gesunken, was das Vordringen des Kreidemeeres von N. her zur Folge hatte. Auch das Oligozän und Untermiozän werden hier von vielen Verwerfern beeinflusst, diese waren also noch nach der Untermiozänzeit tätig, während einzelne Verwerfer zu dieser Zeit schon zur Ruhe gekommen waren. Bei Herzogenrath ist das Pliozän und stellenweise auch der alte Dilu-

¹⁾ Geologie des Nordabfalles der Eifel, S. 197. — ²⁾ v. Koenens Festschrift 1907, S. 357. — ³⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 1890, S. 58. — ⁴⁾ Theoretische Geologie, S. 617. — ⁵⁾ Geologie des Nordabfalles der Eifel.

vialschotter von den Hauptverwerfern Feldbiß und Sandgewand durchsetzt, deren Sprunghöhen im Karbon am größten sind und gegen oben hin stetig kleiner werden. Die Karbonschichten haben alle Verschiebungen der Spalte durchlebt, während die höheren Schichten nur die jüngeren und das Diluvium nur die jüngsten Bewegungen mitmachten. Aus den Differenzen der Sprunghöhen lassen sich die Intensitäten der Verwerfungen für die verschiedenen Zeitalter berechnen. Diese Hauptverwerfungen sind somit außerordentlich langlebzig; es kann hier nicht von einer engbegrenzten Bildungszeit, sondern nur von einer Bildungsperiode die Rede sein, welche vom Oberkarbon bis zur Gegenwart reicht. Andere Verwerfer kamen früher zur Ruhe.

Einen sehr bemerkenswerten Sprung, die Blumentaler Verwerfung im westfälischen Kohlengebiete, erwähnt R. Lachmann¹⁾. Das Karbon erscheint westlich vom Sprung um etwa 300 m abgesunken; der Sprung setzt noch mit einer Sprunghöhe von etwa 80 m in den überlagernden Kreidemergel hinein, hier ist aber die östliche Scholle bei gleichem Einfallen des Verwerfers abgesunken. Lachmann erklärt dies damit, daß die Verwerfung im Karbon ursprünglich 380 m betrug und in postkretazischer Zeit die stehengebliebene Ostscholle um 80 m nachsackte. Diese Erscheinung kann auch durch postkretazische Hebung der Westscholle erklärt werden.

Daß in manchen Verwerfern die Verschiebung jetzt noch währt, hat Haussmann (Holzapfel, S. 199) in der Grube Nordstern im nördlichen Teile der Wurmmulde direkt nachgewiesen. Er ließ auf beiden Flanken einer Nebenstörung des westlichen Hauptsprunges in der tiefsten (430 m) Sohle in einem dicken Sandsteinpacken Bolzen tief ein und nivellierte sie ein; durch Bergbau veranlaßte Störungen waren ausgeschlossen. In 2¹/₂ Jahren vergrößerte sich der Höhenunterschied um 155 mm, das Hangende des Verwurfes war um so viel gesunken. Später trat die entgegengesetzte Bewegung ein, da nach weiteren 16 Monaten der Höhenunterschied nur mehr 18 mm war. Leider konnten diese sehr interessanten Beobachtungen nicht fortgesetzt werden, da nach einer gütigen Mitteilung des Herrn Prof. Haussmann diese Strecke unter Wasser kam. Auch die Herzogenrather Erdbeben beweisen, daß im Wurmrevier die Verwerfungen sich zeitweilig noch jetzt ruckweise bewegen. Auf Grund brauchbarer Zeitangaben konnte ich²⁾ für die dortigen Beben in den Jahren 1873 und 1877 Homoseisten (Linien gleicher Stoßzeit) ziehen, aus welchen hervorgeht, daß die Verschiebung längs der Aachener Querspalte, welche knapp bei Aachen nach SO. streichend, als großer Sprung bekannt ist, ferner längs eines hiervon abzweigenden, von Burtscheid

¹⁾ Glückauf 46, 206, 1910. — ²⁾ Höfer: Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst. 28, 467. Wien 1878.

nach Dürrwiss gerichteten Verwurfs und von einer über Linnich-Neuss nach NO. streichenden Spalte stattfand.

Die Verwerfer der Aachener Gegend sind dort, wo sie den Kalk durchsetzen, als Erzgänge ausgebildet; an ihren Salbändern findet man feines Erzgeriesel, welches ebenfalls auf eine spätere Bewegung hinweist; auf Grube Diepenlinchen finden sich Rutschstreifen einer jüngeren flach nach N. geneigten Seitenbewegung.

Auch im Saarrevier begegnen wir Beweisen einer langdauernden Verwurfsperiode; der südliche Hauptsprung setzt vom produktiven Karbon durch das darüber gelagerte Deckgebirge; in diesem ist die Sprunghöhe wesentlich kleiner als in jenem. Hier erfolgte die Aufrichtung und Faltung des Kohlengebirges nach dem unteren Rotliegenden, das mitgefaltet ist, welches diskordant von dem fast horizontal gelagerten Buntsandstein bedeckt ist.

Beispiele von rezenten Bewegungen in Spalten wurden auch in Erzgruben beobachtet. So beschreibt und zeichnet schon Zimmermann¹⁾ vom 13 Lachterstollen bei Clausthal zwei Gedingstufen, das sind in die Streckenwand eingemeißelte Zeichen, welche jede seit 1723 bis 1727 längs der Spalte flach um 572 mm und horizontal um 723 mm verschoben wurden. Bei dieser Beobachtung ist es etwas fraglich, ob diese Verschiebung nicht durch den Bergbaubetrieb veranlaßt wurde; dies ist jedoch bei einem anderen ähnlichen Vorkommen im Clausthaler Revier ausgeschlossen, von welchem Köhler²⁾ berichtet; das Liegende einer Strecke sank innerhalb sechs Jahre um 30 cm längs einer Spalte. Daß Spalten wiederholt aufgerissen wurden, wurde bereits gesagt (S. 93).

Schon J. Ch. Schmidt³⁾, K. Naumann⁴⁾ und v. Dechen⁵⁾ war es bekannt, daß der Akt der Bildung der Gangspalten durch längere Zeit, ja manchmal bis in die Gegenwart andauerte. Nach Klockmann⁶⁾ begann am Harz die Bildung der Gangspalten im oberen Kulm und dauerte sehr lang, vielleicht bis in die Gegenwart an. Hingegen wollte v. Koenen die Bildung dieser Spalten in die Miozänzeit verlegen. Berücksichtigt man jedoch, daß Klockmanns Ansicht im großen ganzen mit ähnlichen Erfahrungen über das Spaltenalter in Westdeutschland übereinstimmt, so gewinnt dieselbe sehr an Wahrscheinlichkeit. Diluviale und selbst alluviale Verwerfungen wurden an mehreren Orten, besonders in Norddeutschland und auf Rügen, aufgefunden. In einem Gebiete können verschieden alte Verwerfungen aufsetzen, wobei es sich fragt, ob und wie die älteren Spalten von der jüngeren Dislokation beeinflußt werden.

¹⁾ Wiederausrichtung verworfener Gänge, S. 115, 1828. — ²⁾ Berg- und hüttenm. Ztg. 60, 201, 1901. — ³⁾ Karstens Archiv 17, 1828. — ⁴⁾ Geognosie 3, 510. — ⁵⁾ Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 33, 514, 1881. — ⁶⁾ Zeitschr. f. prakt. Geol. 189, 3, S. 466.

Verwerfungen und Eruptiva.

Daß Eruptivgesteine, bzw. deren Magmen, in Spalten, welche in verschiedenem Maße verwerfen, aufstiegen, sie erweiterten und Deckenergüsse bildeten, ist eine langbekannte und in verschiedenen Teilen der Erde nachgewiesene Tatsache. Daß solche Eruptionsspalten, nun als Gesteinsgänge erhalten, tief in die Erdkruste eingreifen, also durch Zerrung, Einsturz oder auch durch vulkanischen Aufbruch entstandene Sprünge sind, ist eine notwendige Folge unserer Vorstellung vom Bau der Erdkugel, möge diese im einzelnen noch so different sein. Damit sei jedoch nicht gesagt, wie A. v. Humboldt voraussetzte, daß alle Vulkane auf Spalten sitzen.

In großen Gebieten der Erde wurden wiederholt Spalten aufgerissen und sofort mit Eruptiva gefüllt, wie z. B. die Gjár in Island, dem klassischen Land der Spaltenergüsse in historischer Zeit, woselbst aus einer 30 km langen Spalte Lava ausbrach. Aus sich stetig erweiternden Spalten erfolgten auch im W. der Vereinigten Staaten und in Dekkan Ausbrüche.

Besonders an den Rändern der Senkungsfelder, aus den hier weitesten Spalten (Randspalten), scheinen häufig vulkanische Ergüsse aufzutreten, wie z. B. im Malaiischen Archipel, wo die jungen Vulkane an die Ränder submariner Gräben (abyssische Tiefen) gebunden sind; nur in der Nachbarschaft von Tiefen über 5 000 m stehen hier die Vulkane¹⁾. Hingegen sind in Island nach Reck²⁾ dieselben vorwiegend an den die Horste begrenzenden Brüchen innerhalb der Grabenpartie gebunden, während die Ränder der Grabenbrüche vulkanfrei sind. Auch, wie z. B. in Nordostchina³⁾, sind die Kreuzungen von Längs- und Querbrüchen sehr tätige Eruptionswege. Die lineare Anordnung der Kraterreihen, der Schlackenkegel und der Reihenvulkane entspricht der Erstreckung der Vulkanspalten, die oft auch einen Graben bilden. Die Spalteneruptionen sind an keine bestimmte Magmaart gebunden.

v. Koenen⁴⁾ sagt, daß nach seinen Erfahrungen der Basalt viel häufiger aus Mulden- als aus Sattelspalten hervorgekommen ist, und erklärt dies damit, daß erstere nach unten mehr klaffen und daß in den Muldenlinien ein Druck auf die Unterlage ausgeübt wurde, welche das Magma in der Muldenspalte emporpreßte. Die Beobachtung v. Koenens ist jedenfalls anregend und erheischt weitere Bestätigung; die von ihm gegebene Erklärung müßte ja konsequenterweise nicht bloß für den Basalt, sondern für alle jüngeren Eruptivgesteine im gefalteten Gebirge Gültigkeit haben. Da jedoch die Faltenspalten

¹⁾ W. Volz: Sitzungsber. phys.-mediz. Société Erlangen **44**, 1912. — ²⁾ Durch F. v. Wolff: Der Vulkanismus, S. 411. Stuttgart 1914. — ³⁾ F. v. Richthofen: China II, S. 332, J. 30, 1882. — ⁴⁾ Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanst. 1885, S. 72.

nicht in große Tiefe reichen, sondern vielmehr oberflächennahe Erscheinungen sind, so scheint mir auch v. Koenens Erklärung nicht als zutreffend.

Verwerfungen und Tektonik.

Das Antlitz der Erde schufen die Faltungen und Verwerfungen; Wasser, Luft und Eis modellierten später die Details aus. Berücksichtigt man die Grabenversenkungen der Meere, so wird man den Verwerfungen mindestens dieselbe Bedeutung wie den Faltungen zuerkennen müssen. Doch selbst in den Festländern haben die Verwerfungen im Aufbau der Erdoberfläche im hohen Maße mitgewirkt; es sei bloß an den fast 60 Breitengrade langen ostafrikanisch-syrischen Graben oder an den unvergleichlich kleineren des Rheintales erinnert, an die tektonische Bedeutung der Verwürfe in Norwegen, in Griechenland, Syrien, in Ostasien, hier ist z. B. die zerrissene Gestalt Celebes durch Verwerfungen bedingt, an die Schweizer Fernwechsel, welche die Gebirge bis zu 30 km erhöht haben sollen. Viele in die Länge gezogenen Seen, nicht bloß in Ostafrika und im Jordantal, sondern auch anderorts, wie z. B. in den Alpen, verdanken ihre Entstehung und Form Grabensenken, anders gestaltete Seen den Bruchfeldern. Vielfach werden die Küstenlinien, Golfe, Halbinseln und Fjorde von Verwerfern bedingt und Inseln wurden durch sie vom Festland abgetrennt. Die Täler folgen häufig den Verwürfen, besonders, wenn sie von Zerrüttungszonen begleitet sind, welche dann den Flüssen den Lauf vorschreiben. Der Einfluß der Spalten auf die Talbildung ist ein doppelter; durch einen Verwurf findet eine Verschiebung auf der Erdoberfläche statt; dies ist die primäre Ursache. Längs dieses Verwurfes erfolgt auch eine Zerrüttung des Nebengesteins, so daß das junge Tal durch Erosion leicht weiter vertieft und verbreitert werden kann. Es ist so oft zu beobachten, daß Längstäler Antiklinen, also ursprünglichen Aufwölbungen, die Gebirgszüge den Synklinen entsprechen. Bei der Bildung der Antikline entstanden nach oben klaffende Aufbruchspalten; der Rücken wurde an der Erdoberfläche um so mehr zerklüftet und zerrüttet, je steiler die Antikline ward. Da konnten dann die Erosion, Denudation, Gletscher u. dgl. mit größtem Erfolg einsetzen und mächtige Längstäler auswaschen und ausschaufeln.

Verwerfer bedingen Steilabstürze und Terrassen, welche, besonders im Schollengebirge, oft bedeutende Höhen erreichen können; mehrere Beispiele wurden bereits gegeben. Der Verwerfungsabsturz ist nach Heim und de Margerie¹⁾ „die Absturzfläche, die geblieben ist, wenn seit der Entstehung der Verwerfung keine Veränderung der Oberfläche eingetreten ist“. Hiervon unterscheidet Alb. Heim²⁾ die

¹⁾ Dislokationen der Erdrinde, S. 15. — ²⁾ Das Säntisgebirge, S. 687. Bern 1905.

Bruchwand, welche einen Steilabsturz durch einen Verwerfer bildet, der ein gegen Verwitterung und Erosion beständigeres Gestein neben ein solches mit geringerem Widerstand bringt. „Die Bruchwand fehlt im allgemeinen, wo gleiches Gestein beide Bruchflügel bildet.“

Ein sehr lehrreiches Beispiel bietet das Kupferschiefergebiet von Kamsdorf in Thüringen; hier prägen sich nach F. Beyschlag¹⁾ die Verwerfungen, Rücken genannt, am Tag durch treppenförmige Absätze aus und andererseits durch schmale Rinnen zwischen zwei konvergent einfallenden Rücken.

War ein verhältnismäßig junges Faltental vorhanden und wurde es nachträglich von einer Querverwerfung durchschnitten oder verschoben, so konnte wenigstens die eine Hälfte abflußlos und zu einem See umgewandelt werden, solange der Abfluß gehemmt oder unmöglich war. Alb. Heim kennt einen solchen Fall vom Säntisgebirge.

Verwerfer bedingen oder unterstützen auch Felsrutsche und Felsstürze.

Die Verwerfungen können auch als Maß der Erosion und Denudation dienen, wenn die Zeit ihrer Entstehung und die Verschiebungsgröße (Sprunghöhe usw.) bestimmt ist. Ursprünglich war die Höhe der Terrasse gleich der Sprunghöhe; mittlerweile wurde bis zur Gegenwart die höher gelegene Scholle teilweise abgetragen und die tiefere mit den Abtragsprodukten erhöht; die Mächtigkeit dieser Auffüllung kann durch Grabung oder Bohrung festgestellt werden, so daß sich die Höhe des Terrassenrestes messen läßt; diese abgezogen von der Sprunghöhe des Verwerfers gibt die Denudationshöhe für die Zeit der Entstehung des Verwerfers bis zur Gegenwart. Diese Methode ist hier nur in allgemeinen Zügen gegeben.

Verwerfer und Erdbeben.

A. Verwerfer durch Erdbeben entstanden. Bei größeren Beben haben sich in der Erde teils neue Spalten gebildet, teils wurden alte wieder aufgerissen, welche entweder offen blieben oder sich während des Bebens oder gleich nach dessen Ende wieder schlossen; an ihnen wurden verschiedene Verschiebungen beobachtet; sie sind deshalb Verwerfer.

Selten wurde nur eine Spalte aufgerissen; häufiger traten mehrere auf, die entweder parallel und ziemlich geradlinig, oder auch sich kreuzend, gebogen und zickzackförmig verliefen; sie bildeten also entweder einen Spaltenzug oder ein Bruchfeld. Gewöhnlich trat eine Spalte, die Hauptspalte, infolge ihrer Ausdehnung hervor; sie war von Nebenspalten begleitet.

¹⁾ Jahrb. d. Preuß. geolog. Landesanstalt, S. 339, 1888.

An einigen Beben der neueren Zeit seien die geometrischen Verhältnisse der aufgetretenen Erdspalten erläutert.

Bei dem Beben von Lokris¹⁾ (Griechenland) im Jahre 1894 entstand die zur Küste (Kanal von Atalanti) parallele, 65 km lange und bis 4 m breite, fast geradlinige Lokrisspalte, an welcher auch eine geringe horizontale Verschiebung nach NW. stattfand. Sie begann am Meere östlich vom Kopaissee und erstreckte sich in nordwestlicher Richtung bis Hagios Konstantinos. Diese Spalte durchschneidet kretazische Kalke, Dolomite und Schiefer, neogene Mergel, Sandsteine und Konglomerate, Alluvionen und Serpentin; in der festen Kreide war die Sprunghöhe unbedeutend (30 cm) und die Spaltenbreite 5 bis 25 cm, hingegen im Neogen und Alluvium erstere bis 2 m, letztere bis 4 m; die nordöstliche Scholle war gesunken. Die Nebenspalten hatten NO.—SW.-Streichen; eine derselben verwarf bei Skuderaga um 15 bis 20 m. Die Meerenge von Atalanti ist ein Grabenbruch; die nachbarliche Insel Euböa dürfte auf dieselbe Weise, und zwar zur Zeit der Menschenbesiedelung, abgetrennt worden sein. Das Erdbeben von Lokris ist somit eine Fortsetzung der Grabenbewegungen.

Bei dem kalifornischen Erdbeben²⁾ vom 18. April 1906 erfolgte auf einer 432 km langen, nach N. 30 bis 40° W. streichenden und bis 20 m breiten, steilen Spalte eine horizontale Landverschiebung derart, daß das südwestlich angrenzende Gebiet durchschnittlich um 10 Fuß (3,05 m) nach NW. geschoben wurde; der Horizontalverwurf ist 21 Fuß (6,4 m) bis 5 Fuß (1,5 m) und nimmt gegen S. ab. Weiter nach NW. zu erfolgte auch eine Vertikalverschiebung in der Art, daß die südwestlich angrenzende Scholle um 2 bis 3 Fuß (0,6 bis 0,9 m) gegen die nordöstliche gehoben wurde. Weiter im S. fand eine solche Bewegung in umgekehrter Weise statt, also Drehbewegung. Die Triangulationspunkte nördlich von der San Franziskobai wurden in der Zeit von 1856/60 bis 1906 stetig nach N. um etwa 2,34 m, während des Bebens um weitere 2,61 m nach N. bzw. 2,13 m nach S., je nach der Lage des Ortes gegenüber der Spalte, verschoben. Messungen an der Basislinie Diablo—Mocha ergaben keine Veränderungen, hingegen wiesen hiervon südlich gelegene Orte Verschiebungen gegen S. auf. Die Bewegungen während dieses Bebens waren also komplizierte, und zwar im N. von der San Franziskobucht nordwärts, in der Montereybai südwärts. Der Verlauf des Bebens fällt genau mit dem schon lange bekannten San Andresverwerfer zusammen.

Das mitteljapanische Erdbeben im Jahre 1891 riß eine geradlinig verlaufende, 112 km lange Spalte auf, an welcher die eine Scholle

¹⁾ Th. G. Skuphos: Ges. f. Erdkunde, 29, 409. Berlin 1894. — ²⁾ Offizieller Bericht der staatlichen Untersuchungskommission. Referat A. Klautzsch: Naturw. Rundschau 24, 417, 1909. G. K. Gilbert: Americ. Journ. scienc. 177, 48, 1909.

gegen die andere vertikal um 2,5 bis 6 m, horizontal um 1,6 bis 2 m verschoben wurde. Bei dem Erdbeben in Assam im Jahre 1897 hatte die entstandene Chedrangverwerfung bis 11 m Sprunghöhe.

Bei dem Beben im Jahre 1876 entstand im NO. des Feldes der Mariagrube bei Höngen im Wurmrevier¹⁾ ein ziemlich gerader, fast 300 m langer Verwurf, der nach SO. gerichtet und dessen südlicher Teil fast lotrecht um 50 cm abgerutscht war; die Senkung nahm von W. nach O. ab.

B. Erdbeben in Verwerfern entstanden. Es wurde vordem gesagt, daß das kalifornische Erdbeben (1906) seinen Herd im San Andresverwerfer hatte und daß das Lokrisbeben (1894) ebenfalls auf neuerliche Bewegungen in den Grabenspalten zurückzuführen ist. Bekanntlich werden derartige Erdbeben tektonische genannt; der Herd, auf die Erdoberfläche projiziert, ist die Stoßlinie, deren Streichen mit dem des Verwerfers zusammenfällt. Ihre Lage wird mit Hilfe der Linien gleicher Stoßstärke (Iseisten) oder genauer mittels der Linien gleicher Stoßzeiten (Homoseisten) bestimmt. Für die Erdbeben von Herzogenrath²⁾ habe ich auf Grund der Homoseisten nachgewiesen, daß dieselben von drei Stoßlinien ausgingen, welche wenigstens zum Teil mit bereits bekannten Verwerfern zusammenfallen (s. S. 99). Es können also verdeckte Verwerfer durch Stoßlinien verraten werden, was auch bergbaulich sehr wertvoll sein kann.

E. Reyer gibt in seiner „Theoretischen Geologie“ (S. 687 bis 691) eine übersichtliche Zusammenstellung der mit den Verwerfern zusammenfallenden Stoßlinien der Schweiz und des südalpinen Gebietes Österreichs, wozu jedoch berichtigend bemerkt sei, daß die auch dort erwähnten Mürz- und Murlinien nicht erwiesen sind.

E. Sueß³⁾, welcher der Erdbebenforschung vielfach neue Wege zeigte, sagt: „Vorausgesetzt nun, was gerne zugegeben werden mag, daß keine Dislokation ohne Erdbeben gebildet wird, muß es so viele Arten von Dislokationsbeben geben, als es Gruppen von Dislokationen gibt, und dieselben Grundsätze der Einteilung müssen auch hier Geltung erlangen. Hiernach hätten wir wenigstens in jenen typischen Fällen, in welchen die Zerlegung der tellurischen Spaltungen eine vollständigere ist, zwei Hauptgruppen zu unterscheiden; nämlich Erdbeben, welche aus tangentialen Spannungen, und solche, welche aus Senkung hervorgehen.“ Zu den Blattbeben rechnet er alle aus dem nordöstlichen Teil der Ostalpen, ferner jenes von Sillein (Ungarn) vom 15. Januar 1858, deren Achsen (Stoßlinien) quer auf das Streichen des Gebirges gerichtet sind und zu bekannten nachbarlichen Blättern (Horizontalverwerfungen) parallel sind. Das belgische Erdbeben vom 23. Februar 1828 wird unter Hinweis auf Lassaulx als Wechselbeben

¹⁾ Wagner: Beschreibung des Bergreviers Aachen, S. 63, 1881. — ²⁾ Jahrb. k. k. geol. Reichsanst. Wien, 1878. — ³⁾ Antlitz der Erde 1, 238, 1883.

angesehen, welches vom Eifelwechsel ausging. Das große kalabrische Erdbeben von 1793 ist nach E. Sueß ein peripherisches Senkungsbeben.

Nach F. Frech¹⁾ nimmt die Häufigkeit und Stärke der Beben mit dem Alter der Dislokation ab.

Erkennen der Verwerfer obertags.

Obertags kann man die Verwerfer im nackten Gebirge deutlich sehen und in der Regel an ihnen alles Wissenswerte bestimmen. Im

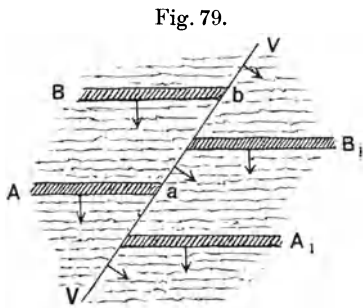


Fig. 79.

Erkennen der Verwerfer obertags.

teilweise oder gar nicht bedeckten Gelände läßt sich eine Verwerfung dadurch feststellen, daß man eine gut bezeichnete Einlagerung *A* (Fig. 79), z. B. einen Kalk- oder Kohlenflöz, einen Gang, streichend im Gelände verfolgt, bis die Fortsetzung in dieser Richtung plötzlich bei *a* verschwindet, jedoch rechts oder links von *a* wieder nachweisbar ist; beide Stücke *A* und *A*₁ sind dann durch einen Verwerfer *V* getrennt. Kann man dieselbe Erscheinung bei *b* auch an einer zweiten Einlagerung *B* beobachten, so ist durch die Verbindung von *a* und *b* die Verwerfung *VV* streichend bestimmt; ist das Gelände horizontal, so ist *ab* auch die Streichlinie.

Ein Verwerfer kann mit Mineralien, wie Quarz, oder einem sehr festen Eruptivgestein usw., ausgefüllt sein, welche der Verwitterung besser widerstehen als das Nebengestein; dadurch tritt der Verwerfer riffartig aus dem Boden und kann leicht verfolgt werden. Weniger auffallend ist es, wenn die Ausfüllungsmasse fehlt oder leichter als das Nebengestein verwittert und die Verwerfung sich als graben- oder furchenartige Vertiefung bemerkbar macht. Sind jedoch solche Verwerfer bedeutend, so können sie unterstützt von der in dieser Zerrüttung einsetzenden Erosion Talbildung bedingen und schreiben den Wasserlauf vor.

Manchmal äußern sich Verwerfungen als Steilabstürze des Geländes und können dann auch eine sehr junge quartäre und tertiäre Ablagerung begrenzen (Grenzverwerfung nach E. de Margerie und A. Heim). Nachdem solche felsige Steilwände schon lange der Verwitterung ausgesetzt sind, so sind sie in der Regel rau und zeigen höchst selten Glättungen und Rutschstreifen. Im weichen Gebirge können Verwerfer Staffeln bilden, welche um so ausgeprägter sind, je jünger sie sind; die Denudation ebnet die Stufen allmählich ein.

¹⁾ Petermanns geogr. Mitteilungen 1907.

Auch Quellen, besonders Mineralquellen, verraten oft die Verwerfer, da in ihnen das Wasser aufsteigt. Manche Quellen setzen auch Mineralien, wie z. B. Kalksinter, ab und sind dann sehr beachtenswerte Merkmale zum Aufsuchen und Verfolgen von Verwerfungen; doch sei bemerkt, daß Kalktuff nicht immer mit einem Verwerfer zusammenhängt. Eine Reihe von Quellen entspringt oft demselben Verwerfer, der dann Quellenspalte genannt wird; es treten auch Quellenspaltenzüge (Karlsbad) auf.

Gas-, oft Kohlensäureaustritte verraten ebenfalls das Vorhandensein der Verwerfer.

Der Kontakt eines Eruptivgesteins mit einem Sedimentgestein kann entweder ursprünglich sein oder er wird durch einen Verwerfer gebildet. Im ersteren Falle ist das Sedimentgestein umgewandelt und das Eruptivgestein zeigt Randfazies; das Eruptivgestein ist z. B. am ursprünglichen Kontakt feinkörnig, zum Teil porphyrisch, hiervon entfernt grobkörnig. Bei einem Verwurfskontakt hingegen fehlen die Veränderungen sowohl des Eruptiv- als auch des Sedimentgesteins.

Bildliche Darstellung der Verwerfungen.

Die Verwerfer werden sowohl in Profilen als auch in Horizontalschnitten und in der horizontalen Projektion, wie z. B. in Karten, bildlich dargestellt; besonders interessante Fälle werden behufs größerer Deutlichkeit perspektivisch, stereographisch oder auch im Flachriß gezeichnet.

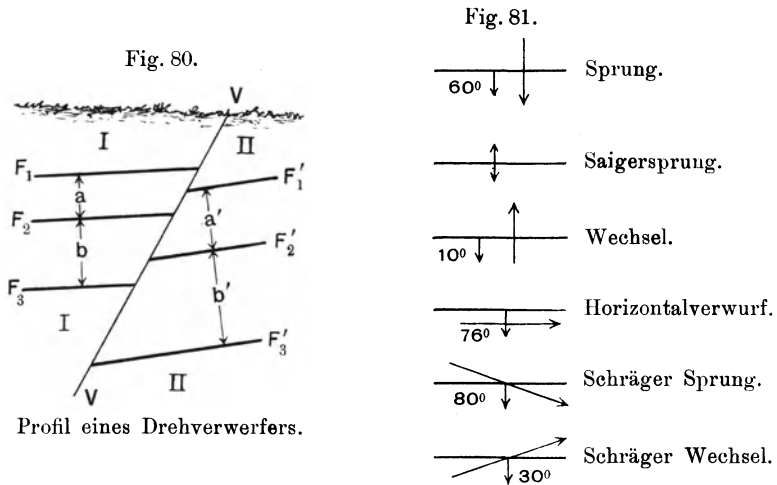
Die Profile zeigen entweder einen Sprung oder einen Wechsel; seitliche Verschiebungen können nicht zum Ausdruck gelangen. Dies ist auch die Ursache, daß man sich mit jenen beiden Verwerferarten lang begnügte und die doch so häufigen Horizontalverwerfer erst infolge des Studiums der Rutschstreifen erkannte. Im Profile sind nicht bloß alle Änderungen des Fallens des Verwerfers, sondern auch seiner Nebengesteine einzuzeichnen, welche gestatten, die Sprung- und Schubhöhen messen zu können. Auch eine mögliche Gabelung oder Zersplitterung kommt zum Ausdruck. Drehbewegungen können wenigstens in Hauptzügen im Profil erkannt werden. In Fig. 80 ist in der (a. f. S.) Scholle I die Entfernung der drei Flöze $F'_1 F'_2 F'_3$ kleiner als in II; dies ist nur möglich, daß I bei der Abrutschung derart gedreht wurde, daß die vertikale Profilebene nun in I die flacher einfallenden Flöze trifft, durch welche Drehung die lotrechten, doch zu den Flözen schiefen Entfernungen verkleinert wurden.

In den Horizontalschnitten wird aus gleichem Grunde die Entfernung der einzelnen Flöze durch eine Drehbewegung verändert.

In den Karten wird die Ausbiß-, das ist die Durchschnittslinie des Verwerfers mit der Erdoberfläche, entweder mittels einer starken schwarzen oder einer grellfarbigen Linie dargestellt. Dabei ist nicht

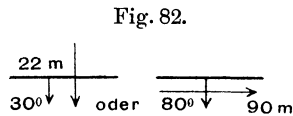
zu übersehen, daß ein ganz ebener Verwerfer im Durchschnitt mit einem welligen Gelände eine wellige Ausbißlinie geben muß. An dieser Linie ist bei entsprechend großem Maßstab der Karte mittels eines Pfeiles die Fallrichtung einzuzeichnen, neben welchem die Größe des Fallwinkels eingeschrieben wird.

Ist der Verwerfer nur an einem Orte aufgeschlossen und seine Lage dort bestimmt, so wird in die Karte an der betreffenden Stelle die Streichlinie stärker und daran schwächer der dazugehörige Verflächungspfeil eingezeichnet; die Bewegungsrichtung wird durch einen längeren Pfeil gekennzeichnet: so ergeben sich die aus der Fig. 81 zu ersehenden Zeichen. Die einzelnen Beobachtungsorte werden miteinander durch eine starke Linie verbunden, wenn der Verwerfer verfolgt werden konnte, mit schwacher oder gestrichelter Linie, wenn



dies nicht der Fall ist, also die Fortsetzung des Verwerfers nur Sache der Kombination ist.

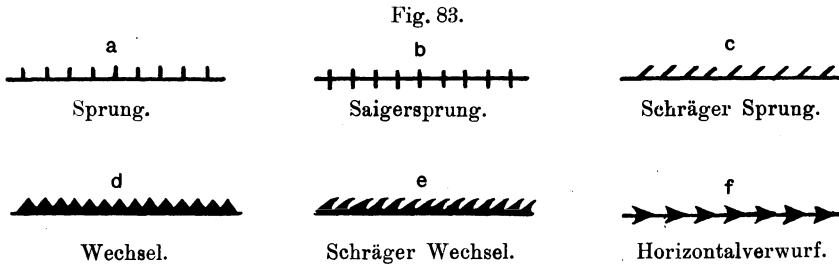
Manchmal ist es von Vorteil, in Detailkarten auch die saigere Sprung- bzw. Schubhöhe, oder auch die Schublänge an dem Zeichen des Verwerfers zu notieren, was bei Sprüngen und Wechseln an der Wurzel des Fallpfeiles, bei Horizontal- und schrägen Verwerfern an dem Bewegungspfeil geschehen kann, z. B. wie in Fig. 82:



Man hat dann alle geometrischen Elemente behufs Konstruktionen vereint und übersichtlich zur Hand.

In Übersichtskarten lassen sich die erwähnten detaillierten Einzeichnungen in die Ausbißlinie des Verwerfers meist nicht anbringen;

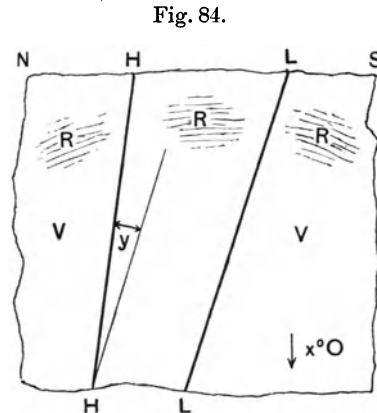
man muß sich oft begnügen, bloß die Art des Verwerfers anzudeuten, was in folgender Art geschehen kann (Fig. 83):



Die kurzen Querlinien und die Spitzen der Dreiecke bezeichnen auch die Bewegungsrichtung des Verwerfers.

Die geotektonischen Karten geben nur dann ein vollständiges und brauchbares Bild, wenn ihnen nicht bloß, wie so oft üblich, die Verwerfungen, sondern auch die Art derselben eingezeichnet sind.

Die Sprunghöhen markiert C. Regelman in seinen vortrefflichen Karten mittels der Dicke der Striche, und zwar bis 100 m, von 100 bis 1000 m und darüber; es scheint mir übersichtlicher, wenn dies mittels eines oder mehrerer Striche geschähe; doch für die verschiedenen Gebiete werden auch andere Abstufungen und Bezeichnungen zu wählen sein. Die Verflächungspfeile der Schichten lassen erkennen, ob der Sprung zu- oder abfallend ist.



Statt der perspektivischen und stereographischen Darstellung, welche der Geschicklichkeit des Zeichners überlassen wird, bedient man sich des Flachrisses des Verwerfers, das ist das Bild, wie es sich am Verwerfer als Projektionsebene darstellt. Dabei äußert sich eine Drehbewegung deutlich durch die Konvergenz der Scharungslinien H und L . In Fig. 84 ist V die Ebene des Verwerfers, welcher z. B. mit x° nach O fällt. HH ist die Scharungslinie einer Leitschicht (Lagerstätte) der Hangendscholle, LL der Liegendscholle. Beide Durchschnittslinien konvergieren, folglich fand eine Drehbewegung statt; der Drehwinkel projiziert sich am Verwerfer als $\sphericalangle y^\circ$. Auch die Rutschstreifen R können im Flachriß in ihrer natürlichen Lage dargestellt werden. Fand eine Parallelverschiebung, welcher Art immer, statt, so werden die Scharungslinien parallel sein. Die Darstellung des Verwerfers im Flachriß gibt von ihm eine klare Vorstellung und ist für verschiedene, besonders praktische Fälle von Vorteil.

W. Spitz¹⁾ gibt einen „Versuch eines Schemas zur Darstellung von Kluft- und Harnischbeobachtungen“, auf welchen verwiesen sei.

Bedeutung der Verwerfer für den Bergbau.

Die Verwerfer sind fast durchweg dem Bergbau abträglich; sie schneiden die Lagerstätte ab und die Fortsetzung derselben, das verworfene Trumm, muß aufgesucht, „ausgerichtet“ werden, wozu ein im Tauben getriebener Bau — Strecke, Querschlag, Aufbruch oder Gesenke — notwendig ist, dessen Vortrieb Zeit und Geld kostet. Besonders in früherer Zeit, als man in der Ausrichtung der Lagerstätten wenig bewandert war, oder dabei mit Vorurteilen vorging, kam es wiederholt vor, daß man das verworfene Trumm auf einer verfehlten Seite, somit vergeblich suchte, wodurch der Glaube entstand, die Fortsetzung der Lagerstätte fehle gänzlich, weshalb der Bergbau entwertet und auch aufgelassen wurde. Es kam vor, daß geldschwache Gewerke die Kosten eines längeren Ausrichtungsbaues nicht erschwingen konnten und zum Auflassen des Bergbaues gezwungen wurden.

Die Ausrichtungsstrecke weicht naturgemäß von dem Streichen der Lagerstätte ab, wodurch in die Fortsetzung der in dieser ausgefahrenen Strecke eine Krümmung eingeschaltet wird, ebenso bei der Anfahrung des verworfenen Trumms. Diese doppelte Biegung beeinträchtigt sowohl die Förderung als auch die Wetterführung.

Die Verwerfer bedingen manchmal auch größere Wasserzuflüsse, welche im Tiefbau verhängnisvoll sein können. Hier sind zwei Möglichkeiten zu berücksichtigen. Ein offener Verwerfer, der mit anderen vereint ein großes Netz bilden kann, ist wasserführend; wird er in der Grube angeschlagen, so stürzen große Wassermassen herein, manchmal mit solcher Gewalt, daß sich nicht alle Menschen retten können. Dies war nach meinem Erachten bei der reichen Silbergrube zu Kuttenberg der Fall; die damaligen Hilfsmittel zur Wasserbewältigung waren ganz unzureichend und der vorher schwungvoll betriebene Bergbau kam zum Erliegen. Im Jahre 1878 kam man im Döllinger Schacht bei Dux (Böhmen) einem Verwerfer nahe, dessen Wasser unter dem Druck der darüber stehenden Wassersäule plötzlich in die Grube einbrach, diese und die damit verbundenen Nachbargruben erstoff, wobei mehrere Menschen ertranken. Dieser Verwerfer, welcher den Teplitzer Porphyrstock im W. abschneidet, ist in Verbindung mit der Teplitzer Thermalspalte, weshalb deren Wasser ebenfalls sank. Die Bergbaue blieben mehrere Jahre außer Betrieb, die Bewältigung des Wasserzuflusses in der Grube kostete mehr als 1½ Millionen Kronen und die Teplitzer Thermen erheischten überdies sehr bedeutende Kosten, um sie auf ihren früheren Stand zu bringen.

¹⁾ Jahresber. u. Mitteil. Oberrh. geol. Ver., N. F., 3, 48, 1913.

Andererseits können geschlossene Verwerfer, mit tonigem oder lehmigem Mittel erfüllt, sehr gut das Wasser abdichten; es kann hinter dem Verwerfer infolge der Verschiebung ein wasserführendes Gestein sein; wird der Verwerfer angehauen, so drückt das Wasser den Ton oder Lehm des Verwerfers durch und große Wassermassen strömen in die Grube. Dies kam z. B. wiederholt im untersteierischen Flöz-zug vor. Das Kohlenflöz liegt im wasserdichten Tertiär, in dessen Liegend örtlich wasserreicher Dolomit ist. Kommt die Flözstrecke F (Fig. 85) bei w an den Verwerfer V , so wird das Dolomitwasser der Scholle II in die Grube einbrechen.

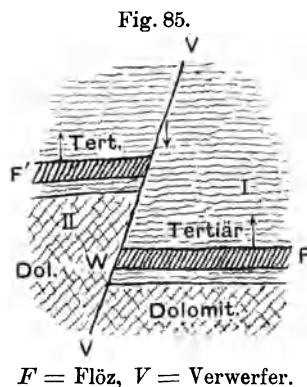
Offene Verwerfer können Gase führen, welche manchmal unter so hohem Druck stehen, daß der Kohlenkörper zwischen dem Feldort im Flöz und dem Verwerfer herausgeschleudert wird und Menschen dadurch verunglücken. Ist das Gas Methan, so bedingt es verheerende Schlagwetterexplosionen, ist es Kohlensäure, so ist das Menschenleben gleichfalls in größter Gefahr.

Da manche Verwerfungen, häufig die Wechsel, das Nebengestein zerrütteten, so kann bei deren Durchörterung auf die Grubenbaue ein großer Druck ausgeübt werden, wodurch große Erhaltungskosten und Betriebsstörungen, manchmal auch Gefahren für das Leben bedingt sind. Dies wird um so fühlbarer, wenn der Verwurf noch nicht zur Ruhe kam, wie dies z. B. aus dem Wurmrevier bei Aachen bekannt ist.

Bei Kohlenflözen ist die Kohle in der Nähe der Verwerfung oft so zerrüttet, daß nur minderwertige Kleinkohle fällt, die manchmal durch eingeschwemmten Ton, durch begonnene Entgasung u. dgl. nur für den eigenen Gebrauch und nicht im Handel verwendbar ist.

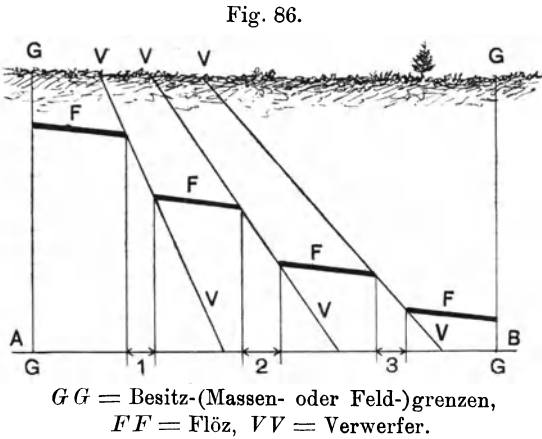
Verwerfungen, welche ein Kohlenflöz durchsetzen, stellenweise nur ganz geringe Verschiebungen bedingen, führen oft feinstgeriebene, fast rußige Kohle, welche sehr zur Selbstentzündung neigt und deshalb besondere Aufmerksamkeit erheischt, um Grubenbrände hintanzuhalten. Die sogenannten „Rußreuten“ im nordwestböhmisches Braunkohlenbecken sind derartige Verwerfungen mit kaum merkbarer Verschiebung.

Viele und naheliegende Verwerfungen können den Bergbaubetrieb derart erschweren und verteuern, daß derselbe unrentabel ist; Sprünge und auch Horizontalverwürfe, wenn sie nicht saiger stehen, setzen den Kohlen- bzw. Erzvorrat herab, und zwar um so bedeutender, je flacher sie liegen und je größer die Sprunghöhe ist; auch



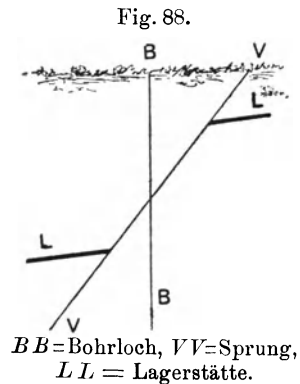
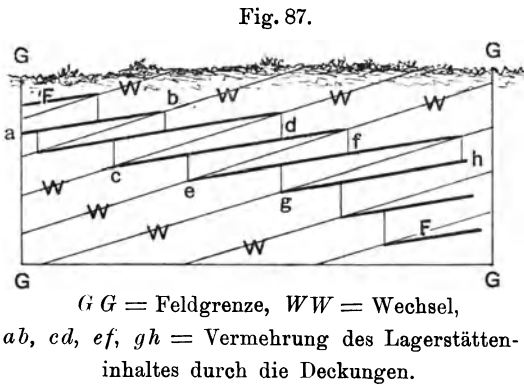
die gegenseitige Neigung der Lagerstätte und der Verwerfer ist hierbei von Einfluß.

In der ganzen Fläche des Feldes, im Querschnitt (Fig. 86) durch die Linie AB ausgeprägt, sind Flözlücken mit 1, 2 und 3 bezeichnet, welche den Kohlenverlust durch die Verwerfungen linear darstellen und hier etwa ein Viertel von AB betragen.



Hingegen vermehren die deckenden Wechsel das Lagerstättenvermögen und sind deshalb willkommen, welcher Vorteil jedoch mehr oder weniger durch die Nachteile aufgehoben werden kann, welche die Ausrichtung der Verwerfer bedingen (Fig. 87).

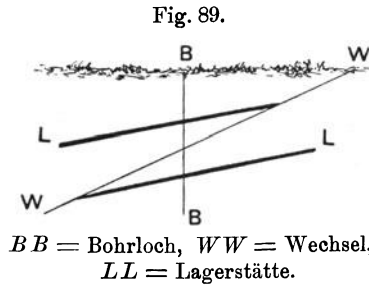
Bei Schurfbohrungen können Verwerfer die Beurteilung des Lagerstättenvermögens wesentlich stören. Stößt das Bohrloch B (Fig. 88) auf einen Sprung V , so wurde vorausgesetzt, die Lagerstätte sei ausgekeilt; ein zweites Bohrloch wurde zufälligerweise



im Streichen desselben Sprunges angesetzt und hatte deshalb ebenfalls einen Mißerfolg; es wäre ein großer Fehler, das dritte Bohrloch in der Richtung vom ersten zum zweiten zu legen, im Gegenteil, es muß weitab von dieser Richtung nach rechts oder links gegeben werden. Haben die Verwerfer in einem Schurfgebiet eine vorherrschende Streichrichtung, so ist dieselbe bei der Anlage des zweiten Bohrloches zu meiden, wenn die erste Bohrung einen Mißerfolg hatte. Sorgfältige Beobachtung während des Bohrens läßt Verwerfungen erkennen oder wenigstens mit einem gewissen Sicherheitsgrad vermuten.

Eine andere Täuschung bedingt das Durchbohren eines deckenden Wechsels *W* (Fig. 89); dieselbe Lagerstätte *L* wird zweimal durchbohrt, wodurch man zu der Annahme verleitet wird, es seien zwei verschiedene Lagerstätten vorhanden.

Höchst selten ist ein Verwerfer dem Bergmann willkommen, so z. B. zur Abgrenzung eines Brandfeldes, wenn er mit Letten geschlossen ist und keinen Kohlenstaub führt. Zufälligerweise kann ein Verwerfer eine willkommene Abbaugrenze sein. Hier und da wurde ein offener Verwerfer zur Ableitung des Grubenwassers verwendet oder er beförderte auch die Ventilation. Tiefe Gräben haben die Lagerstätten, z. B. die Kohlenflöze, vor Abrasion geschützt.



Die Verwerfer spielen in der Erdölgeologie eine hervorragende Rolle. Wird eine primäre Öllagerstätte von einem Verwerfer, der mehr oder weniger offen ist, durchschnitten, so steigt infolge des Gasdruckes in ihm das Öl hoch, ergießt sich, wenn die Spalte bis zum Tag reicht, daselbst in größerer oder geringerer Menge. Andererseits würde der Verwerfer zu einem Ölgang. Reicht die Spalte nicht bis an die Erdoberfläche, wird sie z. B. öldicht überlagert, so wird das aufsteigende Öl in poröse Gesteinslager gepreßt und es bildet sich ein sekundäres Erdöllager.

Bergmännische Ausrichtung der Verwerfungen.

Unter Ausrichten eines Verwerfers versteht der Bergmann das Suchen und Finden der Lagerstätte jenseits des Verwerfers. Dies geschah zuerst mittels der Regel: der verworfene Gang ist auf der Seite des stumpfen Winkels zu suchen. Auf Grund von Beobachtungen besonders im Siegenerlande nahm J. Chr. Schmidt¹⁾ an, daß alle Verwerfer Sprünge sind; da wäre eine sogenannte Regel gar nicht notwendig gewesen, da jeder denkende Bergmann, vor einem Sprung stehend, auf Grund der Annahme, das Hangende sei abgerutscht, also tiefer liegend, den Ort des verworfenen Trummers leicht bestimmen konnte. Schmidts Regeln sind: „Fällt der Verwerfer von uns ab, so müssen wir auf das jenseitige Stück abteufen. . . Im entgegengesetzten Falle haben wir auf derjenigen Ganghälfte in die Höhe zu brechen. . . Beide Regeln sind nicht anwendbar, wenn der abschneidende Gang (der Verwerfer) saiger fällt.“ Damit sind die Ausrichtungsbaue nach auf- und abwärts angegeben; für die seitliche Ausrichtung gibt

¹⁾ Theorie der Verschiebung älterer Gänge. Frankfurt a. M. 1810.
Höfer, Verwerfungen.

Schmidt vier Regeln an (S. 53), von welchen folgende erwähnt seien: Fällt der Verwerfer uns zu, so ist das verworfene Gangstück im Hangenden, fällt der Verwerfer von uns ab, im Liegenden des abgeschnittenen Ganges zu suchen. Die dritte und vierte Regel beziehen sich auf saigere Verwerfer.

Ch. Zimmermann¹⁾ nimmt die Schmidtsche Hypothese vom Ableiten des Hangenden als richtig an, findet jedoch dessen Regeln (insbesondere die vierte) „als zweifelhaft und zweideutig, nicht erschöpfend, nicht evident und nicht völlig richtig“. Er stellt dann (S. 49) in 17 Zeilen eine neue Regel auf, die konstruktiv und, wie der Umfang derselben zeigt, nicht gut handlich ist. Dies fühlte auch Zimmermann, er erwähnt auch die von Charpentier mitgeteilte Beobachtung (s. S. 51), welche mit der Hypothese nicht übereinstimmte, und bemerkt, daß, wenn diese Beobachtung als richtig anerkannt werden müßte, über seine Regel in wissenschaftlicher und technischer Rücksicht der Stab gebrochen würde.

So entwickelte sich die Schmidt-Zimmermannsche Regel, welche, trotzdem man andere Verwerfungsarten als Sprünge in den Bergbauen kennen lernte und mit ihr manche böse Erfahrungen machte, bei den Bergleuten, besonders bei den Markscheidern, als ein feststehendes Gesetz angesehen wurde. Sie traf ja in Senkungsgebieten vielfach zu. Jene Regel bekam später von Kühn²⁾ und von Hecht³⁾ andere Fassung, der Grundgedanke, „alle Verwerfungen sind Sprünge“, blieb derselbe.

v. Oppel, Kästner, Lampe beschäftigten sich mit dem rechnerischen und konstruktiven Teil der Ausrichtung der Verwerfer, wobei sich später Ch. Zimmermann um die Lösung derartiger Aufgaben große Verdienste erwarb, ebenso v. Carnall⁴⁾, welcher bereits auch die Wechsel, die er Untersprünge und eine seltene Erscheinung nennt, kannte. Er behandelt die Verwerfungen, vorwiegend die Sprünge, sehr eingehend und stellt für letztere folgende Regel zu ihrer Ausrichtung auf: „Wenn der Sprungwinkel⁵⁾ spitz ist, hat man bei zufallender Kluft ins Dach, bei abfallender in die Sohle, wenn jener Winkel stumpf ist, aber in entgegengesetzter Richtung aufzufahren“ (S. 175).

Alle diese Regeln, welche vielleicht bei ihrem Erscheinen sensationell gewirkt haben mögen und welche doch nur für Sprünge gelten, sind eigentlich ein Drill zur Denkfaulheit, da selbst mit wenig Raumvorstellung der Sprung leicht ohne Regel ausgerichtet werden kann.

Die Ausrichtung der Verwerfungen muß andere, sie muß geologische Wege gehen, es muß die Art der Verwerfung und, wenn möglich, auch deren Maß festgestellt werden. Hierbei ist zuerst die

¹⁾ Die Wiederausrichtung der verworfenen Gänge. Darmstadt 1878. — ²⁾ Geognosie 2, 630, 1, 635. — ³⁾ Naumanns Geognosie. — ⁴⁾ Die Sprünge im Steinkohlengebirge. Berlin 1835. — ⁵⁾ Der Sprungwinkel ist der Winkel der Schnittlinie mit der Streichlinie der Kluft in der Sohle des abgeschnittenen Flöztes.

Richtung der Bewegung zu bestimmen; sie ist durch Rutschstreifen markiert, gleichsam versteinert worden. Diese sind an möglichst vielen Orten zu beobachten und untereinander zu vergleichen, um die maßgebende Richtung der Bewegung feststellen zu können. Es sei hier auf S. 57 verwiesen.

Die Verwerfer sind keine mathematischen Ebenen, sondern sind wellig und haben stellenweise Höcker. Diese sind, wie bei den glazialen Rundhöckern, nur an einer Seite bearbeitet, geglättet und gerieft, und zwar an jener, welche der Bewegung entgegenstand.

Ein anderer sicherer Behelf zur Ausrichtung eines Verwerfers sind mitgerissene, meist zu Pulver zerquetschte Partien der verworfenen Lagerstätte, Gang- oder Lagerführung genannt; die Erzspiegel stammen häufig hiervon. Eine Lagerstätte L (Fig. 90) wird von VV verworfen; bei S findet man in der Richtung nach S' Lagerstättenmaterial (Erz, Kohle), entgegengesetzt keines. Es muß also das verworfene Stück L' dort liegen, wohin dieses Material verschoben wurde.

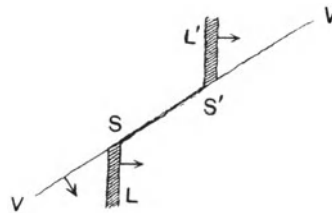
Da Verwerfungen oft durch Flexuren der Schichten eingeleitet wurden, so zeigt der Umbug der Schichten am Verwerfer zum verworfenen Teil hin (s. S. 67). Man darf hierbei nicht etwa nur die kleinen Biegungen unmittelbar am Verwerfer, sondern muß die größeren Schichtenbiegungen berücksichtigen. Hierbei ist die räumliche Lage der Umbiegung durch Beobachtungen an Ulm und First festzustellen, worauf besonders W. Bornhardt verwies.

Sind mehrere gleichsinnische Verwerfer vorhanden, dann besteht große Wahrscheinlichkeit, daß auch der nächste Verwerfer im gleichen Sinne verwirft.

Tritt das die Lagerstätte führende Gebirge zutage, so kann man manchmal hier erkennen, nach welcher Seite der Verwurf erfolgte, ebenso, wenn dieser das Deckgebirge durchsetzt.

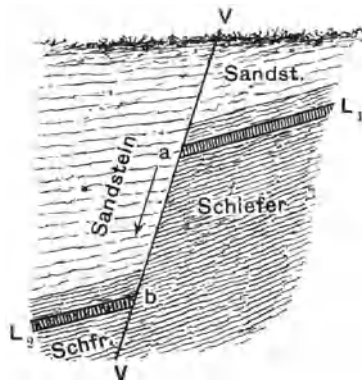
Ein einfacher und sicherer, doch nicht immer anwendbarer Behelf zur Ausrichtung der Sedimentlagerstätten kann in der Verschiedenheit der Hangend- und Liegendgesteine gegeben sein. Die Lagerstätte L_1 (Fig. 91) ist z. B. in einem Schiefer gelegen, der von Sandstein überlagert wird; wird sie bei a von einem Ver-

Fig. 90.



L = Lagerstätte, VV = Verwerfer,
 L' = verworfenes Stück,
 $S S'$ = Gangführung.

Fig. 91.



L_1 = Lagerstätte, VV = Verwerfer,
 L_2 = verworfenes Stück.

werfer VV abgeschnitten, auf dessen anderen Seite der Hangendsandstein ansteht, so muß naturgemäß das verworfene, auszurichtende Stück L_2 tiefer liegen.

Würde jedoch zuerst L_2 bekannt, der Verwerfer bei b angefahren und L_1 zu suchen sein, so liegt das zu suchende Trumm oberhalb.

Ist der Verwerfer an einer Stelle schon ausgerichtet, so wird die Ausrichtung einer zweiten Lagerstätte an demselben Verwerfer im gleichen Sinne wie vordem geschehen. Nur gewisse Drehverwerfer können hierbei manchmal störend wirken.

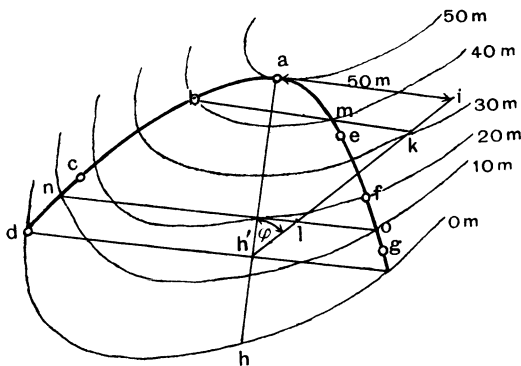
Geometrische Konstruktionen.

Konstruktion des Streichens und Verflächens eines Verwerfers mittels einer Höhengschichtenkarte.

Die Ausbißlinie des Verwerfers dag (Fig. 92) wurde auf Grund der in d bis a , bis g gefundenen und in die Karte genau eingezeichneten Ausbisse gefunden.

Da die Streichlinie als Horizontale zwei gleich hoch gelegene Punkte verbindet, so ist die Verbindung zweier gleich hoch, d. i. in

Fig. 92.



dag = Verwerfer, bm und no = Streichlinien,
 ah und ih' = Falllinien, φ_0 = Fallwinkel.

derselben Höhenlinie gelegener Ausbißpunkte die Streichlinie, z. B. bm oder no ; da diese beiden Linien parallel sind, so ist das Streichen des Verwerfers in seiner ganzen Höhe gleich. Senkrecht zur Streichlinie ist die Falllinie ah . Denkt man sich deren Höhen in die Horizontalebene umgelegt, so erhält man die Punkte i , k , l und die Falllinie ist ih' ; da sie gerade ist, so

ist das der Beweis, daß das Fallen durchwegs gleich und der Fallwinkel φ_0 ist. Änderungen im Fallwinkel würde man an den Krümmungen der Falllinie ih' erkennen.

Ausrichtung einer Verwerfung.

Die älteren Konstruktionen behufs Ausrichtung der Verwerfungen setzten ebene Flächen und die Sprunghöhe als bekannt voraus, womit eigentlich der Verwerfer schon ausgerichtet erscheint; sie bezogen sich meist immer nur auf Sprünge, da fast alle Markscheidelehrbücher der Schmidt-Zimmermannschen Regel zugetan waren.

Es sei nun ein allgemeiner Fall besprochen, der sich leicht einem speziellen anpassen läßt und welcher keine Ebenen für die Lagerstätten, sondern, wie so häufig bei Flözen im Faltengebirge, gekrümmte Flächen voraussetzt.

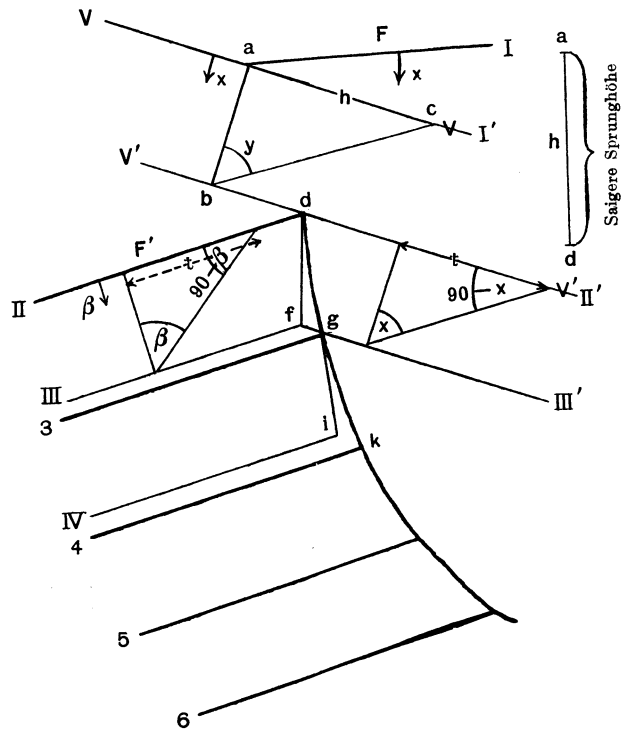
In der Lagerstätte F (Fig. 93) fuhr man bei a den Verwerfer V an, der mit x° verflächt. Um h tiefer fuhr man in d mit der Lagerstätte F' einen Verwerfer V' an, der ebenfalls mit x° oder nahezu mit x° einfällt. V und V' , von welchen jedoch nur kleine Flächen aufgeschlossen sind, sind nahezu parallel, doch nicht F und F' .

Es ist zuerst festzustellen, ob V' derselbe Verwerfer wie V ist. Zu diesem Zwecke bestimme man zuerst das Verflächungsdreieck abc des Verwurfes; ist der h gegenüberliegende Winkel y gleich x , so ist V' tatsächlich die Fortsetzung von V ; der Winkel kann auch ein wenig differieren, wenn die Fallwinkel der Verwerfer in den beiden Horizonten von V und V' nicht ganz übereinstimmen; er wird dann einem Mittelwert entsprechen.

Damit ist hier die Verwerfung eigentlich ausgerichtet. Ist y kleiner als x , so ist dies ein Beweis, daß V' dem Verwerfer V parallel vorgelagert ist. Zwischen V und V' liegt also eine Verwurfszone; ob diese zu durchbrechen ist, ist eine praktische Frage.

Es handelt sich nun um die Ausrichtung tieferer (selten höherer) Horizonte. Da F und F' nicht parallel sind, so ist VV' ein Drehverwerfer. Die Lagerstätte verflächt in F' mit β° . Man konstruiert für II und V' die Scharungslinie dadurch, daß man in einer beliebigen Tiefe t einen Horizontalschnitt legt, d. h. es wird V' mit den Δx , F' mit den $\Delta \beta$ um t tiefer geschoben. Der Einfachheit halber ist t diejenige Höhe, um welche der Horizont II gegenüber

Fig. 93.



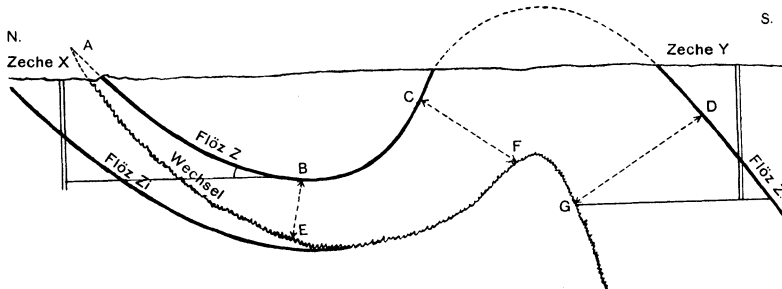
F und F' = Lagerstätten, V und V' = Verwerfer, I, II, 3, 4, 5, 6 = Strecken in der Lagerstätte.

dem Horizont *III* höher liegt; die Konstruktion der beiden Verflächungsdreiecke entnimmt man der Figur. Der Durchschnitt *f* der beiden um *t* tiefer liegenden Streichlinien *III* und *III'* ist nebst *d* ein Punkt der gesuchten Scharungslinie *df*. Würde die Lagerstätte in *F'F''* eine Ebene sein, so müßte die Strecke *III* in *f* den Verwerfer treffen; da jedoch das Verflächten von *F''* etwas flacher als in *F'* ist, so fällt die Strecke nicht nach *III*, sondern nach 3 und die wirkliche Scharungslinie ist *dg*. Für den nächsten Horizont *IV* wird ein Durchschnitt der Verlängerung von *dg* mit *IV* bei *l* vorausgesetzt; da sich jedoch die Lagerstätte noch flacher legt, so ist die Strecke im vierten Horizont bei 4, und *F'''* trifft den Verwerfer bei *k*. Die Punkte *d*, *g* und *k* gestatten durch sie eine Kurve zu legen und dieselbe mit gleichem Krümmungsradius zu verlängern, wodurch die Konstruktion der Ausrichtungsstrecken 5, 6 usw., bzw. der Anfahrungspunkte des Verwerfers der Wirklichkeit entspricht oder ihr sehr nahe kommt.

Konstruktion eines stark gebogenen Wechsels.

Den unbekanntten Verlauf der stark gebogenen Wechsel des westfälischen Kohlengebietes auf Grund mehrerer Flözaufschlüsse annähernd

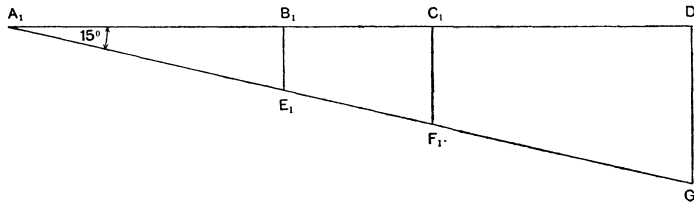
Fig. 94.



richtig zu bestimmen, ist L. Cremer gelungen. Er ging hierbei von den Tatsachen aus, daß die Wechsel die Flöze in einem Winkel von 15° schneiden und daß beide eine übereinstimmende Faltung erlitten, so daß die Mulden- und Sattelachsen der Flöze und Wechsel übereinanderfallen. Seine Konstruktion ist folgende: Denken wir uns z. B. den im Profil (Fig. 94) dargestellten Fall, daß eine Grube den Nordflügel einer Mulde baut, eine zweite den Flügel des südlich davon liegenden Sattels. Der Verlauf dieser Falten ist durch die Baue in den obersten Sohlen bekannt geworden. Auf der nördlichen Zeche X ist ein Wechsel bekannt geworden, der aller Wahrscheinlichkeit nach in den tieferen Bauen der südlichen Zeche Y wieder auftreten wird. Wo wird er z. B. im nördlichen Querschlag der Zeche Y angetroffen? Man mißt im Profil die Länge eines Flözes, z. B. Z, dessen Falten allerdings bekannt

sein müssen, vom Schnittpunkt A aus, den dieses Flöz Z mit dem Wechsel bildet, an den Biegungen entlang bis zu beliebig vielen, sagen wir den drei Punkten B , C und D . Diese Längen werden auf einer geraden Linie $A_1 D_1$ (Fig. 95) aufgetragen und an deren Endpunkt A_1 unter einem Winkel von 15° wird eine Linie $A_1 G_1$ gezogen. Die Linien $B_1 E_1$, $C_1 F_1$ und $D_1 G_1$, die senkrecht auf $A_1 D_1$ stehen, geben dann den Normalabstand des Wechsels von den Punkten B bzw. C und D

Fig. 95.



des Flözes Z an. Errichtet man in diesen Punkten auf dem Flöz Normale von den Längen $BE = B_1 E_1$, $CF = C_1 F_1$ und $DG = D_1 G_1$, so ist durch die vier Punkte A , E , F und G der ungefähre Verlauf des Wechsels bestimmt.

Geschichtliche Entwicklung der Kenntnis der Verwerfer¹⁾.

Dieselbe sei im nachstehenden in ihren wesentlichsten Zügen dargestellt.

Georg Agricola, der Begründer der berg- und hüttenmännischen, der mineralogisch-geologischen Wissenschaften, erläutert im dritten Buch seines „De re metallica“ (1550) das räumliche Verhalten der Gänge, wozu auch viele Abbildungen dienen; keine derselben entspricht eigentlich einer Verwerfung; am ehesten könnte das Bild auf S. 49²⁾ als solche gedeutet werden, das jedoch eigentlich zwei Gangablenkungen darstellt. Im Text fand ich keinen Hinweis auf Verwerfungen, weshalb ich vermute, daß ihm dieselben unbekannt waren.

Georg Engelhard von Löhneysz³⁾ (1619) erwähnt schon die Verschiebung von Gängen und erklärt sie als Folge der Sünden der Bergleute. Er sagt S. 17: „Daß aber die Gänge taub seyn, verdrückt oder verschoben werden, das kömt alles von der Sünden her.“ Daß die Gänge abgeschnitten werden, wird mit dem Ansehen des Erzes mit einem bösen Auge oder mit dem Nachschlagen und Angreifen einer diebischen oder manschlachtigen Hand, mit einem bösen Wind aus unwahrem Mund oder als eine Folge eines falschen Eides erklärt.

¹⁾ A. Krümer: Histor. Entwicklung u. Definition der hauptsächlich. tekton. Begriffe. Zeitschr. prakt. Geol. 20, 249 u. 414, 1912. — ²⁾ Deutsche Übersetzung: „Bergwerck Buch“, Ausgabe Basel, 1621. — ³⁾ Gründlicher und ausführlicher Bericht von Bergwercken. Stockholm und Hamburg. Mir liegt die Ausgabe 1690 vor.

Balthasar Röszlern¹⁾ (1649) bemerkt, daß ein Gang den anderen unartig macht und „ihn verscheubet“ (S. 5); in Gangkreuzen „thun nicht allemal gut/die gleichsam zu rechten Winkeln/einander durchschneiden; Meists verrückt oder verdrückt einer den anderen“ (S. 15); zu Gröszlasz (Graslitz in Böhmen) setzen Klüfte durch die Gänge und diese „verschieben“, dann „giebet es därbei taube Mittel/ und verursachen viel Ungemachs und Kosten“ (S. 72). Daraus geht hervor, daß man zu jenen Zeiten die technische Bedeutung der Verwerfer gut zu würdigen vermochte. Im 21. Kapitel (S. 73) bespricht Röszlern in 10 Paragraphen alle Erfahrungen darüber, „wie die Gänge verschoben werden“, wobei er auch die Schwierigkeiten der Ausrichtung des verworfenen Ganges betont. „Das Verschieben des einen (Ganges) ist entweder ins hangende / oder liegende / oder ist vor sich / oder hinter sich / mit grossem Unterscheid / es geschehe das Verschieben / wie es wolle.“ Er bespricht auch das Verhalten des verschobenen Ganges bei der Scharung — bleibt unverändert, wird verdrückt, oder zertrümmert, die Erzführung bleibt gleich, wird verbessert oder verschlechtert oder abgeschnitten.

Im 23. Kapitel (S. 74) gibt er in sechs Paragraphen die Anleitung, „wie Gänge auszurichten, so es möglich“; dabei unterscheidet er die Ausrichtung im unerschrotenen und erschrotenen Felde, welche im letzteren keine, im ersteren jedoch manchmal mühesam und kostspielig, „offtmahls auch gantz nicht möglich“ ist. Die Ausrichtung hat auf Grund markscheiderischer Grubenaufnahmen zu geschehen. § 4: „So musz man sich im Ausrichten der Gänge / nach desselben Gebirges Art richten / und wie es sich mit anderen darinnen verhalten thut“. Dieser Satz gibt der Ausrichtung eine geologische Methode, die wir heute noch manchmal mit bestem Erfolg anwenden (s. S. 116). In der dazugehörenden Figurentafel zeichnet er mit beigefügten Bemerkungen einen Saigersprung [auf diese Art ist es (die Ausrichtung) etwas zweifelhaft], einen Sprung (auf diese Art können sie leicht ausgerichtet werden) und einen Wechsel (so werden sie selten ausgerichtet); Namen gibt er diesen drei verschiedenen Arten der Verwerfungen nicht, ebenso ließ er sich in keine theoretische Spekulation ein; doch seine drei Figuren kennzeichnen den Stand der Kenntnis der Verwerfungen bis gegen das Ende des 19. Jahrhunderts. Wir müssen den gewesenen churfürstlich-sächsischen Bergmeister Balthasar Röszlern als den Schöpfer der Lehre von den Verwerfungen bewundernd anerkennen.

In Lazarus Ercker's *Aula subterranea*, welches Buch vorwiegend eine Probierrkunde ist, finde ich in der aus dem Jahre 1702 stammenden *Phraseologiae* keine Bemerkung über Gangverwerfungen oder -ver-

¹⁾ *Speculum metallurgiae politissimum, oder Hellpolierter Berg-Bau-Spiegel*. Dresden 1700. Das Manuskript stammt von 1649.

schiebungen. Auch in seiner 1629 erschienenen „Beschreibung aller fürnemisten mineralischen Ertzt und Bergwerksarten usw.“ fehlt jeder derartige Hinweis, so auch im 1707 gedruckten: *Magnalia Dei in Locis Subterraneis oder Unterirdische Schatzkammer* von Franc. Em. Brockmann.

Abraham Gottlob Werner beschäftigt sich in seiner „Neuen Theorie von der Entstehung der Gänge“ (Freiberg 1791) von Seite 51 ab mit der Entstehung der Spalten und sagt in § 29: „Diese Spalten können von sehr verschiedenen Ursachen herrühren. Vorzüglich sind sie aber wohl, theils von dem durch die Schwere der Massen bewirkten Zusammensezen der anfänglich wieder festen und feuchten Gebirgsmassen, — theils von der ebenfalls durch die Schwere bewirkten, und durch Verliehrung der Unterstützung von höher gestandenen allgemeinen Gewässer veranlasten Abziehung oder Lostrennung der grossen Gebirgsmassen nach der freien Seite (d. i. nach den tiefer gelegenen Gegenden) hin entstanden. Doch können auch, die durch Austrocknung veranlastete Zusammenziehung der Gebirgsmassen, noch mehr aber Erdbeben und noch verschiedene andere dergleichen Ursachen, dazu mitgewirkt haben“¹⁾.

In § 31 werden „die Kriterien des relativen Alters der Gänge (Spalten sowohl als die Ausfüllungen)“ angegeben. Davon sei die Spalte betreffend, hervorgehoben: „Jeder Gang, der den anderen durchsetzt, ist neuer als der durchsetzte.“ Man sieht in diesem von Werner zuerst aufgestellten Satz einen der wichtigsten Fortschritte in der Gangtheorie.

Es liest sich heute geradezu befremdend, daß Werner genötigt war, auf 29 Seiten neun „Beweise, daß die Gangräume anfänglich offene Spalten der Gebirge waren“, beizubringen, und überdies auf 13 weiteren Seiten Ergänzungen dazu gab, obzwar diese Ansicht zu jener Zeit und auch früher ziemlich allgemein herrschte²⁾, wie dies auch Werner betonte.

Zuerst verweist er auf die durch Austrocknung gebildeten Spalten in dem aus Niederschlägen entstandenen Gebirge, verbindet jedoch hiermit sofort einen zweiten Faktor, nämlich die ungleiche Dichtigkeit und Lockerheit der Niederschläge, wodurch infolge ungleichen Zusammensetzens Risse entstehen müssen. Überdies mußten dort, wo die Massen erhaben angehäuft waren, die große Erhöhungen und Gebirge bilden, auch darum Spalten entstehen, weil diese Massen freiere, minder unterstützte Seiten hatten, „wohin sich der aus ihrer Schwere erwachsende Druck verbreiten, und mehr und minder große Losziehungen und Trennungen dieser Gebirgsmassen, folglich

¹⁾ Die gesperrten Worte sind im Original durch größere Schrift hervorgehoben.
²⁾ Schon 1751 erkennt dies der alchymistisch durchtränkte Joh. G. Lehmann in seiner „Kurzen Einleitung in einige Teile der Bergwerkswissenschaft“ auf S. 178 an.

Spalten nach diesen, d. i. den tiefer gelegenen Gegenden zu, bewirkt werden konnte und mußte“ (S. 62). „Die Richtung der spaltenbildenden Kraft war von dem Hangenden der Spalte weg, zu der freien Seite hin.“

Wir finden bei Werner einen ganz ähnlichen Gedankengang, schon früher bei Delius¹⁾; beide erkennen den Grund der Spaltenbildung in einer Störung der Isostasie, in einer Zerrung. Bemerkenswert ist auch der wörtlich mitgeteilte Schlußsatz, womit Werner die Richtung der Spalten zum Gebirge erklärt. Er verweist in den Erläuterungen auch darauf, daß die Spalten später enger oder weiter werden und sich neue bilden konnten.

„Daß sich die Gebirgsmassen wirklich sehr zusammengesetzt haben, beweist die zuweilen sehr gestürzte Lage ihrer Schichten.“

Als zweiten Beweis führt er Beispiele sowohl von ihm als auch von anderen beobachteter Spaltenbildungen in der Gegenwart an: „Es geschehe besonders in sehr nassen Jahren oder zu Zeiten der Erdbeben“. Werner erwähnt auch den Zusammenhang mit den Bergstürzen.

Von den übrigen Beweisen sind für unseren Zweck nur noch folgende von Belang.

Als siebenter Beweis wird das Verhalten der Gänge gegeneinander (durchsetzen, verwerfen, zertrümmern, scharen, schleppen, abschneiden) angegeben.

Der achte Beweis, welcher das Verhalten der Gänge gegen Gebirgsmassen und besonders gegen die einzelnen Lager bespricht, verdient ein höheres Interesse. Werner sagt: „Wo nämlich Gänge durch Gebirge durchsetzen, liegen die Gebirgslager oder Gebirgsschichten fast stets im Hangenden der Gänge tiefer, und gewöhnlich um tiefer, je mächtiger der Gang ist“. Ausführlicher beschreibt er das Verhalten der Gänge und offenen Spalten im Saalfelder Kupferschieferflöz und ergänzt den früher mitgeteilten Satz: „Sie zeigen also ganz unwidersprechlich, daß sie (die Gänge) in dem dortigen Gebirge eher entstandene Spalten sind, welche durch den von dem Gewichte der ganzen Gebirgsmasse erzeugten, und nach der freieren oder weniger unterstützten Seite wirkenden Druck veranlaßt wurden, vermöge dessen sich die ganze Gebirgsmasse verschiedentlich senkte, und an manchen Punkten sich spaltete und abzog.“ Aus dem früher wiedergegebenen Satz geht hervor, daß nach Werner die Gangspalten „fast stets Verwerfer sind, welche in dieser Eigenschaft vornehmlich nur im Verhalten gegenüber den Gebirgslagern und -schichten und nicht in ungeschichteten Gebirgen erkannt werden können. Dieser Befund Werners wurde bisher in der Literatur nicht entsprechend gewürdigt. Aus den zitierten Sätzen könnte auch gefolgert werden, daß Wer-

¹⁾ Abhandlung vom Ursprunge der Gebürge 1770. Delius war auch der erste, welcher die Theorie der Lateralsekretion aufstellte (S. 52, 62, 90).

in den Gangspalten fast stets nur Sprünge sah; doch sagt er auf S. 82: „Hat sich bei dem entstandenem neuem Spalte, das sich ab- oder losgezogene Stück Gebirge mit dem sich darinne befindlichen Stücke des älteren Ganges zugleich seitwärts gezogen und folglich verrückt: so sagt man, daß der neue Gang den älteren verworfen habe.“

J. Ch. Schmidt geht in seiner „Theorie der Verschiebung älterer Gänge“ (1810) von der Erfahrung aus, daß Gänge, welche wenig von der saigeren Richtung abweichen, wenn sie von jüngeren Gangspalten, dem Streichen nach, durchschnitten werden, immer nur geringe, tonn-lägige hingegen beträchtlichere, und schwebende Gänge stets die beträchtlichsten Seitenverschiebungen erleiden. Daraus folgert er, daß bei der Entstehung der Gangklüfte

a) „die Gebirgsmassen im Hangenden und im Liegenden der Gänge in einer Richtung auseinandergezogen wurden, welche rechtwinkelig mit dem Streichen der Gänge, an dem Einschließen derselben herunterläuft, und welche mit ihrer Fallinie parallel ist“, und

b) „daß die Größen der Seitenverschiebungen, außer der größeren und geringeren Höhe des Sprunges, auch noch durch die Größe der gegenseitigen Neigungswinkel beider Gänge bestimmt werden“.

Aus diesen beiden Grundsätzen ergeben sich noch weitere naturgemäße Folgerungen, die Schmidt in sieben Sätzen, gleichsam Beispielen, zusammenfaßt.

Schmidt erklärte also alle Verwerfungen als Sprünge, auf welche Annahme hin er eine Regel zur Ausrichtung der Verwerfungen aufstellte, welche irrigerweise durch lange Zeit als ein bedeutender Fortschritt angesehen ward. Diese Regel wurde später unter Beibehaltung des Grundprinzipes von Zimmermann, v. Carnall u. a. verschieden gefaßt, ohne daß damit eigentlich ein sachlicher Fortschritt bedingt worden wäre. Trotzdem, wie bereits auf S. 42 erläutert wurde, verschiedene Forscher darauf hinwiesen, daß auch andere Bewegungen als abwärts nach der Fallinie vorkommen, wurden diese Beobachtungen als „seltene Ausnahmen“ kalt gestellt, und die Schmidtsche Regel hatte, besonders in manchen bergmännischen Kreisen, bis fast zum Beginn des jetzigen Jahrhunderts, vollen Glauben gefunden. Die Entwicklung der Schmidtschen Regel wurde bereits auf S. 113 besprochen.

1824 erschien in Wien von Josef Waldauf v. Waldenstein die erste systematische Lagerstättenlehre in deutscher Sprache unter dem Titel: „Die besonderen Lagerstätten der nutzbaren Minerale.“ In diesem Buche ist die einschlägige deutsche, französische und englische Literatur zusammengefaßt und mit eigenen Beobachtungen ergänzt. Bezüglich der Verwerfungen hält sich v. Waldauf, was Tatsachenmaterial anbelangt, vorwiegend an Freieslebens¹⁾ Beobachtungen im Kupfer-

¹⁾ Geognost. Beitrag zur Kenntnis des Kupferschiefergebirges.

schiefergebiet und nahm deshalb auch die Bezeichnung „Rücken“ für Verwerfung an; es werden einzelne Erscheinungen registriert. In spekulativer Hinsicht bespricht v. Waldauf an 56 Bildern nach John Farey sen.¹⁾ ebensoviele Fälle der Verwerfungen, wobei Saigersprünge vorausgesetzt werden; auch Drehbewegungen sind dargestellt; die Verwerfungen sind oft als sich nach oben oder unten keilförmig erweiternde Räume gezeichnet. Diese Spekulationen haben nur den Wert, aufmerksam zu machen, daß es verschiedene Fälle von Verwerfungen gibt, womit vor dem Schablonisieren gewarnt wird, wie dies durch Schmidt und dessen Schule üblich wurde. v. Waldauf ist auch kein unbedingter Anhänger dieser Richtung. Er unterscheidet bereits mit John Williams²⁾ Längs- (parallele), spießeckige (schiefe) und Quer-(gerade)Verwerfungen (S. 47), wodurch dieselben mit dem Schichtenbau des Gebietes in Beziehung gebracht wurden, was einen entschiedenen Fortschritt bedeutet.

Viel später als die Rücken bespricht er die Verschiebungen und Verwerfungen ganz getrennt bei den Gängen, ohne hier auf die Rücken Bezug zu nehmen. Er macht bereits darauf aufmerksam, daß man im durchschneidenden (verwerfenden) Gang eine Spur des verschobenen Ganges findet, mittels welcher er wieder gefunden werden kann (s. S. 115). Er verweist auch auf v. Charpentiers (s. S. 51) Beobachtung, wonach die Größe des Verwurfes sich mit der Tiefe ändert. Der Schmidtschen Gangverschiebungstheorie gegenüber betont v. Waldauf, daß sich diese auf Beobachtungen in einem nur kleinen Bezirk beschränkt, und es können daher erst künftige Untersuchungen unterrichteter Männer in den Gangbergbauern verschiedener Länder entscheiden, inwiefern diese Theorie auf Allgemeinheit Anspruch machen dürfe.

Der hochverdiente Mineraloge Friedrich Mohs [1842]³⁾ wirft alle Gesteinsspalten, die entkinetischen und exokinetischen, als Zusammensetzungsflächen in einen Topf und erklärt sie als „Produkte der Kristallisation bei gleichzeitiger Bildung“; „sie sind dasselbe, was die Zusammensetzungsflächen eines Zwillingkristalls sind“. Daß er hierzu auch die Verwerfungen rechnet, geht daraus hervor, daß er unter anderem sagt: „Einige derselben (Zusammensetzungsflächen) ... sind neben ihrer Ebenheit sehr glatt und besitzen gleichsam eine Politur. Zuweilen sind sie sehr zart, zuweilen breit, aber selten tief gestreift und die Streifen sind nicht nur teils gerade, teils wellenförmig gebogen, sondern nehmen auch alle möglichen Richtungen von der horizontalen bis zur vertikalen an.“ Da man bemerkt hat, daß die durch die Zusammensetzungsflächen getrennten Teile der-

¹⁾ General View of the Agriculture and Minerals of Derbyshire. London 1811. — ²⁾ The Natural History of the Mineral Kingdom. 2. Ed. 1820. — ³⁾ Die ersten Begriffe der Mineralogie und Geognosie für junge prakt. Bergleute, S. 104. Wien 1842.

selben auf den beiden Seiten „nicht immer zusammenpassen, sondern gleichsam ineinander verschoben sind, so hat man sich vorgestellt, daß die Zusammensetzungsflächen ihren Ursprung einer wirklichen Verschiebung verdanken, und nicht verfehlt, die Richtung derselben aus der Richtung der oben angeführten Streifen anzugeben“. Als Beweis gegen diese ganz richtige, doch von Mohs bekämpfte Anschauung, führt er an, daß auch Gesteine „horizontal gestreifte Zusammensetzungsflächen zeigen, deren Teile nicht um das mindeste aneinander verschoben sind“, und daß man den wahren Ursprung leicht in Verbindung mit anderen Zusammensetzungsflächen, wie im Granit, Syenit, in der Grauwacke usw., erkennt. Mohs blieb mit seiner Erklärung vereinzelt, bis William King¹⁾ (1875) eine ähnliche aufnahm; er erklärt, daß die Ursachen der Gesteinsklüfte dieselben sind, wie die der Spaltungsflächen der Kristalle, nur mit dem Unterschied, daß bei den Klüften die Kräfte vom Erdmagnetismus abhängen, während bei den Spaltungsflächen der Kristalle eine Polaritätsanziehung wirksam war.

Elie de Beaumont erklärte 1809, daß die Entstehung der Verwerfungen an bestimmte Perioden gebunden ist, und sah in der Abkühlung des heißen Erdinnern die Ursache der Gebirgsbildung²⁾.

Amédé Burat³⁾ legte der französischen Akademie am 4. Dezember 1843 seine Studien über die Erzlagerstätten Deutschlands vor. Im ersten Kapitel hebt er die Richtigkeit und hohe Bedeutung der Gangtheorie Werners: „Gänge sind ausgefüllte Spalten“, hervor, und bemerkt hierzu, „daß bei der Bildung einer Spalte, d. h., wenn die beiden Teile des getrennten Gebirges nicht ihre relative Stellung beibehalten haben, die Verwerfung in der senkrechten Ebene als das Resultat des Gleitens von dem Hangenden auf dem Liegenden angesehen werden müsse“. Auch hat Burat das Neue der Wernerschen Gangtheorie erfaßt, da auch er annimmt, daß die Gänge ausgefüllte Verwerfungen sind.

„Diese Verwerfungstheorie, die sogenannte Schmidtsche“, welche er unmittelbar zuvor als ein „fast allgemeines Gesetz“ bezeichnet, „folgt aus allen Erhebungsdurchschnitten... Sie wird nicht allein durch Kreuzungen und Verwerfungen der Gänge gelehrt, sondern auch durch die sogenannten Rücken, welche alle Formationen durchsetzen, und welche durch den Bergbau, namentlich durch den Steinkohlenbergbau, so häufig an das Licht gestellt worden sind. In gewissen Fällen ist jedoch die Theorie Ausnahmen unterworfen und diese Ausnahmen sind fast stets durch die Dazwischenkunft und die besondere Stellung der feurigen Gesteine begründet, da diese das hangende

¹⁾ Transact. Royal Irish Acad. 25, 505, 1875. — ²⁾ Ann. d. scienc. nature. Sept.—Févr. 1829—1830. — ³⁾ Die Theorie der Erzlagerstätten; deutsch von C. Hartmann, S. 15. Quedlinburg und Leipzig 1846. In Fig. 3, Taf. 4, gibt Burat ein Bild eines Wechsels, das S. 39 beschrieben wird, und auch die jüngsten Andreasberger Ruscheln verstoßen gegen die Theorie.

Gestein emportrieben. Diese Art von Verwerfungen ist bei den Andreasberger Gängen fast ebenso häufig als diejenigen, welche nach der Theorie stattgefunden haben.“

Im allgemeinen Teil verweist er auf S. 147 neuerdings auf die horizontale Verwerfung, welcher unter anderem auch das Tal der Queiß folgt und wo dieselbe 2000 m mißt.

Daß die Verwerfungen auch auf Seitendruck zurückgeführt werden können, hat bereits A. Burat¹⁾ erkannt. Er sagt: „Die Verwerfungen der Oberfläche haben zum auffallendsten Ausdruck die Hebung der Ketten in Gebirgsgruppen und die Störungen in den Schichten... So lassen sich in Gegenden, wo die feurigen Gesteine sehr entwickelt sind, die späteren Eintreibungen und Einkeilungen der Massen gar nicht anders erklären, als wenn man zu gleicher Zeit einen Seitendruck annimmt, welcher alle vorhandenen Formationen in einen kleinen Raum zusammendrängen konnte.“ Er erwähnt Beispiele aus den französischen Steinkohlenbecken und gibt für jenes der Saône und Loire den Zusammenschub mit 6000 bis 8000 m, für jenes bei Mons mit mehr als 15 000 m an. „So wichtige Seitenbewegungen konnten aber gar nicht erfolgen, ohne daß das zusammengedrückte Gebirge mehr oder weniger gebrochen wurde, indem nicht alle Teile dieselbe horizontale Entfernung zu durchlaufen hatten. Die sogenannten Rücken oder Gesteinsgänge, welche stets das Steinkohlengebirge senkrecht auf dem Streichen der Schichten durchsetzen, geben Beweise von dem Vorhandensein dieser Brüche.“ Es sind in diesen Sätzen viele Wahrheiten enthalten. Unter Berufung auf Gustav Rose wird es klar, daß auch Burat das Eindringen der Eruptivgesteine als die Ursache des Seitenschubes annimmt, während wir heute umgekehrt in den Eruptionen eine Folge des Zusammenschubes, der hinter sich eine Lücke erzeugte, sehen.

In England war es besonders Hopkins²⁾, welcher sich mit dem Mechanismus der Spaltenbildung beschäftigte. Er nimmt an, daß eine hebende Kraft, deren Ursprung er fraglich läßt, allmählich an Intensität zunimmt, „bis die Spannung hinreichend wird, die Masse zu zerreißen, und dergestalt Spalten und Dislokationen hervorbringt, welche teils von der hebenden Kraft, teils von der wechselnden Kohäsion der Masse abhängen“. Diese Kraft in bestimmbarer Tiefe hat entweder mit gleicher Intensität an jedem Punkt, oder in einigen Fällen mit einer etwas größeren Intensität an bestimmten Punkten gewirkt, wie z. B. an den Linien der größten Erhebungen. Die erhebende Kraft hat auf die untere Fläche der gehobenen Masse durch das Medium einer Flüssigkeit (elastischer Dampf oder geschmolzene Masse) gewirkt. Die Richtung der Spalten ist parallel zur hebenden Kraft; „wenn jedoch

¹⁾ Theorie der Erzlagerstätten 1846; deutsch von C. Hartmann, S. 146. —

²⁾ Researches in physical Geology. Transact. Cambridge Philosoph. Soc., Vol. VI, Part. 1.

die Masse zwei Systemen von parallelen Spannungen unterworfen ist, deren Richtungen aufeinander senkrecht stehen, so können zwei Systeme paralleler Spalten hervorgebracht werden, deren Richtungen zueinander senkrecht stehen“. Ein System konnte indes in irgendeiner Zeit nach dem anderen gebildet worden sein. Er bespricht dann die verschiedenen Modifikationen.

Hopkins' Anschauungen, deren wesentlichste Sätze voranstehend wiedergegeben wurden, fanden in England vielfache Anerkennung; auch der ausgezeichnete De la Beche¹⁾ hat dieselben angenommen.

C. Naumann²⁾ erkannte auch den Sprung als eine Vertikalbewegung, verwies jedoch auch auf das Vorkommen von Horizontalbewegungen.

Die Entstehung der Verwerfungen wurde in den deutschen montan-geologischen Kreisen fast gar nicht behandelt, da man mit Schmidt nur Abrutschungen, Sprünge, sah; diese Frage ist energischer erst in den 70er Jahren des letztvergangenen Jahrhunderts angeregt worden, insbesondere von James D. Dana³⁾, E. Sueß⁴⁾ und Alb. Heim⁵⁾. Die vom ersteren zuerst aufgestellte und geschickt vertretene Kontraktionstheorie, nach welcher sich die zentripetale Kraft der nachsinkenden Erdkruste in tangentielle Spannung umsetzt, befruchtete zwar zumeist die Theorie der Faltengebirgsbildung, doch zog sie unwillkürlich auch die Entstehung der damit im Zusammenhang stehenden Verwerfungen in diesen Gedankenkreis. Sie wurden nicht mehr als Einzelercheinungen, sondern in einem weiteren Gesichtsfeld betrachtet, wenn auch von Sueß und Heim nur nebenher berücksichtigt; doch wies ersterer auf die großen Horizontalverwerfer, Heim auf die Entstehung der Faltenwechsel hin, beide als Erscheinungen des Tangentialschubes, der Faltenbildung, betrachtend.

Die theoretischen Spekulationen über die Entstehung der Verwerfungen bewegten sich von dieser Zeit ab zunächst im Rahmen der Kontraktionstheorie. Sie waren oft reichlicher als die Beobachtungen, welche nur selten wesentlich Neues brachten. Man erkannte, daß alle Dislokationen entweder durch tangentielle oder durch zentripetale Bewegungen entstanden sind; erstere bewirkten die Wechsel- und Horizontalverwürfe, die hierher eingestellt wurden, letztere veranlaßten die Sprünge. Diese sind nach E. Sueß ungleichmäßige Senkungen einzelner Teile der Erdkruste, durch das Weichen der Unterlage und durch die Schwerkraft entstanden, welche Anschauung von vielen Geologen geteilt wurde und wird. Obzwar durch Sueß und Heim bei uns die Geotektonik mächtig angeregt wurde, so galten die hierauf folgenden Studien vorwiegend demselben Gedankenkreis, und die Verwerfungen

¹⁾ De la Beche: Vorschule der Geologie; deutsch von Dr. E. Dieffenbach, S. 566. Braunschweig 1852. — ²⁾ Lehrbuch der Geognosie, S. 925, 1856. — ³⁾ Origin of Mountains; Americ. Journ. of Science. New Haven 1873. — ⁴⁾ Entstehung der Alpen. Wien 1875. Antlitz der Erde I. Wien 1883. — ⁵⁾ Der Mechanismus der Gebirgsbildung, 1878.

wurden nur nebenher berücksichtigt. Köhler¹⁾ versuchte zuerst diese eingehender zu untersuchen.

Dutton²⁾ wies für das Schollengebirge des Hochlandes von Utah darauf hin, daß hier die stark gestörte Musiniazone zwischen auseinandergezogenen Gebirgstheilen eingesunken sei und wurde damit der Begründer der Zerrungstheorie; sie fand anfangs wenig Beachtung, mehr als sie F. v. Richthofen für die ostasiatischen Inselbögen anwendete, wobei er jedoch auf den Widerspruch von Lorenz und Ogawa stieß. Obzwar sich die Zerrungstheorie in dem Kreise der Geologen, besonders der deutschen, bisher wenig eingebürgert hat, verdient sie zur Erklärung der Sprünge an erste Stelle gesetzt zu werden.

Die jüngste Geschichte der Entwicklung unserer Erkenntnis der Verwerfungen findet sich, wenigstens teilweise, in verschiedenen Abschnitten dieser vorliegenden Arbeit.

Die geschichtliche Entwicklung unserer Kenntnis von den Rutschflächen und deren große praktische und theoretische Bedeutung wurde bereits auf S. 57 besprochen.

¹⁾ Die Störungen der Gänge, Flöze und Lager. Leipzig 1886. — ²⁾ Rep. on the Geologie of the high plateaus of Utah, New York; S. 25, 1880.