

Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 15 (1948-1949)
Heft: 49

Artikel: Die Bedeutung der Fossil-Deformation
Autor: Rutsch, R.F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-184065>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Bedeutung der Fossil-Deformation

von R. F. RUTSCH, Bern.

Die kausale Gestaltforschung in der Zoologie sucht die Form der Tiere aus ihrer erdgeschichtlichen Entwicklung, ihrem Erbgefüge und aus den auf das Individuum einwirkenden Umweltseinflüssen zu erklären.

Dem Paläontologen, der die gleiche Aufgabe für die fossilen Organismen zu lösen versucht, bleibt nicht nur die Möglichkeit experimenteller Prüfungen versagt, auch von der Gestalt selbst sind in der Regel nur die — allzu häufig fragmentarischen — Hartteile überliefert.

Unter Umständen ist aber auch die Form dieser fossilen Schalen, Gehäuse und Skelette durch die Fossilisationsprozesse derart verändert, daß sie von derjenigen des einst lebenden Tieres weitgehend abweicht.

Verschiedene Ursachen können, wie wir noch zeigen werden, solche Deformationen hervorrufen. Wenn dabei augenfällige Zerbrechungen und Zerreißungen entstehen, so erschwert dies zwar die Rekonstruktion der ursprünglichen Gestalt, aber wir laufen doch kaum Gefahr, die Form völlig falsch zu beurteilen.

Viel größer ist diese Gefahr bei denjenigen Deformationsprozessen, welche eine — zumindest scheinbare — „bruchlos-plastische“ Gestaltveränderung erzeugen. Eine derartige Verformung tritt recht häufig auf. Verkennen wir sie, so führt dies zu schwerwiegenden Fehlschlüssen in bezug auf Gestalt, systematische Stellung und unter Umständen auch in bezug auf die stratigraphische Bedeutung solcher Fossilien.

Diese „bruchlose“ Fossil-Deformation findet auch in neuesten Arbeiten immer noch nicht gebührende Berücksichtigung, obgleich sie J. Philipp, D. Sharpe und S. Haughton schon vor rund hundert Jahren richtig erkannt hatten. Immer wieder werden „neue“ Arten beschrieben, die in Wirklichkeit nur Deformationsformen längst bekannter Species darstellen. Außerdem sind manche dieser Verformungerscheinungen auch für die Beurteilung tektonisch-gefügekundlicher Probleme von Interesse; die auf diesem Gebiete tätigen Geologen und Petrographen sind aber meist mit den vom Paläontologen gewonnenen Erkenntnissen nur ungenügend vertraut, während dieser seinerseits die Ergebnisse des Geologen zu wenig berücksichtigt. Dies sind die Gründe, die zur Niederschrift der vorliegenden, kurzen Zusammenfassung über Fossil-Deformation geführt haben.¹⁾

Untersuchen wir zunächst ganz allgemein, welche Ursachen bei tierischen Skeletten, Schalen usw. ein Abweichen von der „Normalform“ hervorrufen können.

¹⁾ Der Verfasser dankt den Herren Prof. Dr. E. Wegmann, Neuchâtel und Dr. E. Gasche, Basel für Ratschläge und Zusendung von Literatur.

Eine anormale Gestalt kann am lebenden Organismus durch pathologische Erscheinungen, Wachstumshindernisse (vergl. Haas, 1935, S. 548) usw. entstehen. So beschreibt Wesenberg-Lund (1939, S. 664) Gehäuse lebender Süßwasserschnecken mit weitgehender Gestaltveränderung als Folge von Leberschwellungen, die durch Trematoden verursacht sind. An fossilen Organismen sind pathologische Formveränderungen verschiedentlich nachgewiesen worden.

Eine Schalenverformung am lebenden Organismus stellt auch die sogenannte „allomorphe Skulptur“ dar. Festsitzende Muscheln passen sich ihrer Unterlage vollkommen an, wobei infolge des ständig gewahrten Schalenschlusses auch die freie, obere Klappe die Gestalt der Unterlage mit allen Einzelheiten annimmt. So gibt beispielsweise eine Auster sowohl auf der Unter- wie der Ober-Klappe den vollständigen „Abdruck“ eines Ammoniten wieder (vergl. Haas, 1935, S. 503). Diese „allomorphe Skulptur“ dürfte kaum Anlaß zu Mißdeutungen der Form geben.

Weitgehende Deformationen können während des Sedimentationsstadiums der Fossilisation durch den Belastungsdruk („Sedimentdruck“) des sich setzenden, noch unverfestigten Sedimentes erfolgen. Schalen und Skelette werden dadurch zerbrochen und flachgepreßt. Denken wir uns ein solches Fossil als Hohlkugel schematisiert. Durch den Sedimentdruck werden die Wände der Hohlkugel zerbrochen und die senkrecht zur Schichtfläche orientierte Achse mehr oder weniger verkürzt, unter Umständen annähernd auf Null reduziert. Falls keine seitliche Ausweichmöglichkeit vorhanden ist, bleibt der Durchmesser der in die Schichtebene komprimierten Kugel unverändert, wobei sich die Bruchstücke der Schale gegenseitig überschieben müssen (vergl. H. Klähn, 1932). Nimmt man dagegen eine gleichmäßige Ausweichmöglichkeit senkrecht zur Druckrichtung an, so vergrößert sich zwar der Durchmesser der zur Ebene komprimierten Kugel, die Form bleibt aber kreisförmig. Eine Verzerrung ist nur denkbar, wenn das sich setzende Sediment seitlich nach einer ganz bestimmten Richtung ausweicht. Dies könnte beispielsweise eintreten, wenn zwei faziell verschiedene und sich verschieden rasch setzende Ablagerungen durch Gleitbewegungen seitlich ineinander übergehen. Eine Verzerrung wäre ferner möglich bei Gleitbewegungen in der Richtung nach vertikalen Trockenrissen, Erosionsfurchen usw.

In die Schichtebene zusammengedrückte Fossilien treten besonders in tonig-mergeligen Gesteinen auf. Dabei entstehen u. U. charakteristische Zerbrechungen der Schalen und Gehäuse. Maßgebend für diese Deformationserscheinungen ist die Intensität des auf die Hartteile einwirkenden Druckes, die Art des Sedimentes (Körnung, Durchfeuchtung), die Beschaffenheit (Schalendicke usw.), Gestalt und Größe der Organismen und ihre Lage im Sediment, ferner die Festigkeitsunterschiede der einzelnen Partien eines Hartteils und wahrscheinlich auch dessen unterschiedliche chemische Löslichkeit.

Über Bruch-Zerdrückung der Fossilien im noch unverfestigten Gestein sind zahlreiche Arbeiten veröffentlicht worden, unter denen hier die interessanten Untersuchungen von H. Klähn (1931, 1932) und W. Quenstedt (1928) hervorgehoben seien. Diese Zerbrechungen der Hartteile sind in der Regel leicht zu erkennen und dürften kaum zu Mißdeutungen führen, falls

die Sprünge nicht später durch Umkristallisation wieder verheilt sind (vergl. Quenstedt, 1928, S. 2).

Neben solchen Zerbrechungen können durch den Belastungsdruck des sich setzenden Sedimentes natürlich auch gegenseitige Verschiebungen unter sich beweglicher Teile eines Organismus entstehen. Quenstedt (1928, S. 2) erwähnt als Beispiel doppelklappige Muscheln, die schief zur Schichtebene eingebettet, durch den Sedimentdruck gegeneinander verschoben wurden. Unseres Erachtens setzt dies voraus, daß die Schalen nicht mehr durch das Schloß (eventuell auch durch die Verzahnung radialer Rippen am Schalenrand) fest verbunden sind. Andernfalls müßte eine solche Verschiebung doch wohl unfehlbar zu Zerreißungen der starren Schale führen.

Damit stellt sich die Frage, ob außer der Zerbrechung auch eine „bruchlose-plastische“ Deformation von Schalen und Skeletten im noch unverfestigten oder gar im diageneatisch verhärteten Gestein allein durch den Belastungsdruck überlagernder Gesteinsmassen möglich sei.

Im unverfestigten Gestein ist eine „bruchlose“ Deformation von Schalen und Gehäusen zweifellos nur in Verbindung mit gleichzeitiger chemischer Beeinflussung der Hartteile denkbar. F. Hecht (1933, S. 239) hat experimentell nachgewiesen, daß rezente Schalen und Knochen durch den chemischen Einfluß verwesender organischer Substanz plastisch werden. In diesem Falle bedarf es zweifellos nur eines geringen Belastungsdruckes, um die im Sediment eingebetteten Hartteile zu verformen. Hecht nennt als Beispiel einer solchen Deformation die in eine Ebene flachgepreßten Rippen von Sauriern aus dem schwäbischen Lias. Welche Bedeutung diesen Befunden zukommt, und ob Hartteile vielleicht auch nur durch den chemischen Einfluß des Meerwassers plastisch werden können (vergl. Quenstedt, 1928, S. 2), ist noch wenig abgeklärt.

H. Regineck (1917) glaubte allerdings auf Grund einfacher Experimente mit künstlichen Steinkernen die „bruchlose“ Deformation der Pholadomyen aus dem schweizerischen Juragebirge auf eine durch Belastungsdruck bedingte Setzung des noch nicht verfestigten („pelomorphen“) Sedimentes zurückführen zu können. Er nimmt an, die Schalen der Pholadomyen seien plastisch mitgefaltet worden (l. c. S. 22) und lehnt die Möglichkeit einer tektonischen Deutung dieser Deformationen ab. Die Untersuchung Reginecks ist jedoch zu wenig kritisch durchgeführt. Die früheren Arbeiten über Fossil-Deformation waren ihm unbekannt, vor allem aber fehlen Angaben über die Beziehungen zwischen Fossil-Verformung, Schichtung, Faltung und Clivage im anstehenden Gesteine selbst, obgleich Daniel Sharpe solche Untersuchungen schon 1846 durchgeführt hatte und obgleich gerade J. Thurmann, auf den sich Regineck bezieht, diesen Fragen besondere Aufmerksamkeit gewidmet hatte. Baumberger (1937) nimmt denn auch an, diese jurassischen Pholadomyen seien durch tektonische Einwirkung deformiert, was durch neue Untersuchungen zu prüfen wäre.

Es stellt sich aber auch die Frage, ob im noch unverfestigten Gestein zunächst die Schalen chemisch aufgelöst und nachher Steinkern und Negativ („Abdruck“) durch den Belastungsdruck deformiert werden könnten. Auch mit dieser Möglichkeit wird von verschiedenen Autoren gerechnet. Schon J. Thurmann (1868), der den Begriff „Pelomorphismus“ für den plastischen

Zustand der Sedimente einführte (l. c., p. 33), nahm eine solche Verformungsmöglichkeit an.

Eingehend hat sich W. Quenstedt (1928) mit diesen Fragen beschäftigt: Nach Auflösung der Schalen, die von innen nach außen erfolgte, war das Gestein noch soweit „pelomorph“, daß sich die morphologischen Merkmale des Negativs (Abdrucks) dem Steinkern aufprägen konnten. Umgekehrt übermittelte der Steinkern seine Oberflächenmerkmale dem Negativ („Gegenprägung“). Steinkern und Abdruck wurden schließlich als Ganzes durch den Belastungsdruck pelomorph verdrückt. Die silurischen Schichten Spitzbergens, aus denen die Fossilien stammen, sind nicht gefaltet; Quenstedt glaubt daher eine tektonische Deutung dieser Verformungen ablehnen zu müssen. Wir werden noch sehen, daß eine Deformation durch tektonische Beeinflussung auch in sehr schwach gefalteten Schichten vorkommen kann. Es ist auch nicht leicht erklärlich, warum Steinkern und Negativ im noch plastischen Sediment unter der Wirkung des Belastungsdruckes nicht einfach ineinander verflossen. Albert Heim wies schon 1878 darauf hin, daß man die Steinkerne von deformierten Ammonitenkammern völlig voneinander trennt findet. Das wäre jedoch bei einem nach der chemischen Schalenauflösung noch unverfestigten Sediment kaum möglich. Quenstedt hat übrigens eine tektonische Interpretation der „Skulptursteinkern“-Bildung für gewisse Vorkommen ebenfalls erwogen.

Endlich wird auch die Ansicht vertreten, eine plastische Deformation von Fossilien allein durch den Belastungsdruck sei selbst im diagonetisch verfestigten Gestein in Verbindung mit chemischen Lösungsvorgängen möglich.

Daß Fossilien im völlig verfestigten Gestein durch chemische Lösungsprozesse in charakteristischer Weise angelöst („angeätzt“) und schließlich völlig zerstört werden können, ist schon lange bekannt. H. C. Sorby (1879, S. 89) beschrieb Crinoidenstielglieder aus devonischen Kalksteinen von Ilfracombe in England, die auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten angeätzt sind, während auf den beiden andern Seiten, im „Druckschatten“, eine Zunahme des Durchmessers infolge Auskristallisation des gelösten Materials erfolgte. Diese Lösung und Auskristallisierung bringt er in Verbindung mit dem „Druck“, welcher auch das Clavage in den Kalken erzeugte.

A. Rothpletz (1886, S. 68, 1894, S. 212) beobachtete solche Anlösungen von Fossilien häufig an den von ihm als „Suturflächen“ bezeichneten Diskontinuitätsflächen in Kalksteinen. Die Fossilien sind von solchen Suturflächen scharf abgeschnitten, eine Fortsetzung auf der gegenüberliegenden Seite der Diskontinuitätsfläche fehlt. Hier stellt sich natürlich immer wieder die Frage, ob solche Anätzungen nicht schon während des Sedimentationsstadiums erfolgten.

1900 beschrieb Rothpletz einen Ammoniten, der von solchen „Suturflächen“ durchsetzt und gleichzeitig deformiert ist. Er erklärt diese Deformation als eine Kombination von chemischer Auflösung entlang den Suturflächen mit tektonischer Druckwirkung.

Keiner der zahlreichen Autoren, die sich mit Fossil-Deformation durch chemische Auflösung beschäftigt haben (vergl. u. a. H. C. Sorby 1908, A. Kumm, 1927), mißt diesen Vorgängen eine so weittragende Bedeutung zu wie E. Wepfer (1926). Dieser Autor nimmt an, eine bruchlose Deformation

von Fossilien könne als Folge der „Auslaugungsdiagenese“, d. h. des durch Lösungsvorgänge im festen Gestein aktivierten Belastungsdruckes (oder auch des „latenten tangentialen Druckes“) entstehen. Die Auffassungen Wepfers sind von verschiedener Seite als zu wenig begründet kritisiert worden und bedürfen auf jeden Fall weiterer Prüfung.

Zur Erklärung dieser mit Lösungsvorgängen verknüpften Veränderungen von Fossilien im diagenetisch verfestigten Gestein werden, wie wir gesehen haben, teilweise tektonische Kräfte in Erwägung gezogen. Dies führt uns zur eigentlichen tektonischen Fossil-Deformation.

Die Verformung („Verzerrung“, „Schub-Umformung“) von Versteinerungen durch tektonische Kräfte ist schon lange bekannt und in ihrer prinzipiellen Bedeutung für die Paläontologie und die Gefügekunde der Sedimente vor mehr als hundert Jahren erkannt worden.

Am augenfälligsten waren natürlich die stark verzerrten Ammoniten und Echiniden, namentlich aber die zerrissenen Belemniten aus tektonisch stark beanspruchten alpinen Sedimenten. P. Merian hat schon 1847 über deformierte Ammoniten und gestreckte Belemniten aus dem Meiental (Kt. Uri) berichtet, offensichtlich ohne die Arbeiten über Fossil-Deformation von J. Phillips und D. Sharpe zu kennen. Seither erwähnen zahlreiche Autoren diese gestreckten Belemniten. Wir nennen u. a. Bernh. Studer (1851), E. Renevier (1856), Ch. Lory (1860), Alph. Favre (1867), E. Jannetaz (1884), F. X. Schaffer (1918), vor allem aber G. A. Daubrée (1876 a, 1876 b), der die Zerreißung von Belemniten-Rostren experimentell nachahmte, Albert Heim (1878) im „Mechanismus der Gebirgsbildung“, ferner Alb. und Arn. Heim (1916). Neuerdings hat J. Ladurner (1933) sorgfältige Untersuchungen über das Gefüge dieser gestreckten Belemniten durchgeführt. Die meisten Autoren sind sich darüber einig, daß diese Zerreißungen im diagenetisch verhärteten Sediment erfolgten, da die Zwischenräume zwischen den einzelnen „Segmenten“ des Rostrums nicht etwa durch nachrückendes Sediment, sondern durch neu auskristallisierten Kalzit, Quarz und untergeordnet auch Fluorit ausgefüllt sind.²⁾

Bei diesen Deformationserscheinungen aus alpinen, teilweise deutlich dynamometamorph umgewandelten Sedimenten, besteht über die tektonische Ursache der Gestaltveränderung kein Zweifel; die Deformation als solche ist ohne weiteres kenntlich, die Gefahr einer Missdeutung der ursprünglichen Form kaum vorhanden.

Sehr groß ist sie dagegen bei den scheinbar bruchlosen, schwachen Verformungen aus tektonisch weniger stark beanspruchten Gesteinen.

Die ersten Untersuchungen über solche Deformationserscheinungen, wie über Fossil-Deformation überhaupt, gehen von England aus. J. Phillips wußte schon 1843, daß diese Verformungen zu einer falschen Beurteilung der Gestalt der Fossilien führen könnten, daß sie in einem bestimmten Verhältnis zum Clivage stehen und daß auf Grund dieser Deformationen das Maß der verformenden Bewegung bestimmt werden könnte. Er schreibt u. a. (l. c. p. 61):

²⁾ F. X. Schaffer (1918) glaubte, eine Streckung von Belemniten zum Teil auch auf den „Wachstumsdruck“ des in Zerreißungsklüften ausgeschiedenen Kalzits zurückführen zu können.

„The Trilobites of the Llandeilo flags were found in three distinct forms, arising from the distortion taking place in a longitudinal, transverse, or oblique direction; this seemed to be the result of a „creeping“ movement of the particles of the rock along the planes of cleavage, the effect of which was to roll them forward, in a direction always uniform, over the same tract of country“...

Eine grundlegende, noch heute in mancher Hinsicht unübertroffene Arbeit über tektonische Fossil-Deformation verdanken wir Daniel Sharpe³⁾. Sie ist im Dezember 1846 in der Geological Society of London vorgetragen und 1847 veröffentlicht worden. Sharpe untersuchte die Deformationserscheinungen an Fossilien aus dem englischen Paläozoikum mit bewundernswertem Scharfsinn und kam zu folgenden wichtigen Resultaten:

Die „bruchlose“ Deformation kann auch in schwach gefalteten Schichten (z. B. im Devon von Tintagel in Devonshire, das mit nur 5 Grad einfällt), die ursprüngliche Gestalt derart weitgehend verändern, daß Gefahr besteht, dieselbe Art in verschiedene aufzuteilen, ja daß sogar die Bestimmung der Gattung unmöglich ist. Wir werden die gleiche Erscheinung aus der schweizerischen Molasse noch kennenlernen. Durch sorgfältige Beobachtungen im Terrain findet Sharpe bestimmte Beziehungen zwischen Fossil-Deformation, Schichtung und Clivage (slaty cleavage). Die Versteinerungen sind umso stärker deformiert, je kleiner der Winkel zwischen Schichtung und Clivage ist. Die Verformung in verschiedenen Gesteinsarten ist verschieden und proportional dem Clivage, das diese Gesteine durchsetzt. In Kalksteinen, die vom Clivage nur schwach betroffen werden, ist auch die Fossildeformation gering, weitgehend dagegen in den vom Clivage stark affizierten Schiefern. In zahlreichen Abbildungen stellt er die verschiedenen Deformationsformen und ihre Beziehungen zu Schichtung und Clivage dar.

Bereits 1854 erkennt auch der in St. Gallen tätige J. C. Deicke, daß die Fossilien aus der miocänen Meeresmolasse St. Gallens „durch anhaltenden starken Druck verschoben und zerdrückt“ sind, ohne allerdings die tektonische Ursache dieser Verformungen ausdrücklich zu erwähnen. Nach seinen Beobachtungen sind die deformierten Steinkerne der ursprünglich rein kalkigen Schalen von einer Hülle von Kieselsubstanz umgeben. Möglicherweise liegt hier ein ähnlicher Vorgang der Quarzneubildung vor, wie ihn Ladurner zwischen den Segmenten zerrissener Belemniten beobachtet hat. Die Frage wäre einer näheren Prüfung wert.

Einen weiteren wichtigen Beitrag zum Problem der „bruchlosen“ tektonischen Fossil-Deformation verdanken wir S. Haughton (1856). Er versuchte, das Maß dieser Deformationen und ihre Beziehungen zur Schichtung und zum Clivage mathematisch zu erfassen, wobei er teilweise zu andern Resultaten als D. Sharpe gelangte. Seine Ergebnisse hat er in folgenden Sätzen zusammengefaßt:

I. If the trace or intersection of the plane of cleavage and plane of bedding be drawn, the greatest distortion or elongation of the fossils lying in the plane of bedding is parallel to this intersection.

³⁾ Über Daniel Sharpe (1806—1856) vergl. Quart. Journ. Geol. Soc. London 13, 1857, p. XLV—LXIV und R. de Serpa Pinto: An. Fac. Ci. Portugal, vol. 17, p. 1—15, 1932.

II. The distortion of fossils produced by cleavage — estimated in a given direction, such as parallel to the intersection of the planes of cleavage and bedding — varies with the angle between these planes, being greatest when the angle is greatest, and least when the angle is least.

III. The compression in a cleaved rock is greatest in a direction perpendicular to the planes of cleavage.

H. Dufet (1875) versuchte, das Maß der Deformation silurischer Trilobiten aus der Bretagne zu bestimmen, wobei er, an Experimente von de Senarmont und Jannetaz anknüpfend, die Beziehungen zwischen Fossildeformation und Wärmeleitungsfähigkeit (thermisches Deformationsellipsoid) in schiefrigen Gesteinen untersuchte. Ed. Jannetaz selbst (1884) hat sich mit der paläontologischen Seite des Problems nur beiläufig beschäftigt.

Eingehende Beobachtungen über die Beziehungen zwischen Clivage und Fossildeformation haben Albert Heim und Arnold Heim veröffentlicht (1878, 1916, 1919, 1921). Ferner sei auf die wichtige Arbeit von E. Cloos (1947) über Oolith-Deformation verwiesen, in welcher speziell die Deformation von Crinoiden-Stielen behandelt ist. Nichts Neues bietet dagegen der Aufsatz von H. Füchtbauer (1942) über Fossildeformation in Westfalen. Die gesamten früheren Untersuchungen seit Sharpe waren ihm völlig unbekannt.

Als eine der wertvollsten Arbeiten über Fossil-Deformation, die in mehr als einer Beziehung bis heute unübertroffen geblieben ist, darf die Monographie von Alexander Wettstein (1886) über die Fischreste aus den alttertiären Dachschiefern des Kantons Glarus (Matt) gelten. Die Fischskelette der Glarnerschiefer sind infolge tektonischer Vorgänge in der „Faser-Richtung“ (Heim's Linearstreifung) des Gesteins bis auf mehr als die doppelte Länge gestreckt worden. Man findet Individuen, deren Vorder- und Hinterteil mehr oder weniger rechtwinklig zueinander in die Schichtfläche eingebettet wurden (siehe Wettstein 1886, Tafel VI, Fig. 7, 8). Sie sind entsprechend der Lage zur Verstreckungsrichtung verschieden deformiert. Wettstein konnte einwandfrei nachweisen, daß L. Agassiz u. a. solche deformierte Fischfunde als verschiedene Arten aufgefaßt hatten. Wie die Dünnschliffuntersuchung zeigte, sind die scheinbar plastisch deformierten Knochen und Zähne in Wirklichkeit von zahlreichen, parallelen Rissen durchsetzt, deren Richtung senkrecht zur Verstreckungsrichtung verläuft. Diese von bloßem Auge oft kaum wahrnehmbaren Risse sind mit Kalzit ausgefüllt. Die Zerreißung konnte nur in der völlig verhärteten Gesteinsmasse erfolgen, da sonst die einzelnen Knochen als Ganzes verschoben worden wären. Zudem ist auch hier, wie bei den gestreckten Belemniten, Kalzit neu gebildet worden und kein Nebengestein in die Risse eingedrungen.

In allen diesen Beispielen handelt es sich um Funde aus stark dislozierten Gesteinen, die ein ausgeprägtes Clivage („S-Flächen“) aufweisen und bei denen unzweifelhaft Beziehungen zwischen Deformation und Clivage nachgewiesen werden konnten.

Wir müssen nun aber noch einen weiteren Fall von offensichtlich tektonischer Deformation aus viel schwächer beanspruchten, außer alpinen Sedimenten besprechen.

Schon dem sorgfältig beobachtenden und scharfsinnigen J. C. Deicke (1854) sind die durch „Druck“ verschobenen und zerdrückten Mollusken aus der St. Galler Meeresmolasse aufgefallen. Diese Deformationserschei-

nungen sind seither von A. Fanck (1929), E. Baumberger (1937) und vom Verfasser (1928) studiert worden.

Am eingehendsten hat sich mit diesen Verformungen Arn. Fanck in seiner Dissertation: „Die bruchlose Deformation von Fossilien durch tektonischen Druck und ihr Einfluß auf die Bestimmung der Arten“ beschäftigt. Die Arbeit weist neben wertvollen Beobachtungen und geschickten experimentellen Untersuchungen auch manche Mängel auf. Fanck waren (wie übrigens auch Wettstein und Regineck) die grundlegenden englischen und französischen Untersuchungen über Fossil-Deformation unbekannt. Namentlich aber beschränkten sich seine Untersuchungen auf Museums- und Laboratoriumsarbeiten; es fehlen daher alle Angaben über die Beziehungen zwischen Verformung der Versteinerungen, Streichen und Fallen der Schichten und eventuell vorhandenen S-Flächen. Sein Verdienst ist es dagegen, die Bedeutung der Deformation für die morphologische und systematische Beurteilung der Miocän-Mollusken der Umgebung von St. Gallen erkannt und diese Deformationsformen auf eine relativ geringe Zahl charakteristischer Typen zurückgeführt zu haben. Wir geben in Fig. 1 und 2 sein Schema dieser Deformationstypen wieder.

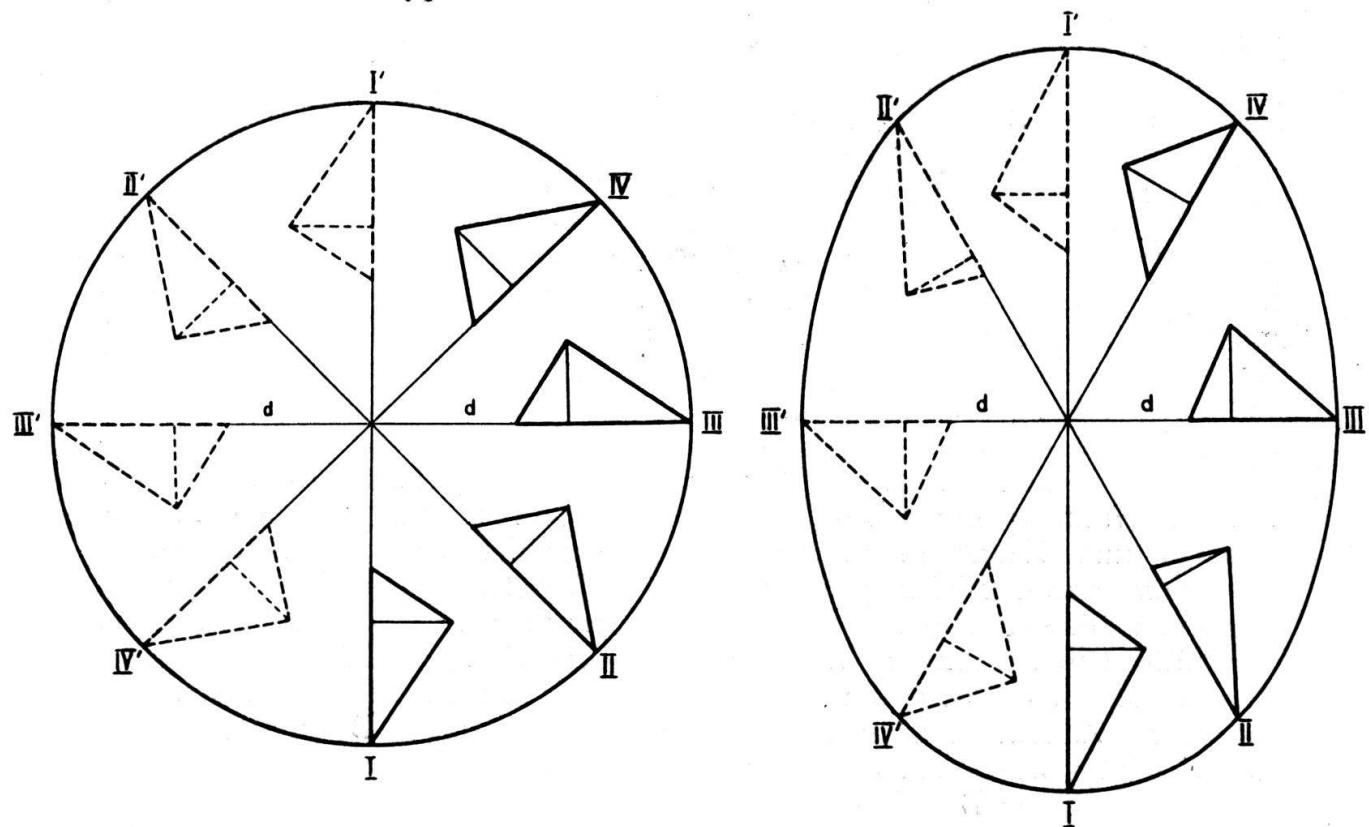


Fig. 1: Deformationstypen einer als Dreieck schematisierten Muschel.

Nach A. Fanck, 1929, S. 19.

Eine große Zahl der von Ch. Mayer-Eymar aufgestellten „neuen“ Arten der St. Galler Miocän-Molasse erwies sich als Deformationsformen schon früher aus andern Tertiärgebieten beschriebener Spezies. Von 126 „neuen“ Arten Mayer-Eymar's bestehen nach Fanck nur 6 zu Recht.

In Fig. 3 sind als Beispiel dieser Verformungerscheinungen eine normale

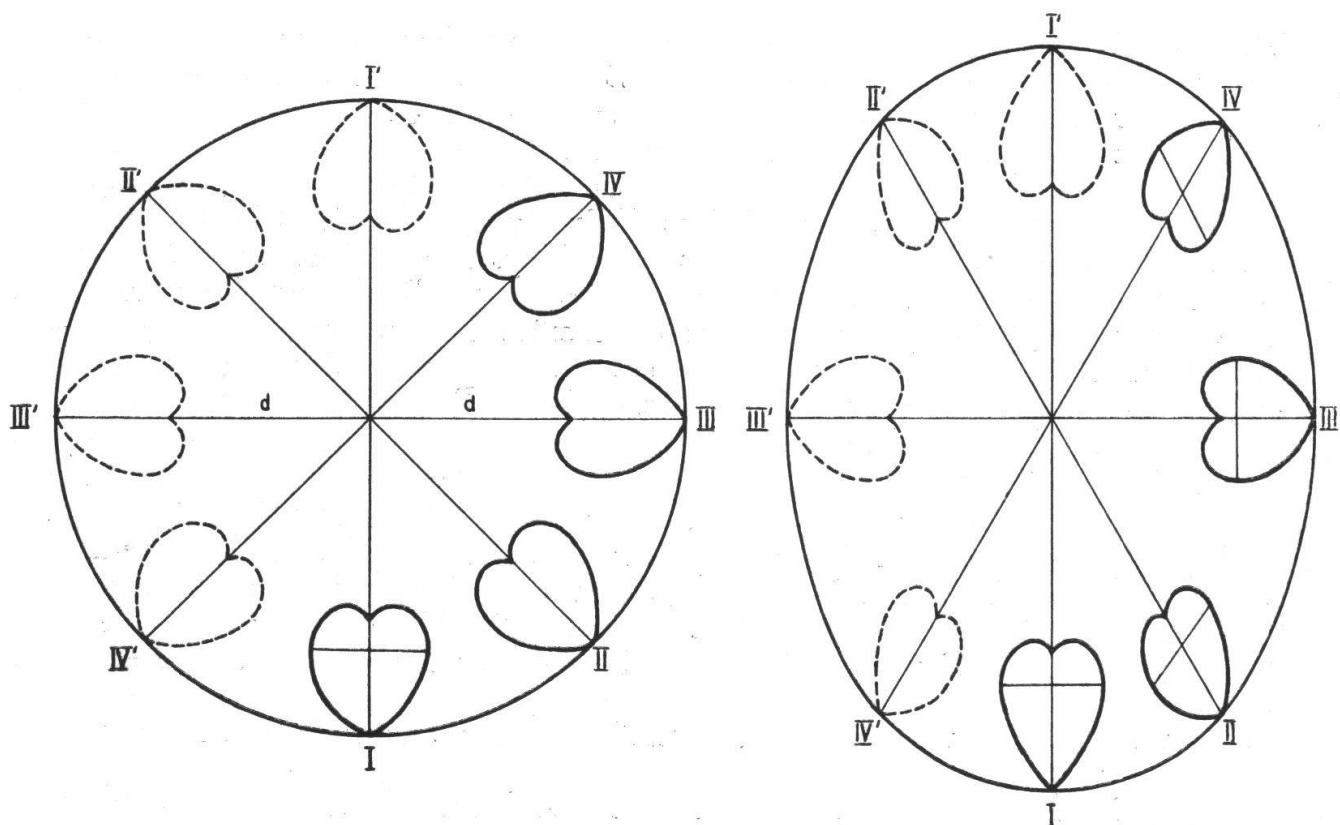


Fig. 2: Deformationstypen einer gleichklappigen Muschel. Nach A. Fanck, 1929, S. 23.

und eine deformierte Klappe von *Cordiopsis* abgebildet. Wie Figur 1 zeigt, können aus solchen ungleichseitigen Muscheln einerseits extrem langgestreckte, niedrige, andererseits kurze, hohe, ferner extrem ungleichseitige und unnatürlich gleichseitige Formen entstehen. Der mit diesen Deformationserscheinungen nicht vertraute Paläontologe wird sie — namentlich am isolierten Fossil — kaum als solche erkennen können.



Fig. 3a

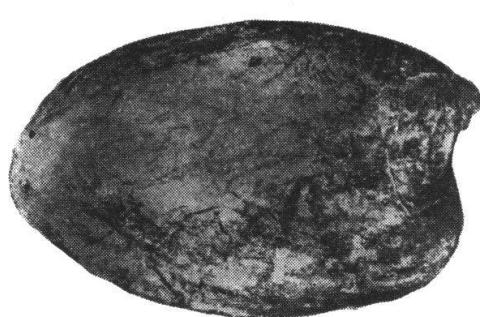


Fig. 3b

Fig. 3: Normale und deformierte Klappe einer Muschel.

- a: Normales Exemplar von *Cordiopsis* aus dem Miocän der Aquitaine.
- b: Deformiertes Exemplar von *Cordiopsis* aus der miocänen Meeresmolasse von St. Gallen (nach A. Fanck, 1929, Taf. VIII, Fig. 2).

Fanck hat eine Reihe von Argumenten angeführt, die für eine tektonische Ursache dieser Verformungen sprechen, obgleich ihm meines Erachtens der eindeutige Beweis für ihre tektonische Natur nicht gelungen

ist. Als Kriterium für die Unterscheidung zwischen tektonischer Verformung und Deformation durch reinen Belastungsdruck nimmt Fanck an, der Belastungsdruck sei charakterisiert durch die alleinige Verkürzung der senkrecht zur Schichtfläche orientierten Achse eines als Kugel schematisierten Fossils. Es entstehe also ein zweiachsiger Ellipsoid, während tektonischer Druck stets ein dreiachsiger Ellipsoid hervorrufe. Die kürzeste Achse soll die Richtung des „Druckes“, die längste die Richtung des Ausweichens anzeigen. Dem ist entgegenzuhalten, daß Belastungsdruck auch ein dreiachsiger Ellipsoid hervorzurufen vermöchte, wenn bei der Setzung des Sedimentes ein Ausweichen nach einer bestimmten Richtung erfolgt. Andererseits kann aber auch durch tektonische Beeinflussung ein zweiachsiger Ellipsoid entstehen.

Fanck beobachtete Muschel-Individuen, deren linke und rechte Klappe annähernd in einem rechten Winkel zueinander, mit dem Schaleninnenrand parallel zur Schichtfläche, eingebettet waren. Sie sind entsprechend dieser Lage verschieden deformiert, ähnlich wie dies Wettstein an manchen Fischskeletten der Glarnerschiefer festgestellt hatte. Fanck faßt dies ebenfalls als einen Beweis für tektonische Verformung auf. Man könnte aber auch hier einwenden, eine solche Verstreckung sei im noch plastischen Sediment durch eine gerichtete Fließbewegung während der Setzungsvorgänge erfolgt.

Als weitere Kriterien für eine tektonische Deutung der deformierten St. Galler Mollusken nennt Fanck die Überwölbung der einen Klappe über die andere (Fig. 4), sowie die seitliche Verschiebung der Wirbel der beiden Klappen (Fig. 5). Zwingend ist auch dieses Kriterium nicht. Wie wir oben gezeigt haben, könnte eine solche Deformation auch im sich setzenden pelomorphen Sediment erfolgen, sobald die schief eingebetteten Schalen durch chemische Einflüsse plastisch geworden sind.

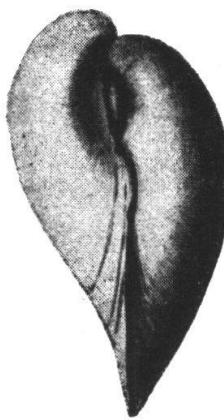


Fig. 4

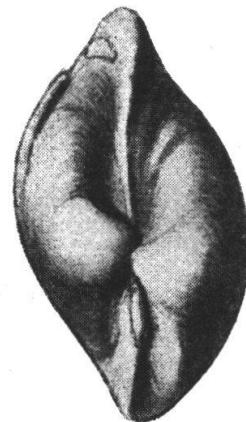


Fig. 5

Fig. 4: Schalenüberwölbung durch Deformation einer ursprünglich gleichklappigen Muschel. *Polymesoda* aus dem Oligocän des Vorarlbergs. Nach Baumberger, 1937, Taf. 27, Fig. 16.
 Fig. 5: Seitliche Verschiebung der Wirbel und Verbiegung des Oberrandes durch Deformation. *Polymesoda* aus dem Oligocän des Vorarlbergs. Nach Baumberger, 1937, Taf. 27, Fig. 2a.

Zur Beurteilung aller dieser Fragen müßten sorgfältige Felduntersuchungen Aufschluß über die eventuellen Beziehungen der Deformation zur Internbewegung und den vorhandenen Diskontinuitätsflächen geben. Wir werden

noch Argumente anführen, die für eine tektonische Deutung der Verformungerscheinungen in der subalpinen Molasse sprechen.

E. Baumberger (1937), der die mechanische Deformation an den Corbiculiden aus dem Oligocän des Vorarlbergs studiert hat, faßt sie ebenfalls als tektonisch bedingt auf. Allerdings beschränken sich auch seine Untersuchungen auf eine museale Bearbeitung. Nicht nur Steinkerne, auch Schalenexemplare sind in einem erstaunlichen Maße verformt. Eine große Zahl der deformierten Schalen wäre allein auf Grund der äußeren Gestalt absolut umkenntlich. Die Tafeln in der Arbeit Baumbergers geben einen guten Einblick in die Formenfülle, die durch diese Deformation entstehen kann.

Auch Baumberger (S. 383) fand — ähnlich wie Wettstein — „feine, netzartig verlaufende, aber meist deutlich ausgeheilte Risse“ in den scheinbar bruchlos deformierten Schalen. Es scheint also auch hier die „bruchlos-plastische“ Verformung auf einer Art „Mikro-Clivage“ zu beruhen.

Der Verfasser (1928) konnte dieselben Deformationserscheinungen wie Fanck und Baumberger in der bernischen Meeresmolasse nachweisen. Durch Vergleich mit sicher unverformten Individuen aus ausländischen Tertiärbecken ergaben sich morphologisch-systematische Resultate, die gut mit der später erschienenen Arbeit Fancks übereinstimmen. Es gelang, ein wichtiges Argument für die tektonische Deutung dieser Deformationserscheinungen zu finden. Die miocäne subalpine Meeresmolasse zieht sich in ungefähr gleichbleibender lithologischer Ausbildung (nur im Gebiet der in das Molassebecken einmündenden Flüsse durch Konglomeratbildungen ersetzt) und mit ähnlicher Fauna aus der Gegend südlich von Freiburg über Bern, Luzern und St. Gallen zum Rheintal und darüber hinaus nach Vorarlberg und Bayern. Diese Zone ist verschieden intensiv gefaltet. Bei Bern blieb die Faltung sehr schwach, die Fallbeträge übersteigen selten 10 Grad. Bei St. Gallen fallen die Schichten mit ca. 20—30 Grad nach Norden ein, in Luzern dagegen sind sie stellenweise senkrecht aufgerichtet, oder sogar leicht überkippt. Diese Unterschiede der Faltungsintensität kommen im Maß der Fossil-Deformation deutlich zum Ausdruck. In der Umgebung von Bern ist die Deformation am schwächsten (Sharpe beschrieb Deformationserscheinungen aus noch schwächer aufgerichteten Schichten des englischen Devons), in St. Gallen bereits stärker, und bei Luzern erreicht sie ein Ausmaß, das eine Bestimmung der Fossilien in vielen Fällen überhaupt unmöglich macht. Entsprechend ist auch die Artenliste aus dem Helvétien Luzerns dürftig, obgleich die ursprüngliche Fauna ebenso reich wie in St. Gallen und Bern gewesen sein dürfte.

Diese Feststellungen sprechen deutlich für Zusammenhänge zwischen Deformationserscheinungen und tektonischer Beanspruchung der Molasse-sedimente⁴⁾.

Eine eigentliche Clivage scheint der subalpinen Meeresmolasse zu fehlen, dagegen sind ausgeprägte Kluftsysteme ausgebildet. Ferner fällt eine

⁴⁾ Es wäre eventuell auch ein nur indirekter Zusammenhang denkbar: Die Fossilien könnten unabhängig von direkter tektonischer Beeinflussung, je nach der Steilheit der Schichten, als Folge säkularer Setzungsvorgänge deformiert worden sein. Auch diese Frage könnte direkte Feldbeobachtung möglicherweise entscheiden.

deutliche Paralleltextur gewisser Sedimente in der subalpinen Zone auf, die nicht primär-sedimentär bedingt scheint. So ist der Muschelsandstein der ungefalteten mittelländischen Molasse innerhalb der Schichtflächen ausgesprochen massig ausgebildet, während das gleiche Sediment in der subalpinen Zone (z. B. die sogenannte „Seelaffe“ der Ostschweiz) eine deutliche Paralleltextur aufweist. Es drängt sich der Gedanke auf, gerade die deformierten Fossilien der subalpinen Molasse seien vielleicht ein Beweis für Bewegungsvorgänge, die bei größerer Intensität und weniger grobsandiger Fazies des Sedimentes zur Ausbildung eines Clivage führen würden.

Diese Deformation in derart schwach gefalteten Schichten ist bis in die neueste Zeit immer wieder verkannt worden. Baumberger (1937, S. 379 u. ff.) hat mehrere Beispiele erwähnt. Wir möchten hier nur ein einziges weiteres herausgreifen: In der Monographie von S. Venzo (1937) über die Oligocänaufauna des Bellunese sind eine Reihe von Arten und Unterarten abgebildet, die alle die Deformationsmerkmale aufweisen, wie wir sie in unserer Molasse beobachteten.

Es sei erwähnt: „*Glycymeris*“ *menardi elongata* (Taf. IV, Fig. 14), *Cordiopsis in-crassata obliquissima* (Taf. V, Fig. 32), *Cyprina stefaninii* (Taf. VI, Fig. 18), *Venericardia* (*Megacardita*) *arduini subacuta* (Taf. VIII, Fig. 29, 30) u. a. m.

Zahlreiche ältere und neuere paläontologische Arbeiten sollten nach diesen Gesichtspunkten revidiert werden, wobei immer wieder betont werden muß, daß Deformationserscheinungen auch in schwach gefalteten Schichten zu erwarten sind. Bei Messungen, statistischen Untersuchungen über die Variabilität der Gestalt, ist immer erst zu prüfen, ob nicht mechanische Formveränderungen vorliegen.

Wir möchten diese kurzen Ausführungen mit einem Zitat aus einer Arbeit über Fossildeformation von Samuel Haughton schließen. Seine Forderung harrt, nach bald hundert Jahren, immer noch der Verwirklichung (1856, p. 421):

„It is to be hoped that the attention of geological observers may in future be more directed to the observation of the relative position of the planes of cleavage and bedding, and of the distortion of the fossils: such observations, to be of any value, should be made in the field, by persons competent to judge of the shape of the fossil forms, and carefully instructed as to the precise points necessary to be observed.“

LITERATURVERZEICHNIS

- Baumberger, E.:* Bivalven aus dem subalpinen Stampien des Vorarlbergs, mit besonderer Berücksichtigung des Deformationsproblems. — *Eclogae Geol. Helv.*, vol. 30, Nr. 2, 1937, S. 361.
- Cloos, E.:* Oölite deformation in the South Mountain fold, Maryland. — *Bull. Geol. Soc. America*, vol. 58, No. 9, 1947, p. 843.
- Daubrée, (G. A.):* Expériences sur la schistosité des roches et sur les déformations des fossiles, corrélatives de ce phénomène; conséquences géologiques de ces expériences. *C. R. séances Acad. Sci. (Paris)* t. 82, No. 13, 1876, p. 710, No. 15, 1876, p. 798.
— Expériences sur la schistosité des roches et sur les déformations des fossiles corrélatives de ce phénomène... — *Bull. soc. géol. France* (3) t. 4, 1876, p. 529.
- Deecke, W.:* Die Fossilisation. — Berlin (Bornträger) 1923.
- Deicke, J. C.:* Über die Petrifikation der Konchylien-Schaalen in der Schweizer Molasse. — *Neues Jahrb. f. Min., Geogn. Geol. u. Petrefaktenkunde*, 1854, S. 657.
- Dufet, H.:* Note sur les déformations des fossiles contenus dans les roches schisteuses et sur la détermination de quelques espèces du Genre *Ogygia*. — *Annales scient. de l'Ecole Normale Supér. (Paris)* (2) t. 4, 1875, p. 183.
- Fanck, Arn.:* Die bruchlose Deformation von Fossilien durch tektonischen Druck und ihr Einfluß auf die Bestimmung der Arten. — Zürich (Fretz) 1929.
- Favre, Alph.:* Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont Blanc. — T. III. Paris (Masson) 1867.
- Füchtbauer, H.:* Deformierte Fossilien im germanotypen Gebirge Westfalens. — *Geol. Rundschau*, Bd. 33, H. 1, 1942, S. 16.
- Huas, F.:* Bivalvia. Teil I. — Dr. H. G. Brönn's Klassen und Ordnungen des Tierreichs. 3. Bd., III. Abt. — Leipzig (Akad. Verlagsgesellschaft) 1935.
- Haughton, S.:* On slaty Cleavage and the Distortion of Fossils. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine A. Journ. of Science (Fourth Series)* vol. 12, 1856, p. 409.
- Hecht, F.:* Der Verbleib der organischen Substanz der Tiere bei meerischer Einbettung. — *Senckenbergiana*, Bd. 15, Nr. 3/4, 1933, p. 165.
- Heim, Alb.:* Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung... — 2 Bde. u. 1 Atlas. — Basel (Schwabe) 1878.
— Geologie der Schweiz. Band I: Molasseland und Juragebirge. Band II: Die Schweizer Alpen. Leipzig (Tauchnitz) 1919 u. 1921.
- Heim, Alb. und Heim, Arn.:* Die Juramulde im Aarmassiv bei Fernigen (Uri). — In: Heim, Alb.: Geologische Nachlese, Nr. 25. *Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich* Jg. 61, 1916, S. 503.
- Janettaz, Ed.:* Mémoire sur les clivages des roches (schistosité, longrain), et sur leur reproduction. — *Bull. Soc. géol. France* (3) t. 12, 1884, p. 211.
- Klähn, H.:* Untersuchungen über Sedimentierung und Sediment-Druck des Sandes. — *Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal. Abhandl.*, Beilage Bd. 65, Abt. B, 1931, S. 375.
— Sedimentdruck und seine Beziehung zum Fossil. — *Jahreshefte d. Ver. f. vaterländ. Naturkunde i. Württemberg*, Jg. 88, 1932, S. 52.
- Kumm, A.:* Diagenetische und metagenetische Veränderungen an Ceratiten. — *20. Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins*, Jg. 1927, S. 1, 1927.
- Ladurner, J.:* Zur Kenntnis des Gefüges „gestreckter“ Belemniten. — *Zeitschr. f. Kristallogr., Min. u. Petrogr.*, Abt. B, Min. u. Petr. Mitt., Bd. 44 (1933) S. 479.

- Lory, Ch.:* Description géologique du Dauphiné... Première partie. — Paris et Grenoble, 1860.
- Merian, P.:* In die Länge gezogene Belemniten aus dem Meyenthal im Kanton Uri. — Ber. ü. d. Verh. d. natf. Ges. Basel, vol. 7, 1844—1846, 1847, p. 55.
- Phillips, J.:* On certain Movements in the Parts of Stratified Rocks. — Report of the thirteenth meeting of the British Assoc. for the Advancement of Science, held at Cork in August 1843. Notices and Abstracts of Miscellaneous communications to the Sections 1844, p. 60.
- Quenstedt, W.:* Über Erhaltungszustände von Muscheln und ihre Entstehung. — Palaeontographica, vol. 71, 1928, S. 1.
- Regineck, H.:* Die pelomorphe Deformation bei den jurassischen Pholadomyen und ihr Einfluß auf die bisherige Unterscheidung der Arten. — Abhand. Schweiz. pal. Ges., Bd. 42, 1917, 67 S.
- Renevier, E.:* Résumé des travaux de Mr. D. Sharpe sur le clivage et la foliation des roches. — Bull. d. séances de la Soc. Vaudoise des Sci. Nat. t. 4, années 1853—1855, 1856, p. 379.
- Rothpletz, A.:* Geologisch-palaeontologische Monographie der Vilser Alpen, mit besonderer Berücksichtigung der Brachiopoden-Systematik. — Palaeontographica, vol. 33, 1886, S. 1.
- Ein geologischer Querschnitt durch die Ost-Alpen... — Stuttgart (Schweizerbart) 1894.
- Über eigentümliche Deformationen jurassischer Ammoniten durch Drucksuturen und deren Beziehungen zu den Styrolithen. — Sitzungsber. d. math.-physikal. Classe d. k. b. Akad. d. Wiss. zu München, 1900, Heft 1, 1900, S. 3.
- Rutsch, R.:* Geologie des Belpbergs. — Mitt. natf. Ges. Bern, Jg. 1927, 1928, S. 1.
- Sander, B.:* Gefügekunde der Gesteine. — Wien (Springer) 1930.
- Schaffer, F. X.:* Die zerrissenen Belemniten von Mariavölgy (Mariatal) in Ungarn. — Verh. k. k. geol. R. A. (Wien), Jg. 1918, Nr. 6, S. 140.
- Schmidt, W.:* Tektonik und Verformungslehre. — Berlin (Bornträger) 1932.
- Sharpe, D.:* On slaty Cleavage. — Quart. Journ. Geol. Soc. of London, vol. 3, 1847, p. 74.
- Sorby, H. C.:* The Anniversary Address of the President. — Proceed. Geol. Soc. London, Session 1878—79, Quart. Journ. Geol. Soc. London, vol. 35, 1879, p. 39.
- On the Application of Quantitative Methods to the Study of the Structure and History of Rocks. — Quart. Journ. Geol. Soc. London, vol. 64, 1908, p. 171.
- Studer, Bernh.:* Geologie der Schweiz. I. Bd. — Bern und Zürich, 1851.
- Thürmann, J.:* Essai d'orographie jurassique. Oeuvre posthume. — Genève et Bâle (Georg) 1868.
- Venzo, S.:* La fauna cattiana delle glauconie bellunesi. — Mem. Istit. Geol. R. Univ. Padova, vol. 13, 1937, p. 1.
- Wepfer, E.:* Die Auslaugungs-Diagenese, ihre Wirkung auf Gestein und Fossilinhalt. — Neues Jahrb. f. Min. Geol. u. Pal., Abhandl., Beilage Bd. 54, Abt. B, 1926, S. 17.
- Wesenberg-Lund, C.:* Biologie der Süßwassertiere. Wirbellose Tiere. — Deutsche Ausgabe v. O. Storch. Wien (Springer) 1939.
- Wettstein, A.:* Über die Fischfauna des tertiären Glarnerschiefers. — Abh. Schweiz. pal. Ges., vol. 13, 1886.