

Arnold Eschers Sicht der Glarner Überschiebung

Dominik Letsch (Zollikon)
Rudolf Trümpy (1921–2009) in tiefer Dankbarkeit gewidmet

Zusammenfassung

Die Umkehr der normalen stratigrafischen Abfolge im südlichen Kanton Glarus (die Glarner Überschiebung) war Arnold Escher – und bereits seinem Vater H.-C. Escher – schon um 1840 bekannt. Spätere Geologen (namentlich Rudolf Staub und Rudolf Trümpy) sahen in seinen diesbezüglichen frühen Beschreibungen eine Vorwegnahme der Erkenntnis einer tektonischen Überschiebung im modernen Sinn. Später sei Escher, von Zweifeln getrieben, zur Ansicht einer Doppelfalte gelangt, um die horizontale Verkürzung der Erdkruste, die mit solchen Strukturen verbunden ist, zu minimieren. Der vorliegende Artikel versucht zu zeigen, dass Escher nicht an eine Überschiebung im modernen Sinne gedacht hatte, sondern an ein Überfließen der plastischen Verrucanomasse über den eoziänen Flysch und dass das Modell der Glarner Doppelfalte in diesem Kontext einen wissenschaftlichen Fortschritt darstellte.

Arnold Escher's thoughts on the Glarus overthrust

The large scale inversion of the normal stratigraphic column in the southern area of the Canton of Glarus (the Glarus overthrust) was already known to Arnold Escher around 1840, half a century after it first had been described by his father Hans-Conrad Escher. Subsequently, geologists like Rudolf Staub and Rudolf Trümpy considered his early thoughts as an anticipation of a nappe or a thrust in the modern sense of the term. Later on, the cautious and extremely modest Escher allegedly invented the concept of the so called «Glarus double fold» in order to supposedly minimize the required horizontal contraction or shortening of the Earth's crust resulting from such a structure. The present article attempts to demonstrate that Escher did not imagine a thrust in the modern sense but rather of a plastic extrusion of the Verrucano upon the Eocene flysch deposits. However, in this regard the double-fold concept can be seen as a major scientific improvement in the context of mid-nineteenth-century geology.

Schlagwörter: Glarner Doppelfalte – Finsteraarhornmasse – Albert Heim – Passivität der Kristallingesteine – Bernhard Studer – Eduard Suess – Tektonik
Key words: Glarus double fold – mass of Finsteraarhorn – Albert Heim – passivity of crystalline rocks – Bernhard Studer – Eduard Suess – tectonics

1 EINLEITUNG

Die Glarner Überschiebung in den Gebirgen um das Linth-, das Sernf- und das Walenseetal erregt schon seit rund 200 Jahren die Gemüter der Geologen. Bis in allerjüngste Zeit ist dieses weltweit bekannte Naturmonument Gegenstand geologischer Forschung (z. B. HERWEGH et al., 2008) geblieben. Die Geschichte ihrer Erforschung ist nicht minder interessant und verworren als ihre geologische Geschichte, und im folgenden Artikel sollen einige neue Betrachtungen zu diesem an sich wohl bekannten Thema dargelegt werden.

Die Erkenntnis einer grossmassstäblichen Umkehr der stratigrafischen Abfolge in den Glarner Alpen ist innig mit den Namen von Hans-Conrad Escher von der Linth (1767–1823) und seinem Sohn Arnold (1807–1872, s. Abb. 1) verbunden. Wir werden uns auf die Tätigkeit und die Überlegungen Arnold Eschers (im Folgenden einfach mit Escher bezeichnet) beschränken und verweisen für eine Würdigung des Vaters auf die Darstellung, die STAUB (1954) gegeben hat. Das Bild, das sich Eschers Nachfolger von seinen geologischen Ansichten machten, hat sich in den letzten rund 130 Jahren mehrmals geändert und man kann im Wesent-



Abb. 1. Arnold Escher von der Linth (aus HEER, 1873).

Fig. 1. Arnold Escher von der Linth (from HEER, 1873).

lichen drei verschiedene Auffassungen unterscheiden. Die erste – sozusagen klassische – geht auf dessen Schüler und Nachfolger auf dem Lehrstuhl für Geologie in Zürich, Albert Heim (1849–1937, s. TRÜMPY und WESTERMANN, 2008 und Abb. 2) zurück. Nach ihm hätte sein Lehrer die Glarner Überschiebung schon um 1840 erkannt und wäre in den folgenden Jahren zur Ansicht gelangt, diese könne nur durch zwei liegende, gegeneinander geneigte Falten erklärt werden (die berühmt-berüchtigte «Glarner Doppelfalte»). Heim stellte es so dar, als hätte er im Wesentlichen nur eine Idee ausgebaut, die der Vorstellung Eschers entsprungen sei (HEIM, 1878). Dieser Auffassung stellte Rudolf Staub (1890–1961), selbst Schüler Heims, nach eingehendem Studium von Eschers Schriften und Tagebüchern eine zweite entgegen (STAUB, 1954). Gemäss dieser hätte er bereits in den 1830er Jahren (nach 1833, aber vor 1841) klar eine durchgehende und einseitige (im Gegensatz zur sozusagen zweiseitigen Heim’schen Doppelfalte) Überschiebung des

(permischen) Sernifit (Verrucano) und der darüber liegenden sekundären (mesozoischen) und tertiären Kalke, Mergel und Sandsteine über die tertiären Schiefermassen von Elm und Umgebung erkannt und auch entsprechend gedeutet. STAUB (loc. cit. 137) stellte des Weiteren fest, dass sich an keiner Stelle von Eschers Werk eine eindeutige Stelle finden lasse, an der er sich im Sinne einer Doppelfalte geäussert hätte. Dieser Auffassung schloss sich Staubs Schüler Rudolf Trümpy (1921–2009) an, allerdings nur bis zu Beginn der 1980er Jahre. Später kehrte er in einem gewissen Sinn zur klassischen Auffassung von Albert Heim zurück. Nach dieser – nunmehr dritten – Auffassung von Eschers Ansicht hätte dieser zwar um 1840 eindeutig die einseitige Überschiebung erkannt, wäre aber im Laufe der nächsten zwei Jahrzehnte, von Zweifeln getrieben, zur Ansicht einer Doppelfalte gelangt, um dadurch den Betrag des Zusammenschubes, den solche Strukturen verlangen, zu minimieren (FUNK et al., 1983, 103; TRÜMPY, 2001, 2003; TRÜMPY und WESTERMANN, 2008; cf. auch BAILEY, 1935, 49). Im Folgenden sei eine vierte Auffassung von Arnold Eschers Ansichten präsentiert, die in grundlegenden Punkten von allen drei bestehenden abweicht. Wir stützten uns dabei auf die genaue Lektüre der publizierten Arbeiten Eschers unter Berücksichtigung des damaligen geologischen Umfeldes.

2 ARNOLD ESCHERS AUFFASSUNG DER GLARNER GEOLOGIE UM 1840

In seines Vaters Fussstapfen wandelnd, wandte sich Escher im Frühling 1833 – soeben heimgekehrt von einer mehr als 2½-jährigen Italienreise, welche seiner Studienzeit in Berlin gefolgt war – der geologischen Erforschung der Alpen zu. Nachdem er im Sommer und Herbst 1833 zusammen mit Bernhard Studer (s. 3.1) die weitere Umgebung des Thunersees besuchte, begab er sich im Sommer 1834 in den Kanton Glarus. Aus jenem Sommer stammen seine ersten, sehr gewissenhaften und sorgfältigen geologischen Beobachtungen aus dem Gebiet der Glarner Überschiebung (ESCHER, 1841, 1846). Im Folgenden werden wir darzulegen versuchen, wie Escher – unserer Ansicht nach – diese Beobachtungen zu interpretieren suchte.

2.1 Die Finsteraarhornmasse

Ausgangspunkt unserer Betrachtung ist der Beginn von Eschers Beschreibung der Geologie des Kantons Glarus im Glarner Band des Gemäldes der Schweiz (ESCHER, 1846, 51): «Der Kanton Glarus bildet [...] das Ostende einer von zahlreichen Längen- und Querthälern durchzogenen

Winterthur 1927



Dr. Aug. Rikli Feer Prof. Dr. Alb. Heim

Winterthur 1927
 Mit einem Hund
 Finsteraarhorn
 am 11. März 1927
 dem Grossvater
 des Herrn Rikli
 in der
 Winterthur
 am 11. März 1927
 Ich habe viel zu leiden
 mit meinen 88 Jahren
 bei
 5. III. 1937
 Zollikon
 bei Zürich
 Sommer Prof. Dr.
 E. Letsch

Abb. 2. A) Albert Heim im Kreise seiner Freunde mit einem seiner Neufundländer Hunde bei der Ausübung seines Steckenpferdes, der Kynologie (aus FEER, 1933). B) Autograph von Albert Heim. Diese Postkarte schrieb der greise Heim meinem Urgrossvater Emil Letsch – Schüler Albert Heims – knapp fünf Monate vor seinem Tod. Die Karte endet mit dem rührenden Satz «Ich habe viel zu leiden mit meinen 88 Jahren».

Fig. 2. A) Albert Heim, together with friends and one of his Newfoundland dogs at a cynological meeting, one of his hobbies (from FEER, 1933). B) Autograph from Albert Heim. Heim sent this postcard five month before his death to my great grandfather Emil Letsch, who was a former pupil of Heim's. The card ends with the sentence «I have a lot to suffer with my 88 years».

Gebirgsmasse, welche man nach dem höchsten ihrer Gipfel wohl am passendsten Finsteraarhornmasse nennt; [...] ihr aus krystallinischen Felsarten (sogenanntem Urgebirge) bestehender Kern ist nämlich rings mit einem Saume Versteinerungen führender Sedimentgesteine [...] umgeben; [...]» Zur Ausgestaltung dieser Gebirgsmasse, die sich ziemlich genau mit dem heute als Aarmassiv bekannten alpinen Massiv deckt, führt ESCHER aus (loc. cit.): «Ein zwar nicht genaues, doch annäherndes Bild der Gestalt einer solchen Gebirgsmasse erhält man im Kleinen, wenn eine wagerecht liegende halbstarre Masse durch einen von unten in einer gewissen Länge wirkenden Druck in die Höhe getrieben wird, bis die Masse zerreisst, wobei Längen- und Querfurchen entstehen und der Boden an beiden Enden der Längsaxe sich halbmondförmig emporhebt. Ähnliche halbmondförmige Erhebungen und Vertiefungen zeigen sich deutlich [...] an ihrem Ostende; so beschreibt das Sernfthal fast einen Halbkreis rings um den Ostabfall des Freiberges; [...]». Diese Erklärung der Finsteraarhornmasse, die im Übrigen schon auf H.-C. Escher zurückgeht (s. ESCHER, 1852, 384 f), steht in krassem Gegensatz zu einer horizontalen Überschiebung an ihrem Ostende (d. h. im Glarner Land), wie sie Escher gemäss Staub und Trümpy damals angenommen haben soll: einmal würde eine kristalline Gebirgsmasse durch vertikal wirkenden

Druck in die Höhe gepresst und ein andermal würde über dieselbe Masse eine zweite Gebirgsmasse durch horizontal wirkenden Druck geschoben. Es scheint, als würden hier zwei prinzipiell unterschiedliche Vorstellungen der Gebirgsbildung aufeinanderstossen (s. Kap. 3.3).

2.2 Sernfschiefer und Sernfconglomerat

Besonders bemerkenswert sind Eschers Bemerkungen betreffend den Verrucano oder wie er ihn bevorzugt nennt: den «Sernfschiefer», das «Sernfconglomerat» bzw. den «Sernffit». Diese (permokarbonen) Konglomerate, Sandsteine, Tonschiefer und untergeordneten Vulkanite (z. B. unterhalb des Kärpfs) werden heute als die ältesten Sedimentgesteine der helvetischen Gesteinsabfolge betrachtet und wurden durch die Glarner Überschiebung auf eoazäne und unteroligozäne (also rund 200 Millionen Jahre jüngere) Flysche geschoben. Gerade dieser frappante Altersunterschied ist einer der Gründe für die Bekanntheit dieser Überschiebung, und seine Kenntnis scheint uns zentral für die Erkenntnis einer Überschiebung. In Eschers Schriften um 1840 suchen wir hingegen vergeblich nach deutlichen Hinweisen, dass er die Sernfschiefer als ältestes Sedimentgestein, ja überhaupt als Sedimentgestein, auffasst. So teilte er die gesamte Gesteinsabfolge im südlichen Kanton Glarus in folgende drei Abteilungen (ESCHER, 1846, 55; in eckigen Klammern jeweils die heutige Deutung): «I.

Krystallinische Felsarten und Sedimentbildungen, welche zwischen den erstgenannten und den Gesteinen II liegen [autochthones Grundgebirge und dessen Sedimentmantel]. II. Veränderter Kalkstein und Sernfschiefer [der «Lochsitenkalk», ein tektonisch bedingter Kalkmylonit an der Überschiebungsfäche und der überlagernde Verrucano der Mürtshendecke]. III. Sedimentbildungen über den Sernfschiefern [mesozoische und tertiäre Sedimente der Mürtshendecke].» Den «veränderten Kalkstein» anerkennt er tatsächlich als mesozoisch aufgrund von Ammonitenfunden E des Panixerpasses (op. cit., 69; s. auch HEIM, 1878a, 141), doch den Sernfschiefer scheint er viel eher als verhältnismässig junges kristallines Gestein zu betrachten, wenn er ausführt (54): «Wenn z. B. ein deutliches Sedimentgestein von krystallinischen, fast horizontal gelagerten Felsarten überdeckt ist, so ist klar, dass das Sedimentgestein früher vorhanden war als seine krystallinische Decke; zeigen sich ferner am Sedimentgestein deutliche Spuren von erlittenen Umwandlungen, so ist es wenigstens höchst wahrscheinlich, dass die Bedeckung nicht bloss in Folge rein mechanischer Umwälzungen eintrat, sondern dass die Veränderungen des Sedimentgesteins und die Ausbildung der krystallinischen Decke gleichzeitig durch eine und dieselbe Ursache bewirkt worden sind, dass also die krystallinische Felsart auch ihre gegenwärtige Beschaffenheit, ihre jetzige Natur erst nach der Ablagerung der Sedimentbildung erhalten hat. [...] So ergibt sich aus den im Kanton Glarus vorkommenden Erscheinungen, [...], dass dort die krystallinischen Gesteine, [...], nicht nur lange nach der Erschaffung der Thier- und Pflanzenwelt, sondern sogar in verhältnismässig sehr neuer Zeit gebildet worden sind, [...]»

Zwei Dinge springen bei dieser Aussage ins Auge: (1) Der Sernfschiefer ist ein kristallines Gestein und er ist zeitgleich mit der Veränderung der unterlagernden Sedimente (also irgendwann im Tertiär) entstanden¹, und (2) seine Überlagerung auf eben diese Sedimente kann nicht bloss als «rein mechanische Umwälzung» betrachtet werden (s. 3.2). Damit verneint Escher zwei wesentliche Merkmale einer tektonischen Überschiebung im modernen Sinne. Vielmehr scheinen mir seine Aussagen zu zeigen, dass er an ein teigartiges Ausfliessen des plastischen Sernfschiefers über die bestehenden Sedimente denkt (s. Abb. 3). Wir

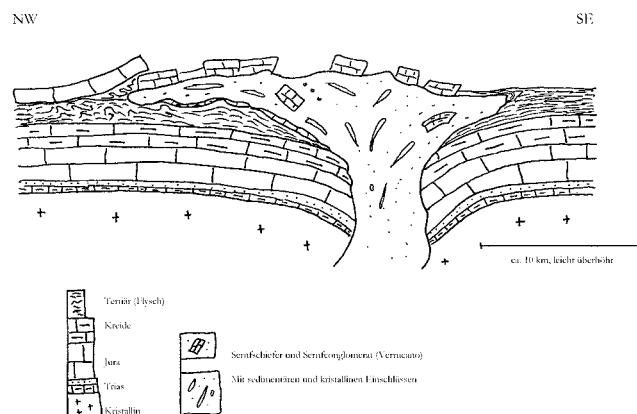


Abb. 3. Schematische Erläuterungsskizze, wie Escher sich 1846 die Glarner Überschiebung vorgestellt haben könnte. Die Darstellung ist hypothetisch, orientiert sich jedoch an Eschers Beschreibungen und an Figuren aus STUDER (1847; namentlich die Abbildungen auf S. 166 und 184) sowie an der Beschreibung von MURCHISON (1849, 248), die sich stark an Eschers Ansicht anlehnen dürfte: «But it became necessary to admit, that the strata had been inverted, not by frequent folds, as on the sides of the lake of Aldorf or in the Hoher Sentis, but in one enormous overthrust; so that over the wide horizontal area above-mentioned, the uppermost strata which might have been lying in troughs or depressions due to some grand early plication, were covered by the lateral extrusion over them of older and more crystalline masses; the latter having been forced from their central position by a movement operating from centre to flanks, or in other words, from the axial line of disturbance towards the sides of the chain.»

Fig. 3. Schematic sketch to illustrate how Escher might have imagined the Glarus overthrust. This hypothetical figure is inspired by descriptions by Escher himself and by drawings from STUDER (1847, 166, 184) as well as by a description given by MURCHISON (cf. quotation given above).

werden diese Vermutung, die sich im Übrigen sehr gut mit damals gängigen Theorien vereinbaren liesse, später noch weiter ausdeuten.

Es soll aber der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen sein, dass sich Escher bei der Altersdeutung der Sernfschiefer unsicher war (s. 3.3). So war ihm die Möglichkeit wohl bewusst, dass diese die ältesten Sedimentgesteine in der Region darstellen könnten. Schon der berühmte deutsche Geologe Leopold von Buch vermutete 1809 ein rothliegendes (permisches) Alter (cf. STUDER, 1872, 252), und auch Sir Roderick Impey Murchison, den Escher im Sommer 1848 in den Glarner Alpen umherführte, betrachtete sie

¹ Eine diesbezüglich sehr eindeutige Stelle findet sich auf Seite 85 desselben Werkes: «[...] ebenso deutlich ist wohl auch, dass die Bildung der krystallinischen Felsarten bis nach dem Ende der Kreideperiode fort dauerte, indem ihre Lagerung über den Sedimentbildungen und die damit in Verbindung stehende, theilweise Gesteinsveränderung der letzteren hier so wenig als bei den übrigen Beispielen keilartiger Verwachsungen von krystallinischen und von Sedimentgesteinen durch Annahme bloss mechanischer Umwälzungen erklärt werden kann.»

(teilweise) als die ältesten Gesteine der Region (MURCHISON, 1849, 198), obwohl Murchison in derselben Arbeit (S. 164) bestreitet, das System des Perms sei in Südeuropa, wozu er auch die Alpen zählte, überhaupt je abgelagert worden. Eschers Zweifel an der Alterszuweisung der Sernfschiefer und Sernfconglomerate und der Frage, ob diese überhaupt als Sedimente zu betrachten seien, rührt wohl daher, dass er häufig Übergänge in Gesteine mit eindeutig kristallinem Gefüge beobachten konnte, und man versteht seine Vorbehalte umso mehr, wenn man beispielsweise am Segnespass die grünen, talkig-serizitisch glänzenden Schiefer mit ihren eingelagerten Feldspat-Porphyroblasten betrachtet, die dort den Verrucano bilden. Wie weiter unten zu zeigen sein wird, stand Escher diesbezüglich wohl stark unter dem Einfluss Bernhard Studers.

3 ESCHER UND SEIN WISSENSCHAFTLICHES UMFELD

Wie im vorangehenden Abschnitt dargelegt, kam Arnold Escher um 1840, aufgrund äusserst gewissenhafter Untersuchungen, zur Erkenntnis, dass im südlichen Kanton Glarus mindestens eine Verdoppelung der mesozoisch-tertiären Schichtreihe vorliegen müsse (Abteilungen I und III seiner Gliederung). Dazwischen gelagert findet sich ein dünnes Bändchen eines veränderten Kalksteins, der von einem mächtigen und lithologisch vielfältigen, vermutlich kristallinen Gestein überlagert wird (seine Abteilung II). Wir haben auch dargelegt, dass er Letzteres unter gewissen Vorbehalten als eine relativ junge Bildung ansah. Damit ergibt sich eine ziemlich komplizierte Auffassung der regionalen Geologie (s. Figur 3), die sich eigentlich nur dann verstehen lässt, wenn man Eschers wissenschaftliches Umfeld und speziell die Person Bernhard Studers mitberücksichtigt.

3.1 Der Einfluss Bernhard Studers und die aktive Rolle der kristallinen Gesteine

Bernhard Studer (1794–1887, s. BALMER, 1888 und Abb. 4) darf wohl als einer der bedeutendsten Schweizer Geologen überhaupt bezeichnet werden. Seit den frühen 1820er Jahren bis kurz vor seinem Tode in ausserordentlich hohem Alter widmete sich der Berner Geologie-Professor der Erforschung der Schweizer Alpen. Er genoss in ganz Europa hohes Ansehen und publizierte zahlreiche Bücher und Artikel. Mit Arnold Escher verband ihn eine langjährige Freundschaft, und Escher stellte ihm auch bereitwillig Daten zur Verfügung, die dann beispielsweise in dessen



Abb. 4. Bernhard Studer (1794–1887) (aus BALMER, 1888).

Fig. 4. Bernhard Studer (1794–1887) (from BALMER, 1888).

«Geologie der Schweiz» (STUDER, 1851, 1853) verarbeitet wurden.

Aufgrund seiner Studien im Berner Oberland – unter anderem zusammen mit Escher im Jahre 1836 im Urbachtal südlich von Meiringen – gelangte Studer zur Ansicht, dass kristalline Gesteine, wie z. B. Gneise oder Glimmerschiefer, in einem weichen, plastischen, aber keineswegs flüssigen Zustand aus den Tiefen des Erdinnern vertikal nach oben gestiegen wären. Dabei hätten sie die überlagernden Gesteine aufgewölbt, bis diese endlich in Form langgestreckter Spalten aufgerissen und der «kristalline Teig» seitlich auseinandergeflossen wäre. So schreibt Studer beispielsweise über die oben erwähnte Finsteraarhornmasse (STUDER, 1847, 204): «Nur im mittleren Theil der Centralmasse, wo diese in Höhe und Breite die grösste Entwicklung zeigt, ist also der Gneis dem Kalk aufgelagert, oder in ihn eingedrungen; wie eine aufgequollene Masse hat er den Rand der Spalte zerquetscht und sich über ihn ausgebreitet.» Studer war besonders beeindruckt, wie schmale Keile aus mesozoischen Kalken aufs Innigste mit Gneis vermischt wurden, ohne dass der Kalk eine der Erwartung entsprechende (STUDER, 1847, 158) Veränderung seiner Struktur und seines Gefüges erlitten hatte.

Studers Auffassung des Mechanismus der Gebirgsbildung ist also primär von vertikalen Bewegungen bestimmt, die von den kristallinen Gesteinen der Zentralmasse ausgehen und so auch zu sekundären horizontalen Bewegungen führen. Dies deckt sich ausgezeichnet mit Eschers Beschreibung und genetischer Deutung der Finsteraarhornmasse (s. 2.1). Ebenso passt sie zu seiner Erklärung der geologischen Verhältnisse im Glarner Land – zumindest in der Form, in der sie Escher angedeutet hat (s. 2.2) – herangezogen.

gen werden und ich vermute tatsächlich, dass Escher sich die dortige Gebirgsbildung so ähnlich vorgestellt hat (s. Figur 3). Diese Vermutung erhält eine starke Stütze durch die – auffällig kurz gehaltene – Beschreibung der Glarner Geologie in Studers Geologie der Schweiz² (STUDER, 1851, 421): «Um dieses Verhältniss durch eine Umstürzung zu erklären, müsste man voraussetzen, dass der ganze südliche Theil des Kantons [...] sich in verkehrter Auflagerung befinde und würde selbst hiemit [sic!] nicht ausreichen. Einfacher scheint die Annahme, dass die Conglomerate des Verrucano von unten her, unter Begleitung tief eingreifender metamorphischer Processe, in die Höhe gedrunge seien und die sedimentäre Decke, theils gehoben und auf die Seite geworfen, theils überdeckt haben. [...] Während dieses Ausbruchs, der aus einer vom Käpfstock nach dem Murgthal gezogenen Spalte scheint stattgefunden zu haben [...]» Dieser Mechanismus deckt sich weitgehend mit den Vorstellungen Eschers (s. 2.2) und hat mit einer Überschiebung im modernen Sinne nichts zu tun. Die kristallinen Gesteine, hier der Verrucano oder Sernfschiefer, spielen eine aktive Rolle bei der Gebirgsbildung, indem sie während dieser aus dem Erdinnern hervorquellen und dabei die überlagernden Sedimentgesteine auseinanderreissen, verfallen und lokal «überstürzen».

Es bedeutete einen grossen Fortschritt für die geologische Erforschung der Alpen, als der weltbekannte Wiener Geologe EDUARD SUSS (1875, 9) vermutete und ALBERT HEIM exakt und unzweideutig nachwies (1871, 248; 1878a, 19 f und 1878b, 116–135), dass die (meisten) kristallinen Gesteine in den Alpen älter als die Gebirgsbildung sind und bei dieser passiv zusammen mit ihrer überlagernden Sedimenthaut deformiert wurden (s. 3.3). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass Albert Heim seinem hoch verehrten Lehrer Escher posthum zugesteht, er habe diese Ansicht ebenfalls vertreten und ihn somit auf inhaltliche Distanz zu dessen Freund Studer rückt (z. B. HEIM, 1878b, 125, 135). Dieser Ansicht sind in der Folge viele Schweizer Geologen gefolgt und so entstand das Bild, es hätte eine eigentliche Escher-Studer-Kontroverse zur vermeintlich

aktiven Rolle der kristallinen Gesteine bei der Bildung der Alpen gegeben (z. B. CADISCH, 1953, 12; TRÜMPY, 1980, 11; 1998, 165). Es mag zutreffen, dass Escher in gewissen Fällen und generell in seinen späteren Jahren³ tatsächlich dieser Ansicht war, doch seine Beschreibungen zur Glarner Geologie (s. 2.2, v. a. Fussnote 1) scheinen mir zu zeigen, dass er – zumindest um 1846 – viel stärker von Studer beeinflusst wurde, als Albert Heim dies später dargestellt hat.

3.2 «Rein mechanische Umwälzung» oder «metamorphischer Teig»

Häufig findet man in Studers und Eschers Schriften die Bezeichnung «rein mechanisch» (s. z. B. 2.2). Dieser Begriff bedarf daher einer kurzen Erklärung. Bei der Lektüre der geologischen Literatur der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts stösst man auf frühe Beschreibungen und Deutungsversuche der Veränderungen, die Gesteine nach ihrer Ablagerung (Ausfällung oder Sedimentation aus dem Wasser) oder ihrer Erstarrung aus einer Schmelze erfahren haben (z. B. WEGMANN, 1948, über einen Artikel des Norwegers M. Keilhau aus dem Jahre 1828). Anfänglich wurde naheliegenderweise der Einfluss der Wärme durch geschmolzenes Gestein oder durch vulkanische Dämpfe und von diesen mitgeführten Stoffen als Ursache jener «Metamorphose»⁴ verantwortlich gemacht. Demgegenüber betonte Keilhau (WEGMANN, loc. cit. und STUDER 1847, 119) auch andere Prozesse, die in einem starren und keineswegs besonders heissen Körper vor sich gehen können, namentlich die «vereinigte Wirkung der chemischen Verwandtschaft, der elektrochemischen Attraktion und der Adhäsionskräfte». STUDER gab 1847 die folgende Definition (116): «In weiterem Sinne bezeichnet Metamorphismus jede Veränderung der Aggregation, Structur oder chemischen Beschaffenheit, welche die Steinarten nach ihrer Ablagerung und Befestigung erlitten haben, oder die Einwirkungen, welche durch andere Kräfte, als die Schwere und Cohäsion, ausgeübt worden sind.»⁵ Interessant ist, dass Studer die Schwere (d. h. den Druck) explizit als Ursache des Metamorphismus ausschliesst (cf. auch STUDER,

² Diese Stütze wird umso stärker, wenn man bedenkt, dass Studer sehr viele Angaben in seinem Werk den Mitteilungen Eschers verdankt. Gerade im Falle des Glarner Landes, das Escher ungleich besser kannte als sein Freund, dürften wir eigentlich erwarten, seine Ansichten in ziemlich «unverfälschter» Form zu erfahren.

³ HEIM (1921, 7) zitiert folgende Anekdote, um seinen Standpunkt zu untermauern: Escher soll ihm auf einer gemeinsamen Exkursion 1865 an den Tödi gesagt haben «Ich kenne den Granit nicht, der die Alpen emporgehoben haben soll».

⁴ Der Begriff des metamorphen Gesteins scheint von Sir CHARLES LYELL (1833, 374 f.) eingeführt worden zu sein, und er bezeichnet mit ihm geschichtete «hypogene» (ihre jetzige Form und Struktur nicht an der Erdoberfläche erhaltene) Gesteine.

⁵ Studer braucht konsequent den heute unüblichen Ausdruck Metamorphismus. Wir werden diesen (sowie das Adjektiv metamorphisch) im Sinne Studers beibehalten, um den Unterschied zu betonen, der m. E. zum modernen Begriff der Metamorphose (und auch zur originalen Definition von Lyell) besteht.

1872, 157). Dies scheint mir zentral für das Verständnis des Begriffs «rein mechanisch». Damit fassen Studer und Escher Vorgänge zusammen, die ohne Einwirkung grosser Wärme oder vulkanischer Dämpfe, sowie ohne die Wirkung elektrochemischer Vorgänge (d. h. ohne Phasenumwandlungen), alleine durch die Wirkung von Druck (d. h. der Schwere) und durch den inneren Zusammenhalt (die Kohäsion) auf feste Gesteinsmassen zustande kamen.

Aus dieser Definition wird ersichtlich, dass – zumindest für Studer, aber nach der Fussnote 1 zu urteilen auch für Escher – die Kalkkeile im Gneis des Berner Oberlandes (s. 3.1) keine mechanischen, sondern vielmehr metamorphische Phänomene sind. Folglich hätte auch der sich über den eoziänen Flysch ausbreitende Verrucano diesen metamorphisch verändert (v. a. ESCHER, 1846, 85). Die dadurch bewirkte Lagerungsumkehr (die Glarner Überschiebung der neueren Terminologie) kann daher nicht als mechanische Überschiebung aufgefasst werden.

Um diesen Punkt noch weiter zu erhärten, sei darauf hingewiesen, dass auch Escher sehr wohl Beispiele mechanischer Auf- bzw. Überschiebungen (allerdings in bedeutend kleinerem Massstab) kannte und diese auch völlig korrekt beschrieb. Beispielsweise bemerkte er an der Rigi-Hochflue und am Urmiberg (W Brunnen, SZ) eine Verdoppelung der oberkreidezeitlichen Gesteinsabfolge (Überschiebung der Urmiberg-Schuppe auf die Hochflue-Schuppe) und eine zwischengelagerte Eozän-Zone (ESCHER, 1853, 56 sowie Fig. 10: «[...] aus ihr [Fig. 10] ergibt sich, dass die hier stattfindende theilweise wenigstens regelmässige Wiederholung der Gebirgsglieder sich, ohne in Unnatur zu verfallen, nicht durch Gewölbbeugung erklären lässt, sondern dass hier wohl eine eigentliche Schiebung des Stücks A über B hin stattgefunden haben muss [...].»)

Noch deutlicher wird Escher in einem Brief an Murchison vom 5. Dezember 1848 (zitiert in TRÜMPY, 1991, 388) über die Glarner Überschiebung, die er diesem ja ein halbes Jahr zuvor in natura gezeigt hatte (s. 2.2): «[...] De quelle manière que je m'y prenne je ne réussis pas à accorder ces phénomènes [die Glarner Überschiebung] avec la théorie de Mr Rogers tandis qu'au contraire sa supposition me plaît beaucoup pour la faille entre la Nagelfluh et la chaîne calcaire [die alpine Randüberschiebung]; il m'a toujours semblé que le calcaire, poussé par une pression latérale venant du E.S., s'était porté contre la molasse et avait foulé celle-ci pour ainsi dire à ses pieds.» Escher zögerte also, die Verhältnisse des südlichen Glarner Landes als mechanische Überschiebung, hervorgerufen durch seitlichen Druck, zu erklären, wogegen er diese Erklärung

bereitwillig auf die randliche Überschiebung der helvetischen Kreideketten auf die tertiäre Molasse anwandte (vgl. auch ESCHER, 1846, 76 f).

Als im Verlauf der 1870er Jahre immer klarer wurde, dass die zentralalpiner Kristallinmassive (wie eben z. B. die Finsteraarhornmasse) bedeutend älter sind als die alpine Gebirgsbildung (s. 3.1) und sich bei jener passiv verhalten hatten, schieden diese als metamorphisierendes Agens aus: Wie sollten kristalline Gesteine, die älter als die Trias oder gar das Perm sind, viel später – im Tertiär – bei der Bildung riesiger Störungen der stratigrafischen Abfolge mitgewirkt und letztere dabei auch noch teilweise metamorphisiert haben? Albert Heim zeigte sich in seinem grossen Werk «Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung» (1878) äusserst kritisch dem Konzept des Metamorphismus gegenüber. Er hielt dieses für eine unbewiesene Hypothese, die häufig auf Irrtümern basiere (HEIM, 1878a, 10). Die Temperatur und hypothetische elektrochemische Vorgänge spielen für ihn eine viel geringere Rolle als die Schwere (der Gebirgsdruck). Heims Theorie ist eine mechanische im gleichen Sinne, wie Studer diesen Begriff verstand (s. 3.2). Einzig und allein die Schwerkraft und eine mehr oder weniger geheimnisvolle Kraft, die in horizontaler Richtung wirkt (s. 3.3; erstmals erwähnt in HEIM, 1871, 261), sind für die Gebirgsbildung verantwortlich. Durch den grossen Druck in der Erdkruste kann sich diese in genügender Tiefe auch plastisch verhalten. Durch diese Plastizität im festen Zustand erklärte HEIM (1878b, 133 ff) auch die Kalkkeile im Gneis des Berner Oberlandes (s. 3.1), deren Existenz Studer rund 40 Jahre zuvor zur Hypothese des weichen «metamorphischen» Gneis-Teigs führten. Die ältere Geologengeneration stand dieser mechanischen Tektonik von Heim und seinen Schülern skeptisch gegenüber. Dies äussert sich schön in OSWALD HEERS Bemerkung in der 2. Auflage seiner «Urwelt der Schweiz» zur Erklärung der Kalkkeile im Gneise des Berner Haslitalen (1879, 626): «Sie [d. h. Albert Heim und Armin Baltzer] nennen diesen Vorgang ein gegenseitiges Verkneten durch Bewegung der festen Massen. Den Ausdruck kneten braucht man indessen nur für weiche Massen, und harte Felsen können doch wohl, auch unter starkem Druck, nicht zusammengeknetet werden.» Diese – aus heutiger Sicht! – fast schon etwas naiv anmutende Bemerkung des greisen Heers, aber auch Albert Heims Wortwahl («Verkneten») scheinen uns ein schönes Beispiel für «anthropomorphes» Denken in der Geologie zu sein, wie es der einflussreiche niederländische Geologe W. R. VAN BEMMELEN (z. B. 1973, 59) noch im 20. Jahrhundert kritisierte.

Arnold Escher erlebte die Debatte um die mechanische Erklärung der Gebirgsbildung nicht mehr – er war 1872 verstorben –, doch seine Schriften scheinen mir zu zeigen, dass er, zumindest in den 1830er und 1840er Jahren, ganz ähnliche Theorien verfolgte wie sein Freund Studer. Auf einen möglichen Wandel seiner Ansichten im Zeitraum von 1850 bis zu seinem Tode werden wir im Folgenden etwas genauer eingehen.

3.3 Vertikaltektonik und Horizontaltektonik: Ein Paradigmenwechsel

Für Bernhard Studer und Arnold Escher (vor ca. 1850) war die Gebirgsbildung ein primär vertikaler Vorgang: metamorphische Massen stiegen entlang der Achse des Gebirges – angetrieben durch ziemlich nebulöse Kräfte – vertikal empor und hoben, zerbrachen und überflossen schliesslich ihre Sedimentbedeckung. Sekundär kam es dabei auch zu horizontalem Druck, doch die eigentliche Ursache der Gebirgsbildung war vertikal gerichtet. Diese Auffassung war in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Europa weit verbreitet (vgl. ŞENGÖR, 1990, 16 ff) und wurde und wird als Vertikaltektonik bezeichnet. Um die Jahrhundertmitte, und teilweise schon früher, kamen andere Theorien der Gebirgsbildung auf, die mehr Gewicht auf horizontalen Druck und horizontale Bewegungen legten und dementsprechend als Horizontaltektonik bezeichnet werden. Ein prominenter Vertreter jener Ansicht war der Österreicher Eduard Suess (1831–1914, s. 3.1), der mit seinem Buch «Die Entstehung der Alpen» die Alpengeologen seiner Zeit – und unter ihnen speziell den jungen Albert Heim (vgl. ARBENZ, 1937, 6) – ungemein inspirierte und der Theorie des Horizontalschubes und der Passivität der kristallinen Gesteine mit zum Durchbruch verhalf. Diesem Durchbruch darf wohl der Status eines Paradigmenwechsels im Sinne von THOMAS KUHN (1996) zugesprochen werden. Beobachtungen, die im alten Paradigma (aktive, vertikal aufsteigende, «kristallin-metamorphische» Massen als Antrieb der Gebirgsbildung) als Anomalie (um sich Kuhns Nomenklatur zu bedienen) erscheinen mussten (z. B. sedimentär umgelagerte Blöcke von vermeintlich jungem Windgällendorphyr im vermeintlich älteren Dogger, s. HEIM, 1878a, 63 f), wurden die Grundlage des neuen Paradigmas (kristallines Grundgebirge und das viel jüngere sedimentäre Deckgebirge wurden gleichzeitig und gemeinsam deformiert). Da in diesem neuen Konzept die kristallinen Gesteine

nicht der Antrieb der Gebirgsbildung sein konnten, da sie ja selbst auch bloss passiv deformiert wurden, benötigte man eine neue Kraft und fand diese im so genannten Horizontalschub.⁶

Nach dem eben Gesagten dürfen wir Bernhard Studer einerseits, sowie Albert Heim und Eduard Suess andererseits, als Vertreter zweier verschiedener Paradigmen auffassen. Es stellt sich nun die Frage, ob und wenn ja, zu welchem Paradigma wir Arnold Escher stellen dürfen. Dieser macht es uns nicht leicht, da er als äusserst gewissenhafter und betont bescheidener Zürcher Patrizier nur relativ selten publizierte und auch dazu immer sehr zurückhaltend formulierte. Fast alle seine Äusserungen zu etwas mehr hypothetisch-theoretischen Dingen enthalten bereits eine Relativierung seiner eigenen Vermutungen. Nichtsdestotrotz scheint Escher mehrheitlich als «Kontraktionist» (also als Vertreter des neuen Paradigmas des Horizontalschubes von Suess und Heim) gesehen zu werden (z. B. CAROZZI, 1983, 1; ŞENGÖR, 1990, 16, sowie die unter 3.1 gemachten Bemerkungen). Dies scheint mir aus den oben gemachten Ausführungen eher unwahrscheinlich. Escher betonte stets die vertikale Bewegungskomponente der Gebirgsbildung durch die eingehende Beschreibung der Finsteraarhornmasse. Zudem deutete er 1846 die Glarner Überschiebung nicht im Sinne einer mechanischen Überschiebung (entsprechend dem horizontaltektonisch-kontraktionistischen Paradigma), sondern als das Ausfliessen einer jungen metamorphischen Masse aus einer langgezogenen Spalte (s. 2.2 und 3.1). Allerdings finden wir in ESCHERS späteren Schriften (erstmalig 1853, 64 und v. a. 65, sowie ANONYMUS, 1866) Hinweise, dass er eine übergeordnete Ursache oder Kraft vermutete, die das Alpengebirge in seiner Gesamtheit erschaffen habe. Zudem scheint es, als ob Escher ab ca. 1853 den Verrucano (das Sernfconglomerat und den Sernfschiefer, den er noch 1846 als junges metamorphisches Gebilde ansah) neu korrekt als präjurassisches Sedimentgestein betrachtete (ESCHER, 1853, ANONYMUS, 1866, 71), was natürlich im Widerspruch zu seiner Vorstellung von 1846 stehen musste, in der der Verrucano in plastischem Zustand während des Tertiärs aus einer schmalen Spalte herausgeflossen sein soll. Wahrscheinlich war es diese Erkenntnis, die Arnold Escher vor 1866 (vermutlich schon 1854; s. Erwähnung bei SUESS, 1916, 422 f) zur Konstruktion der Glarner Doppelfalte führte. Rudolf Trümpy war der Ansicht, dass diese Doppelfalte einen Rückschritt

⁶ Die Ursache dieses Horizontalschubes sah man in der so genannten Erdkontraktion. Diese sollte dadurch zu Stande kommen, dass sich die Erde langfristig abkühlte und ihr Kern dadurch an Volumen einbüsste, wodurch die bereits früher erstarrte und abgekühlte Erdrinde sich an eine geringere Oberfläche anpassen musste.

bedeutete, nachdem Escher zuvor (in den 1840er Jahren) eine einseitige Überschiebung beobachtet und beschrieben hätte, und er bezeichnete sie sogar als das «erste Epizykel»⁷ der alpinen Geologie (TRÜMPY, 2001, 478). Dieser Ansicht wäre zuzustimmen, wenn Escher tatsächlich eine Überschiebung im mechanischen Sinne des horizontaltektonisch-kontraktionistischen Paradigmas beobachtet und beschrieben hätte. Doch war dies nicht der Fall, wie ich oben zu zeigen versucht habe. Vielmehr sah Escher in den 1840er Jahren die Glarner Überschiebung durch die Optik des damals gängigen Paradigmas der jungen metamorphischen Gesteine und der Vertikaltektonik. In diesem Kontext scheint mir die Doppelfalte nicht als ein Rück-, sondern als ein Fortschritt, da sie eine symmetrische, zweiseitige Faltung oder Überschiebung kristalliner (und nicht mehr metamorphischer) Massen samt ihrer Sedimentbedeckung im mechanischen Sinne des neuen Paradigmas darstellt. Ich glaube auch nicht, dass Escher die Doppelfalte erfand, um den horizontalen Zusammenschub zu minimieren, wie dies von BAILEY (1935, 49) und TRÜMPY (1991, 2001) vermutet wurde. Während die vertikaltektonischen Vorstellungen Eschers von 1846 eigentlich kaum einen horizontalen Zusammenschub implizierten, tat dies die Doppelfalte in höchstem Masse.

3.4 Schluss

Die dargelegte Sichtweise der geistigen Entwicklung Eschers wirft auch ein neues Licht auf Albert Heims spätere Verteidigung der – faktisch unhaltbaren – Doppelfaltenhypothese, wie sie von TRÜMPY und WESTERMANN (2008) jüngst beschrieben wurde. Albert Heim sah in der Doppelfalte zurecht einen massiven Fortschritt seines Lehrers Escher gegenüber dessen früheren Ansichten, die stark von Studer geprägt waren, den Albert Heim zeitlebens nicht schätzte (TRÜMPY, mündl. Mitteilung; sowie Andeutungen in HEIM, 1878b, 119, 130). Erst mit der Doppelfalte wurde überhaupt erst ein horizontaler Zusammenschub des gesamten Alpengebirges impliziert. Uns ist keine Stelle in Studers Werk bekannt, wo dieser eine sozusagen globale Verkürzung erwähnt; die Falten und lokalen Überschiebungen, die er beschrieb, waren für ihn bloss sekundäre Folgen der vertikalen Bewegung der metamorphischen Zentralmassive. So hat sein Freund Escher auch die Glarner

Geologie um 1846 gedeutet. Dessen Bekehrung zum neuen Paradigma darf zu Recht als Fortschritt gewertet werden, was seinem Schüler Heim bewusst war. So erstaunt es vielleicht etwas weniger, dass dieser der zwischen 1884 und 1903 aufkommenden neuen Hypothese der Deckenüberschiebung lange Zeit kritisch gegenüberstand. Diese erinnerte ihn vielleicht – jedoch zu Unrecht! – an die früheren Ideen des jungen Eschers und Studers, auch wenn er dies nie direkt ausgesprochen hat.

3.5 Verdankungen

Rudolf Trümpy verdanken wir die Anregung, uns mit der Glarner Geologie und ihrer Geschichte zu befassen. Die zahlreichen Gespräche mit ihm und die Lektüre seiner Arbeiten haben indirekt zur Abfassung dieser Arbeit beigetragen. Wir bedauern es ausserordentlich, dass wir mit ihm unsere neue These nicht mehr besprechen konnten. Nazario Pavoni möchten wir ganz herzlich danken für seine kritische Durchsicht des Manuskripts und für die vielen Stunden, die wir mit ihm über die Geologie diskutieren durften.

6 LITERATUR

- ANONYMUS. 1866. Sur la géologie du canton de Glaris présentée par M. Escher de la Linth. Actes Soc. Helv. Sci. Nat., 50^{ième} session, 71–75.
- ARBENZ, P. 1937. Albert Heim. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Genf 1937, 330–353.
- BAILEY, E.B. 1935. Tectonic Essays, Mainly Alpine. Oxford at the Clarendon press, Oxford, 200 pp.
- BALMER, H. 1888. Bernhard Studer. Berner Taschenbuch auf das Jahr 1888, 289–301.
- VAN BEMMELEN, W.R. 1973. Geodynamic models for the alpine type of orogeny (test-case II: the Alps in central Europe). Tectonophysics 18, 33–79.
- CADISCH, J. 1953. Geologie der Schweizer Alpen. Wepf & Co., Basel, 480 pp.
- CAROZZI, A.V. 1983. La géologie en Suisse des débuts jusqu'à 1882 – digression sur l'histoire de la géologie suisse depuis Konrad Gesner (1565) jusqu'à Heinrich Wettstein (1880). Eclogae geologicae Helvetiae 76/1, 1–32.

⁷ Als Epizykel wurden in der präkopernikanischen Astronomie (d. h. in jener, in welcher die Erde als festes Zentrum des Weltalls galt, um welches sich Sonne, Mond und Sterne drehten) kleine Kreisbahnen bezeichnet, welche einzelne Sterne auf ihrer grossen Kreisbahn um die Erde zusätzlich beschrieben. Durch diese konnten die scheinbar retrograden Bewegungen einzelner Sterne erklärt werden. Diese Hilfskonstruktion wurde durch das heliozentrische Weltbild des Nikolaus Kopernikus überflüssig. Im übertragenen Sinn meint Trümpy damit wohl kurzzeitige Rückschritte in der wissenschaftlichen Erkenntnis, die der generellen Entwicklung entgegengesetzt verlaufen.

- ESCHER, A. 1841. Geologische Carte des Cantons Glarus und seiner Umgebungen, nebst Profilen. Verh. Schweiz. Naturf. Ges., 56–62.
- ESCHER, A. 1846. Gebirgskunde, mit Karten und Profilen. In: «Der Canton Glarus, historisch-geographisch-statistisch geschildert von den ältesten Zeiten bis auf die Gegenwart.» Historisch-geographisch-statistisches Gemälde der Schweiz, Bd. 7, O. Heer und J.J. Blumer-Heer ed., pp. 51–90. Huber, St. Gallen. 665 pp.
- ESCHER, A. 1852. Escher als Gebirgsforscher. In «Hans Conrad Escher von der Linth – Charakterbild eines Republikaners», J.J. Hottinger, 355–392. Orell, Füssli & Co., Zürich, 415 pp.
- ESCHER, A. 1853. Geologische Bemerkungen über das nördliche Vorarlberg und einige angrenzenden Gegenden. Neue Denkschriften der Schw. Naturforschenden Gesellschaft; Bd. 13, 1–135.
- FEER, M. 1933. Schweizerische Kynologische Gesellschaft. Festschrift zum fünfzigjährigen Bestehen der Gesellschaft. Eigenverlag, Winterthur.
- FUNK, H. et al. 1983. Bericht über die Jubiläumsexkursion «Mechanismus der Gebirgsbildung» der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in das ost- und zentralschweizerische Helvetikum und in das nördliche Aarmassiv vom 12. bis 17. September 1982. *Eclogae geologicae Helvetiae* 76/1, 91–123.
- Heer, O. 1873. Arnold Escher von der Linth – Lebensbild eines Naturforschers. Schulthess, Zürich, 385 pp.
- HEER, O. 1879. Die Urwelt der Schweiz, 2. Auflage. Schulthess, Zürich, 711 pp.
- HEIM, A. 1871. Notizen aus den geologischen Untersuchungen für Blatt XIV der eidg. Karte. Vierteljahrsschrift der Naturf. Ges. in Zürich, 16. Jahrgang, 241–262.
- HEIM, A. 1878a. Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. I. Band. Schwabe, Basel, 346 pp.
- HEIM, A. 1878b. Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. II. Band. Schwabe, Basel, 246 pp.
- HEIM, A. 1921. Geologie der Schweiz – Band II die Schweizeralpen, erste Hälfte. Tauchnitz, Leipzig, 476 pp.
- HERWEGH, M. et al. 2008. The Glarus thrust: excursion guide and report of a field trip of the Swiss Tectonic Studies Group (Swiss Geological Society, 14.–16.09.2006). *Swiss J. Geosci.* 101, 323–340.
- KUHN, T.S. 1996. *The Structure of Scientific Revolutions*. Third edition. The university of Chicago press, Chicago, 212 pp.
- LYELL, C. 1833. *Principles of geology*, volume III. Murray, London, 398 pp.
- MURCHISON, R.I. 1849. On the geological structure of the Alps, the Apennines and Carpathians, more especially to prove a transition from secondary to tertiary rocks, and the development of Eocene rocks in southern Europe. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 5, 157–312.
- ŞENGÖR, A.M.C. 1990. Plate tectonics and orogenic research after 25 years: a tethyan perspective. *Earth-Science Reviews* 27, 1–201.
- STAUB, R. 1954. *Der Bau der Glarner Alpen*. Tschudi, Glarus, 187 pp.
- STUDER, B. 1847. *Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie*. Zweites Capitel, enthaltend: Die Erde im Verhältniss zur Wärme. Dalp, Bern, 526 pp.
- STUDER, B. 1851. *Geologie der Schweiz, erster Band*. Stämpfli und Schulthess, Bern und Zürich, 485 pp.
- STUDER, B. 1853. *Geologie der Schweiz, zweiter Band*. Stämpfli und Schulthess, Bern und Zürich, 497 pp.
- STUDER, B. 1872. *Index der Petrographie und Stratigraphie der Schweiz und ihrer Umgebungen*. Dalp, Bern, 272 pp.
- SUCESS, E. 1875. *Die Entstehung der Alpen*. Brauchmüller, Wien, 168 pp.
- SUCESS, E. 1916. *Erinnerungen*. Hirzel, Leipzig, 451 pp.
- TRÜMPY, R. 1980. *Geology of Switzerland*. Wepf & Co., Basel, 104 pp.
- TRÜMPY, R. 1991b. The Glarus nappes: a controversy of a century ago. In: «Controversies in Modern Geology», D.W. Müller, J.A. McKenzie und H. Weissert (ed), pp. 386–404. Academic press, London, 490 pp.
- TRÜMPY, R. 1998. Tectonic units of central Switzerland. Their interpretation from A.D. 1708 to the present day. *Bulletin für angewandte Geologie* 2(2), 163–182.
- TRÜMPY, R. 2001. Why plate tectonics was not invented in the Alps. *International Journal of Earth Sciences* 90, 477–483.
- TRÜMPY, R. 2003. *Die Glarner Überschiebung: ein Schlüssel zur Geologie der Gebirge*. Unpubl. Manuskript, Küsnacht, 9 pp.
- TRÜMPY, R. und WESTERMANN, A. 2008. Albert Heim (1849–1937): Weitblick und Verblendung in der alpentektonischen Forschung. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 153(3/4), 67–79.
- WEGMANN, E. 1948. Zur Geschichte der Umwandlungsgesteine. *Geol. Rundschau* 36, 48–50.

Dominik Letsch, Guggerstrasse 39, 8702 Zollikon, dltsch@ethz.ch