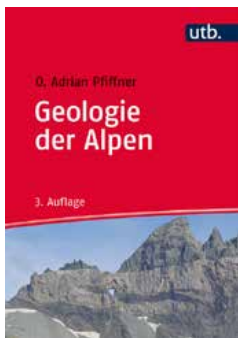


# „Die schönste Überschiebung der Welt“

Die Glarner Hauptüberschiebung prägt als eine scharfe Linie das Landschaftsbild von Teilen der Schweizer Alpen. Sie ist seit über 150 Jahren Gegenstand der Forschung. Die Bewegung kilometerdicker Gesteinspakete auf einer dünnen Überschiebungsfläche ist mit traditionellen Konzepten der Mechanik nur unzureichend erklärbar. Mit der Frage nach dem Mechanismus stellt sich auch die Frage nach der Kontinuität und dem Tempo des Überschiebungsprozesses.

Michael Kotulla

**Abb. 1** Tschingelhörner, Glarner Alpen (Schweiz), von Westen gesehen. Glarner Hauptüberschiebung und Martinsloch. Foto: © IG UNESCO-Welterbe Tektonikarena Sardona, Ruedi HOMBERGER.



**Abb. 2** *Geologie der Alpen* (PFIFFNER 2015, Buchcover)

Mit einem Stern\* ver-sehene Begriffe werden im Glossar erklärt.

## Einleitung

„Die Glarner Hauptüberschiebung“, so heißt es in einem Video zum UNESCO-Welterbe Tektonikarena Sardona (Schweiz), „gilt als die schönste Überschiebung der Welt“.<sup>1</sup> Sie ist nicht nur schön anzusehen (Abb. 1), sie ist faszinierend und Neugierde weckend. Als Titelbild zur *Geologie der Alpen* stellt PFIFFNER (2015) ihre Bedeutung für das Verständnis zum Prozess der Gebirgsbildung besonders heraus (Abb. 2).

Bei der Glarner Hauptüberschiebung ist eine ältere Gesteinsscholle auf eine jüngere Gesteinsscholle aufgeschoben worden. Älteres Gestein liegt nun großräumig auf jüngerem Gestein (Abb. 3); die Stratigraphie ist dadurch „verkehrt“. Die Überschiebung zeugt von gewaltigen Massenverlagerungen und enormen Kräften, die einstmals gewirkt haben müssen. Das Geschehen soll sich in einer Tiefe von 6–10 km zugetragen haben, bei Umgebungstemperaturen von etwa 220 °C und Drücken von etwa 2000 bar. Die Schubweite beträgt mindestens 30–40 km.

Solch eine Überschiebung ist das Ergebnis von Einengung. Im plattentektonischen Konzept werden die Alpen als Kollisionsgebirge interpretiert. Danach sind u. a. „größere Krustenpakete übereinandergeschoben und zusammengestaucht worden“ (PFIFFNER 2015, 184).

In diesem Sinne handelt es sich bei der Glarner Hauptüberschiebung um eine gewaltige Deckenüberschiebung. Die Glarner Decke (oder Schilt-Decke) über der Hauptüberschiebung ist etwa 2–3 km mächtig und besteht im Wesentlichen aus Verrucano\*-Massen.

## Überschiebung zum Anfassen: Lokalität Lochsite

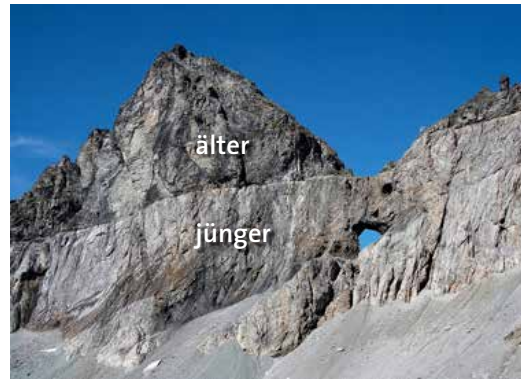
Die Lochsite südöstlich Glarus ist ein Weltklasse-Aufschluss. An diesem Ort kann die Überschiebung leicht zugänglich im Sernftal studiert werden (Abb. 4): Permische\* Sedimentgesteine der Verrucano-Gruppe überlagern eozäne\* Flysch\*-Tonsteine. Dazwischen liegt ein wenige Dezimeter dünnes Kalksteinband, der „Loch-



sitenkalk“, in welchem eine messerscharfe Linie (das Septum) verläuft.

Der Lochsitenkalk ist deformiert. Er ist stark mit Kalzit-Adern durchsetzt und weist „Knetstrukturen“ auf, Falten im Zentimeter-Bereich. Der Kontakt zum Verrucano ist durch eine wellige Oberfläche gekennzeichnet. Der Kontakt zum Flysch ist zacken- und lobenartig; teilweise scheint der Flysch in den Kalk „hineinzugreifen“. Deformationen geringeren Grades treten auch im Verrucano und im Flysch auf, allerdings nur etwa in einem Bereich bis von 1–3 Meter oberhalb und unterhalb der Überschiebung. Die makroskopische Aufschluss-Beobachtung legt den Schluss nahe, dass die Hauptbewegung der Überschiebung in dem Bereich stattgefunden hat, der vom Lochsitenkalk eingenommen wird – der Lochsitenkalk also als verfestigtes Schmiermittel die Gleitzone repräsentiert (Abb. 4).

Neuere petrologische\* und geochemische Studien des Lochsitenkalks weisen an Komponenten sowohl viskose (Kristallplastizität, korngrößensensitives Kriechen etc.) als auch kataklastische (Zerreibungs- und Zerbrechungsstrukturen) Deformationsprozesse und den Einfluss von Fluiden\* nach (HERWEGH et al. 2008). Unzweifelhaft ist der Lochsitenkalk das Ergebnis hoher Scherverformungen; er wird deshalb auch als Lochsiten-Tektonit bezeichnet. Die Herkunft des Kalkes bzw. der Kalziumkarbonat-reichen Lösungen ist einer von zahlreichen Diskussionspunkten; u. a. wird angenommen, dass er aus dem unterliegenden Flysch herausgelöst wurde. Insofern wäre der Lochsitenkalk an dieser Lokalität als hydrothermale Mineralisation aufzufassen (HÜRZELER & ABART 2008).



**Abb. 3** Die Glarner Hauptüberschiebung und das Martinsloch in den Tschingelhörnern; von Osten gesehen. Eine „Alt-auf-Jung“-Situation: Verrucano-Sedimentgestein (Perm) auf Quinten-Kalk (Oberjura). Foto: © IG UNESCO-Welterbe Tektonikarena Sardona, Ruedi HOMBERGER.

## Zur Erforschung des Mechanismus

Zur Erforschung des Überschiebungsprozesses gilt es alle Situationen im Bereich der Überschiebungszone zu erfassen und zu berücksichtigen.

Weiter im Süden liegt Verrucano auf jurassischen oder kretazischen sedimentären Kalken auf. Am Top dieser Kalksteine ist ein dünnes, helles Band ausgebildet, ein „Mylonit“\*; er wird auch als Lochsiten-Kalkmylonit bezeichnet. Er repräsentiert – wie an der Lokalität Lochsite – den „Fließhorizont“, über welchen die Verrucano-Massen „glitten“, das verfestigte Schmiermittel.

Bei den Tschingelhörnern (Abb. 5) zum Beispiel befindet sich unterhalb der Glarner Hauptüberschiebung (4a) zwischen Verrucano (1) und eozänem Sardona-Flysch (3a) eine Scholle des oberjurassischen Quinten-Kalks (2). Die Kalkscholle ist ein beim Überschieben mitgerissenes Gesteinspaket, in welchem sogar noch Fetzen sog. Wildflyschs eingeschuppt sind (3b). Insofern sind Quinten-Kalk (3a) und Sardona-Flysch (2) ebenfalls durch eine Überschiebungsfäche (4b) getrennt.



**Abb. 4** Lokalität Lochsite südöstlich Glarus im Serrnftal. Hier liegt Verrucano (Perm) auf Flysch (Eozän), dazwischen befindet sich der Lochsitenkalk. Der deformierte Lochsitenkalk repräsentiert die Überschiebungszone (weißer Doppelpfeil); er bildete das Schmiermittel für die „fließende Gleitung“. Im Lochsitenkalk ist eine messerscharfe Linie ausgebildet, das sog. Septum (weiße gepunktete Linie); zur Interpretation s. Textteil. Bewegungsrichtung: relativ nach Nordwesten; N = Norden, S = Süden. Foto: M. KOTULLA, 2021.

## Glossar

**Eozän:** Geologische Serie; 2. Serie des Känozoikums (etwa 56–34 Millionen radiometrische Jahre vor heute).

**Fluid:** Gemisch aus Flüssigkeiten und Gasen; hier unter erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen.

**Flysch:** Gesteins-Vergesellschaftung; im Wesentlichen Wechsellagerungen von Sandsteinbänken mit Tonstein-Zwischenlagen. Die marinen Sedimentgesteine werden als Ablagerungen interpretiert, die sich an der Front eines entstehenden Gebirges bilden.

**Mylonit:** Tektonisch beanspruchtes Ge-

stein, das sich in Scherzonen bildet.

**petrologisch:** die Gesteinskunde betreffend bzw. mithilfe der Gesteinskunde.

**Perm:** Geologisches System; stratigraphisch oberste Einheit des Paläozoikums (etwa 299–252 Millionen radiometrische Jahre vor heute).

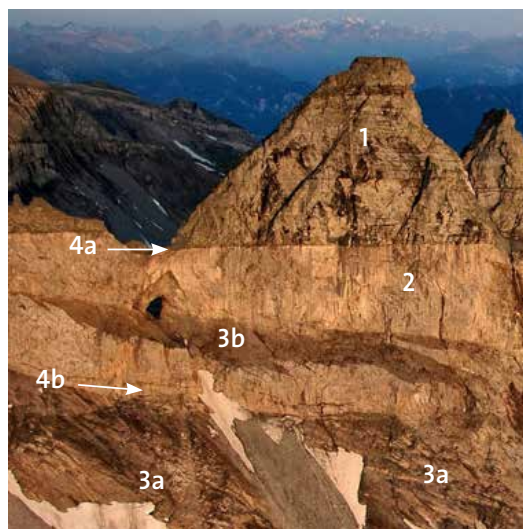
**Verrucano:** Gesteins-Vergesellschaftung; sie umfasst Brekzien, Konglomerate, Sand, Silt- und Tonsteine sowie vulkanische Gesteine. Die Gesteine werden als Ablagerungen eines von Vulkanen gesäumten Inlandbeckens interpretiert.

### „Die Verrucano-Gesteine wurden wie auf einem Luftkissen aus Methan, Kohlendioxid und Wasser über die Flysch- und Kalksteine geschoben.“

Moderne Untersuchungen verbinden Feldbeobachtungen, petrologische und geochemische Reihenanalysen, Laborexperimente und Modelle. Aspekte, die zum Mechanismus diskutiert werden, sind u. a. das „Zusammenspiel von Deformation, Fluide-Fluss und geochemischer Veränderung“, „episodische versus kontinuierliche Verformung und Fluide-Fluss“ sowie die „Verbindung zwischen großräumigen Strukturen, Mikrostrukturen und geochemischen Aspekten“ (HERWEGH et al. 2008). Unter zahlreichen Hypothesen ist die von Joseph MULLIS recht eingängig: „Die Verrucano-Gesteine wurden wie auf einem Luftkissen aus Methan, Kohlendioxid und Wasser über die Flysch- und Kalksteine geschoben“<sup>2</sup> (vgl. MULLIS et al. 2002).

Fortschritte sind u. a. bei der Ausdifferenzierung von Deformationsregimen, der Erstellung von Deformationsprofilen und der Rekonstruktion bzw. dem Aufbau der Deformationsgeschichte erzielt worden. Demnach ist das meserscharfe, millimeterdünne Septum (Abb. 4)

Abb. 5 Tschingelhörner, Ausschnitt von Abb. 1. Zu den Markierungen siehe Textteil. Foto: © IG UNESCO-Welterbe Tektonikarena Sardona, Ruedi HOMBERGER.



durch kataklastische (spröde) Deformation charakterisiert, während der umgebende Lochsitenkalk (Lokalität Lochsite) bzw. der Lochsitentalkmylonit (südlichen Lokalitäten) intensive duktile (plastische) Deformation aufweist (s. o.), aber auch kleine Brüche.

Der duktile (plastische) Deformationsprozess wird als langfristig, der kataklastische (spröde) Deformationsprozess als extrem kurzzeitig aufgefasst. Letzterer könne – einer Interpretation zufolge – seismischer Natur gewesen sein (Sekunden-Ereignis) mit Schubweiten von „wenigen Dezimetern oder Metern“ (HERWEGH et al. 2008, 334). POULET et al. (2014) sehen in der „schlichten planaren Ausbildung der Glarner Hauptüberschiebung“ „eine komplexe und lang anhaltende Zeitentwicklung“; sie umfasse mehrere kataklastische Ereignisse, die die duktile Deformation entlang der Überschiebung unterbrochen habe. PFIFFNER schließt aus dem mehrfach gefalteten Lochsitentalk insgesamt auf eine langzeitige Deformationsgeschichte; dabei seien die früheren Strukturen laufend überprägt worden.<sup>3</sup>

## Zeitfragen

HERWEGH et al. (2008) schreiben der Glarner Hauptüberschiebung stratigraphisch ein oligo-/miozänes Alter zu. Nach PFIFFNER<sup>4</sup> hatte der Vorgang des Überschiebens vor etwa 30 Millionen [radiometrischen]<sup>5</sup> Jahren begonnen (unteres Oligozän) und war etwa vor 20 oder 15 Millionen [radiometrischen] Jahren zum Abschluss gekommen (unteres/mittleres Miozän). Auch ältere Publikationen nennen eine Zeitdauer von maximal 10 oder 15 Millionen [radiometrischen] Jahren; so werden durchschnittliche Schubraten von 3,5 mm pro [radiometrisches] Jahr (Schubweite 35 km, SCHMID 1975) oder 2 mm pro [radiometrisches] Jahr (Schubweite 30 km, TRÜMPY in Hsü 1969) ausgewiesen.

Hsü (1969) präsentierte kinetische Betrachtungen, deren Ergebnisse aufgrund unzureichend bekannter Parameter nur vorläufigen Charakter haben sollten. Danach könnte die Schubrate, abhängig von der Temperatur, einen maximalen durchschnittlichen Wert von 10 cm pro Jahr erreicht haben; das entspricht einer Mindestdauer von 300.000 Jahren. Hsü (1969) nahm an bzw. folgerte, dass die Bewegung durch einen „Stoß von hinten“ in Gang gesetzt worden sei; im weiteren Verlauf könne sich die Bewegung dann durch die Wirkung der Schwerkraft fortgesetzt haben (da ein Gefälle von 10°–12° vorläge; vgl. Höhenunterschied Tschingelhörner zur Tal-Lokalität Lochsite).<sup>6</sup>

In der Hauptsache war die Bewegung der Verrucano-Decke „gleitend“ über einen „Fließhorizont“, der Deformationsprozess also plasti-

scher Natur (s. o.). Bisher ist es aber nicht gelungen, aus den Untersuchungen zur plastischen Deformation auf das Tempo des Überschiebens zu schließen. Vielmehr werden das Tempo oder die Schubraten von radiometrischen Alterswerten abgeleitet bzw. quasi vorgegeben. Eine prozessorientierte Sichtweise steht also noch an ihrem Anfang, und es gilt abzuwarten, was eine unabhängige Forschung, frei von langzeitlichen Vorstellungen, an Ergebnissen liefern wird.

## Anmerkungen

- <sup>1</sup> Video (3:06 min.): Die Entstehung der Alpen. UNESCO-Welterbe Tektonikarena Sardona. <https://www.youtube.com/watch?v=aD7u8Ll2P0g&t=1s>; Welterbe-Website s. <https://unesco-sardona.ch/>
- <sup>2</sup> UNESCO-Welterbe Tektonikarena Sardona, Besucherzentrum Elm; Text zu Bild\_0130
- <sup>3</sup> <https://vimeo.com/sardona/die-uberschiebung-und-der-lochsitenkalk/video/72632120>
- <sup>4</sup> <https://vimeo.com/sardona/die-uberschiebung-und-der-lochsitenkalk/video/72633816>
- <sup>5</sup> Zur radiometrischen Altersbestimmungsmethode s. KOTULLA (2021)
- <sup>6</sup> Die heutige Form der Überschiebungsfläche wird als überprägt, d. h. als nachträglich verändert, aufgefasst.

## Literatur

- HERWEGH M, HÜRZELER J-P, PFIFFNER OA, SCHMID SM, ABART R & EBERT A (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 Journal of Geosciences* 101, 323–340.
- HSÜ K (1969) A preliminary analysis of the statistics and kinematics of the Glarus overthrust. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 62, 143–154.
- HÜRZELER J-P & ABART R (2008) Fluid flow and rock alteration along the Glarus Thrust. *Swiss Journal of Geosciences* 101, 251–268.
- KOTULLA M (2021) Erdgeschichte: Die Erfindung der Zeit. *Studium Integrale Journal* 28, 87–94.
- MULLIS J, RAHN MK, SCHWER P, DE CAPITANI C, STERN WB & FREY M (2002) Correlation of fluid inclusion temperatures with illite “crystallinity” data and clay mineral chemistry in sedimentary rocks from the external part of the Central Alps. *Schweiz. Mine. Petrogr. Mitt.* 82, 325–340.
- PFIFFNER OA (2015) *Geologie der Alpen*. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage; Bern.
- POULET T, VEVEAKIS M, HERWEGH M, BUCKINGHAM T & REGENAUER-LIEB K (2014) Modeling episodic fluid-release events in the ductile carbonates of the Glarus thrust. *Geophysical Research Letters* 41, 7121–7128.
- SCHMIDT SM (1975) The Glarus overthrust; field evidence and mechanical model. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 68, 247–280.