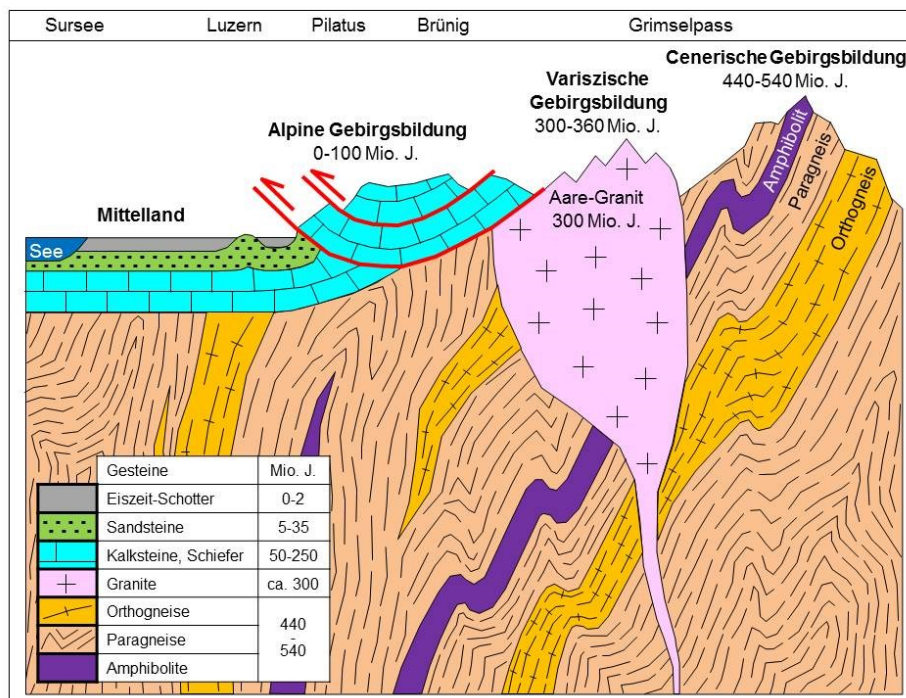


# Die Ceneriden – ein neuartiger Gebirgstypus

Im schweizerischen Untergrund versteckt sich ein uraltes Gebirge und dessen Erforschung führt zu neuen Theorien der Gebirgsbildung

Dr. Roger Zurbriggen  
Geologe und Materialwissenschaftler  
Neuenkirch (CH), 23.2.17

Die Schweiz ist das Land der Alpen. Im Kern befinden sich die höchsten Berge. Sie bestehen aus Graniten und Gneisen. Ihnen vorgelagert sind Bergzüge, die vorwiegend aus Kalkgesteinen bestehen. Sie wurden während der Bildung der Alpen verfaultet und überschoben. Die jüngsten Überschiebungen erfassten auch die Sandsteinablagerungen des Mittellandes. Später überzogen die eiszeitlichen Gletscher die Alpen und hinterliessen im Mittelland ausgedehnte Schotterfelder mit zahlreichen Seen. Betrachtet man eine geologische Karte der Schweiz, so machen die eiszeitlichen Seen- und Schotterlandschaften zusammen mit den Sandsteinen des Mittellandes etwa 33% aus. 37% sind durch Kalkgesteine und Schiefer bedeckt und bei den restlichen 30% reichen Granite und Gneise des Grundgebirges an die Erdoberfläche. Betrachtet man aber den geologischen Untergrund der Schweiz bis auf eine Tiefe von 40 - 50 km, dann verschieben sich die Mengenverhältnisse markant (**Abb. 1**) zugunsten der Gneise und Granite mit grob geschätzten Anteilen von etwa 60 und 20%. Die an der Oberfläche so bedeutsamen und bis in wenige Kilometer Tiefe reichenden Gesteine machen also nur etwa 20% des ganzen Gesteinsvolumens aus.



*Abb. 1: Stark vereinfachtes Profilschema durch den Untergrund zwischen Sursee und dem Grimselpass. Dort finden sich Gesteine von zwei älteren Gebirgsbildungen: Granite der variszischen Gebirgsbildung und Gneise der cenerischen Gebirgsbildung. Bei den Gneisen handelt es sich um Amphibolite, Para- und Orthogneise.*

Die meisten Granite entstanden während der variszischen Gebirgsbildung (300-360 Millionen Jahre). Der grösste und bekannteste unter ihnen ist der Aare-Granit. Die

Granite entstanden aus flüssigen Magmen, die aus der Tiefe emporstiegen, in noch ältere Gneise eindringen und dort erstarrten. Diese Gneise (Amphibolite, Para- und Orthogneise; **Abb. 1**) sind also noch älter als die variszische Gebirgsbildung. Sie sind zwischen 440 und 540 Millionen Jahren entstanden. Soweit sind sich die Geologen heute einig.

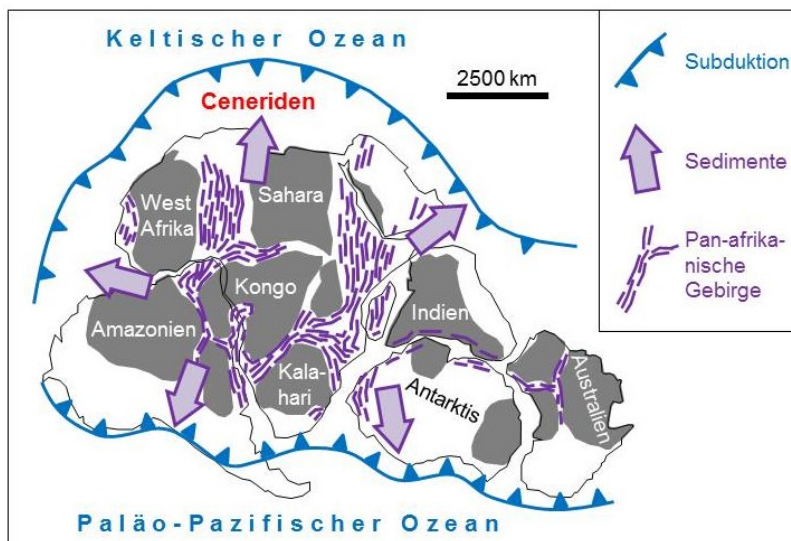
Über die Art dieser Gebirgsbildung streiten sich die Forscher jedoch auf der ganzen Welt! Denn gleichaltrige Gneis-Verbände gibt es in ganz Mittel- und Südeuropa, in der Türkei, in Asien und Australien, in der Antarktis und in Südamerika. Alle diese Regionen befanden sich zur Zeit ihrer Entstehung am Rand eines grossen Kontinents und haben eine gemeinsame Geschichte.

Gemäss den langjährigen Forschungsarbeiten des Autors entstanden die Gneise durch eine Art der Gebirgsbildung, die heute auf der ganzen Erde nirgends mehr beobachtet werden kann. Das gestaltete die Forschungsarbeiten besonders umständlich, weil man keinen direkten Vergleich zu heutigen gut untersuchten Gebirgen wie den Alpen, dem Himalaya oder den Anden ziehen konnte.

Er benannte die Gebirgsbildung mit dem neuen Begriff „Cenerian“. Die „cenerische Gebirgsbildung“ ist nach den Gesteinen auf dem Ceneri-Pass im Tessin benannt. Denn dort im Seengebirge der Südalpen ist die junge Alpenbildung schwächer ausgeprägt als im Zentrum der Alpen. Deswegen lassen sich dort die älteren Strukturen der „Ceneriden“ besser beobachten und untersuchen. Übrigens, in naher Zukunft kann man via dem Ceneri-Basistunnel mitten durch die Ceneriden hindurch fahren.

### Die cenerische Gebirgsbildung

Die Ceneriden waren ein mindestens 2500 km langer und 440 bis 540 Millionen Jahre alter vulkanischer Gürtel am nördlichen Rand vom Superkontinent Gondwana (**Abb. 2**).



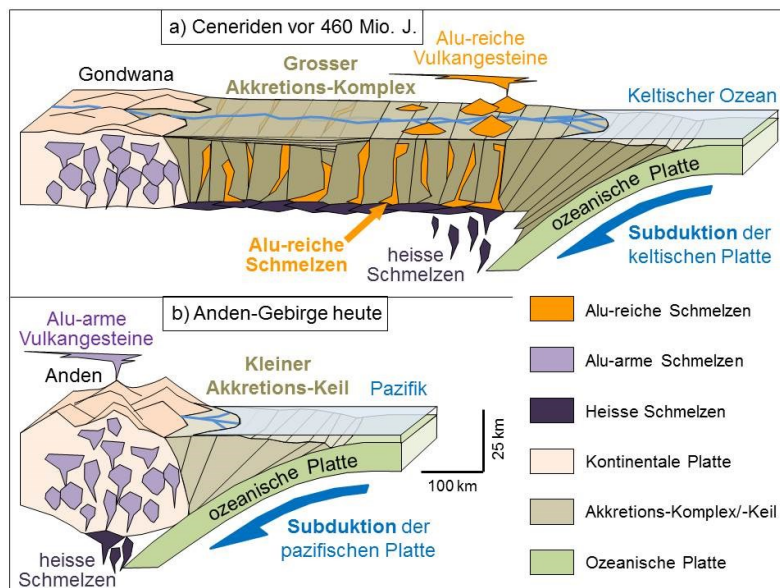
*Abb. 2: Der Superkontinent Gondwana vor 540 Millionen Jahren. Er war von panafrikanischen Gebirgen durchzogen (Gray et al. 2008), die ihren Abtragungsschutt (Sedimente) an die Küsten lieferten. Dort befanden sich Subduktionszonen. Das sind Bruchsysteme, wo der Ozeanboden in die Tiefen der Erde abtaucht. Darüber bildeten sich die Ceneriden als vulkanischer Gürtel.*

Der hohe Aluminium-Gehalt dieser Vulkangesteine deutet darauf hin, dass sie durch das Aufschmelzen von Sedimentgesteinen in ungefähr 30 km Tiefe entstanden sind. Sedimentgesteine entstehen durch das Ablagern von Schlamm, der mit zunehmender Tiefe entwässert und sich zu Schiefer und Paragneis umwandelt.

Die riesigen Mengen an Vulkangesteinen (inklusive den dazugehörigen Graniten, welche in der Tiefe steckenblieben) deuten darauf hin, dass eine ca. 5 km mächtige Serie von Sedimentgesteinen aufschmolz. Die dafür nötige Wärme wurde durch heisse Schmelzen geliefert, die aus noch grösseren Tiefen hochstiegen (**Abb. 3a**).

Die Ursache für diese heissen Schmelzen, so die Theorie, war eine Subduktionszone, also eine abtauchende ozeanische Platte. Sie tauchte aber nicht unter einen Kontinent ab, wie heute beispielsweise die pazifische Platte unter Südamerika (**Abb. 3b**), denn die Vulkangesteine der Anden sind grösstenteils Aluminium-arm und damit anderst geartet.

Nein, die cenerische Subduktion war ein Abtauchen der Platte des keltischen Ozeans unter einen „Schlammbau“, einen sogenannten Akkretions-Komplex (**Abb. 3a**). Ein Akkretions-Komplex (oder ein kleinerer Akkretions-Keil, **Fig. 3b**) entsteht durch eine Anhäufung von Schlamm, welcher zuerst auf der ozeanischen Platte abgelagert und dann beim Abtauchen der Ozeanplatte von dieser abgeschabt wurde. Wenn diese Abschabung über mehrere Millionen Jahre anhält, so entsteht ein Akkretions-Keil, wie man es heutzutage vielerorts rund um den Pazifik beobachten kann. Dauert die Abschabung aber noch länger (100 Millionen Jahre), während der Schlammeintrag durch Flüsse und Gletscher besonders hoch ist, so entstehen riesige Akkretions-Komplexe, so wie vor 540 Millionen Jahren am Nordrand von Gondwana (**Abb. 3a**). Diese Akkretions-Komplexe bestanden zu über 90% aus Aluminium-reichen Schlämmen (Sedimente), die durch das Abschaben, An- und Hinunterdrücken zunehmend entwässert und zu Schiefen und Paragneisen umgewandelt wurden.



*Abb. 3: a) Die Subduktion des keltischen Ozeans unter einen „Schlammbau“ (Akkretions-Komplex) liess die heissen Schmelzen in Aluminium-reiche „Schlammgesteine“ eindringen und schmolz sie auf. So entstanden Alu-reiche Schmelzen und Vulkane.*

*b) Die heutige Subduktion der pazifischen Platte unter Südamerika bewirkt die Entstehung der Anden. Sie bestehen aus Aluminium-armen Vulkangesteinen.*

Die heissen Schmelzen der cenerischen Subduktion drangen in die Aluminium-reichen „Schlammgesteine“ (der Geologe spricht von Sedimentgesteinen) des Akkretions-Komplexes ein und brachten diese zum Schmelzen. So entstanden Aluminium-reiche Magmen, die weiter aufstiegen. Blieben sie unterwegs stecken, so bildeten sich Aluminium-reiche Granite, die zu Orthogneisen deformiert wurden. Erreichten sie die Erdoberfläche, so traten sie dort als Aluminium-reiche Vulkangesteine aus (**Abb. 3a**).

Für den Geologen gibt es noch weitere Hinweise, die für ein solches Szenario sprechen: (1) Die Art der Sedimentgesteine und deren Umwandlung zu Paragneisen, (2) die Deformation und Orientierung der cenerischen Orthogneise und (3) die Amphibolite mit

Relikten einer Umwandlung in grossen Tiefen, um damit auch die drei wichtigsten Gesteinsarten der Ceneriden zu nennen (**Abb. 1**).

Es ist natürlich zu fragen, wieso es nur im frühen Erdalterum, vor 440 bis 540 Millionen Jahren solch grosse Akkretions-Komplexe (**Abb. 3a**) mit einem Aluminium-reichen Vulkanismus gegeben haben soll? Der Grund ist, dass der Eintrag von Flussablagerungen in die heute aktiven Subduktionszonen viel zu gering ist, so dass sich nur kleine Akkretions-Keile bilden können, wie in **Abb. 3b** dargestellt.

Weiter ist zu fragen, woher die schier unendlichen Mengen an Ablagerungsgesteinen (Sedimenten) kamen, die zur Ausbildung eines solch gigantischen Akkretions-Komplexes geführt haben? Gemäss den heute bekannten Platten-Rekonstruktionen müssen sie aus dem Innern von Gondwana hergekommen sein, und zwar aus dem Netzwerk der sogenannten pan-afrikanischen Gebirgszüge, die damals Gondwana kreuz und quer durchzogen (**Abb. 2**). Diese entstanden noch früher, im Zeitraum zwischen 800 und 540 Millionen Jahren durch die Kollision aller südlichen Kontinente. Die Gesamtlänge der pan-afrikanischen Gebirge lag in der Grössenordnung von 50-100 Alpengebirgen! Das erklärt die gewaltigen Mengen an Abtragungsschutt, die von diesen Gebirgen mittels Gletschern und Flüssen an die Küsten transportiert wurden. Im Norden Gondwanas lieferten sie den Rohstoff für den cenerischen Akkretions-Komplex.

Weil in Akkretions-Komplexen der Abtragungsschutt älterer Gebirge wieder in neue Gebirge umgewandelt wird, ist das frühe Erdaltertum das Erdzeitalter des Recyclings.

Es ist übrigens auch die erdgeschichtliche Epoche, wo die biologische Artenvielfalt regelrecht explodierte. Besonders spannend ist, dass es einen Zusammenhang zwischen dieser Evolutionsphase und den ausgedehnten Flachwasserregionen über den cenerischen Akkretions-Komplexen zu geben scheint. So konnten nämlich mehrere Forschungsgruppen (z.B. Miller & Mao 1995, Servais et al. 2009) zeigen, dass diese riesigen Flachwasserregionen ideale Brutstätten waren, welche der Entstehung neuer Arten einen explosionsartigen Schub verlieh.

Mittels dem neuen Modell der cenerischen Gebirgsbildung können also sämtliche Gesteine und Strukturen, wie sie der Geologe im Grundgebirge der Alpen antrifft konsistent erklärt werden.

Die cenerische Gebirgsbildung ist letztendlich auch für eine breitere Leserschaft von Interesse und zwar in zweierlei Hinsicht. Einerseits begünstigte sie die Entstehung der meisten Tierstämme in der frühen Evolution der mehrzelligen Lebewesen und andererseits bilden die Ceneriden den felsenfesten Untergrund, auf dem wir heute leben.

### Neue Theorien

Die Theorie über die cenerische Gebirgsbildung wurde bereits in den Neunzigerjahren entwickelt, teils in einer Doktorarbeit an der Universität Bern und teils im Rahmen einer Studienreise im australischen Lachlan-Gebirge. Damals als Jungakademiker hatte der Autor die neue Theorie an Fachtagungen präsentiert, geriet aber auf heftigen Widerstand. Sie wurde von der Mehrheit der Forscher als zu gewagt und zu kontrovers zu etablierten Modellen beurteilt. Aus diesem Grund wurden auch seine Manuskripte von Fachzeitschriften abgelehnt.

Ein Jahrzehnt später erfuhr die Erforschung von Gondwana weltweit einen Auftrieb und viele neue Erkenntnisse wurden gewonnen. Die Zeit schien reif, und 20 Jahre nachdem die Theorie entworfen wurde, konnte sie endlich in internationalen Fachzeitschriften

publiziert werden (siehe Literaturhinweise unten), und wird heute als fundierte Hypothese diskutiert.

Das neue Konzept der cenerischen Gebirgsbildung steht nun allen Geologen weltweit zur Verfügung und kann getestet werden. Denn Theorien sind da, um sie zu Fall zu bringen, wenn sie in Widersprüche führen, oder um sie weiter zu entwickeln, wenn sie andernorts auch angewandt werden können. Der Ausgang ist offen und die Befunde zukünftiger Forschungsarbeiten werden mit Spannung erwartet.

Das wichtigste für den Autor ist aber, dass seine Theorie nach 20 Jahren Beharrlichkeit endlich publiziert werden konnte. Er machte dabei eine Erfahrung, die schon Thomas S. Kuhn in seinem Buch „Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“ beschrieb. Produziert ein Wissenschaftler Daten und Modelle, die einer allgemein akzeptierten Theorie entsprechen und diese somit weiter stützt, so ist die Publikation dieser Daten eine Formsache. Kommt er aber dazu alte oder neue Daten entgegen etablierter Theorien anders zu interpretieren, dann können sich Schwierigkeiten ergeben, besonders beim „peer review“. Das heisst, Fachpublikationen können nur von Fachleuten desselben Fachgebietes, von sogenannten „peers“ (Englisch: Fachkollegen) beurteilt werden. Diese Fachkollegen sind aber gleichzeitig Konkurrenten im Ringen um die wissenschaftliche Anerkennung im gleichen Fachgebiet. Dieses Problem ist bekannt und trotzdem gibt es keine Alternative zum „peer review“.

Bei Jungakademikern ist es deswegen besonders wichtig, dass sie von ihren Betreuern gut begleitet und unterstützt werden. Denn ein junger Student, der eine neue Theorie publizieren will, hat ohne Verstärkung einen schweren Stand.

### Zum Autor

Seit 20 Jahren ist er in der angewandten Forschung eines industriellen Unternehmens tätig, wo er mit Geologen der Universität Bern mineralische Baustoffe untersucht. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit betreut er Studenten und Doktoranden seitens der Industrie und gibt am Geologischen Institut in Bern alljährlich einen Mikroskopiekurs über mineralische Baustoffe. In diesem erdwissenschaftlichen Umfeld kann sich der Autor auch regelmässig mit Fachkollegen über die neusten Erkenntnisse zu Gebirgsbildungsprozessen auszutauschen und neue Arbeitshypothesen entwickeln, die er an internationalen Fachtagungen zur Diskussion stellt und in Fachzeitschriften publiziert.

### Literatur

- Zurbriggen R (1996) Crustal genesis and uplift history of the Strona-Ceneri zone (Southern Alps). Unpubl. PhD thesis, University of Bern, Switzerland
- Zurbriggen R. (2015) Ordovician orogeny in the Alps: a reappraisal. International Journal of Earth Sciences, 104:335–350
- Zurbriggen R. (2015) Metagreywacke gneiss terranes rich in peraluminous granitoids - indications for a unique type of early Paleozoic orogeny. Proceedings of the international conference VARISCAN 2015, Géologie de la France, N° 1, p. 146-147, Rennes, France, June 9-11, 2015
- Zurbriggen R (2017) The Cenerian orogeny (early Paleozoic) from the perspective of the Alpine region. International Journal of Earth Sciences, 106:517–529