Geologische Exkursion ins Altkristallin der Gotthardecke von Ausserbinn

Aufgrund systematischer Begehungen von Roger Zurbriggen

2016-2017

Titel

Dem Geheimnis von Ortho-, Para- und Mischgneisen auf der Spur

oder

Wie der europäische Kontinent entstand

Konzept

Anhand von elf Aufschlüssen rund um Ausserbinn (in einem Kreis mit nur 1 km Durchmesser) kann man die ältesten (500-440 Millionen Jahre) Zeugen der mitteleuropäischen Erdgeschichte beobachten. Es ist auch die Epoche, wo das Leben auf unserem Planeten „explodierte“ und sich die Artenvielfalt der mehrzelligen Lebewesen entwickelte. Diese biologische Evolution hängt mit der geologischen Entwicklung des Altkristallins zusammen. Diesem Zusammenhang wollen wir uns mit dieser Exkursion nähern.

Die Exkursion startet bei der Posthaltestelle von Ausserbinn, geht hinunter zur Binna, von dort wieder hinauf und entlang verschiedenen Wegen oberhalb von Ausserbinn und endet beim Ausgangspunkt, respektive im Restaurant Jägerheim. Alle Aufschlüsse sind über Wanderwege und Forststrassen, abseits des Strassenverkehrs gefahrlos zugänglich. Die reine Gesamtgehzeit der Exkursion beträgt etwa eineinhalb Stunden. Die Exkursion dauert ca. 5 Stunden, kann aber situationsbedingt verkürzt oder ausgedehnt und den Bedingungen und Voraussetzungen angepasst werden.

Die Exkursion ist für Anfänger und Fortgeschrittene interessant, weil neben einem Einblick in die Grundlagen der geologischen Feldarbeit (Aufschlüsse aufsuchen, Gesteine ansprechen, Strukturen messen, auf Karte übertragen) auch Hinweise auf den aktuellen Forschungsstand (siehe Literaturhinweise am Schluss) gemacht werden. Zu jedem Aufschluss erhalten die Teilnehmer eine Dokumentation, die auch elektronisch bezogen werden kann.

Der Anfang und Abschluss kann im Restaurant Jägerheim in Ausserbinn gemacht werden, wo der Autor einführende und abschliessende Darstellungen zu den Gesteinen und ihrer Entstehung im Lichte der neusten Forschungen macht. Dabei versucht er das Gesicht der Erde im Kambrium und Ordovizium vor ca. 540-440 Millionen Jahren zu zeichnen.

Es folgen Kurzbeschreibungen der Exkursionsroute, der elf Aufschlüsse und einer Interpretation des Altkristallins gemäss neuster Fachliteratur.

Definitionen von zehn Begriffen

Gneis *und* ***Amphibolitfazies****: Es gibt drei Arten von Gesteinen: (1) Sedimente, die an der Erdoberfläche entstehen, (2) Magmatite, die aus erstarrten Magmen entstehen, die von der Tiefe herkommen und (3) Metamorphite (metamorphe Gesteine), die in der Erdkruste durch Umwandlung (Metamorphose) bei erhöhten Temperaturen und Drucken aus Sedimenten oder Magmatiten entstehen.*
Gneise sind lagige Feldspat-reiche metamorphe Gesteine, die bei Temperaturen um 600°C, in der sogenannten Amphibolitfazies (Metamorphose bei 520 - 650°C) entstanden. Solche Bedingungen herrschen in der unteren Erdkruste auf ca. 30 km Tiefe vor. Ein Gneis kann aus einem Sediment (→ Paragneis) oder aus einem Magmatit (→ Orthogneis) entstehen, je nachdem ob das Ausgangsgestein von der Oberfläche oder von der Tiefe her in die Unterkruste gerät. Dieses „Hineingeraten" bedingt den Transport von Gesteinen, die dabei verformt werden. Das lagige Gefüge eines Gneises ist Ausdruck dieser Verformung.

Gondwana *und* ***Gotthardde****cke: Vor 360-300 Millionen Jahren kollidierten Gondwana (alle südlichen Kontinente mitsamt Südeuropa inklusive Ausserbinn) und Laurussia (alle nördlichen Kontinente inklusive Nordeuropa). Diese Kollision verursachte das variszische Gebirge und die Bildung des Superkontinents Pangäa. Zuletzt, um ca. 300 Ma intrudierten die Granite zwischen dem Nufenen- und Furkapass. Das ältere Nebengestein, in welches diese variszischen Granite intrudierten, sind die cenerischen Gneise des Ordoviziums (ca. 490-440 Millionen Jahre). Zusammen werden sie als Gotthardde cke bezeichnet. Diese gliedert sich in eine nördliche und südliche Paragneiszone und eine zentrale Orthogneiszone. Bei diesen Orthogneisen handelt es sich um 440 Ma „alte" Granite, genannt „Streifengneise". Berger et al. (2017) bezeichnen neu die „Ausserbinn-Piz Clavel-Zone", die sich dreiteilen lässt in einen Paragneis- (Nalps-Gneis-Komplex), einen Migmatit- (Paradis-gneis-Komplex) und einen Orthogneis-komplex (Streifengneis-Komplex).*
Was neuerdings als Gotthardde cke bezeichnet wird, galt lange als autochthones Massiv (Gotthardmassiv), weil es senkrecht steht und scheinbar nicht in den helvetischen Deckenstapel einbezogen ist. Die Kontakte zu den helvetischen Sedimenten an den Massivrändern (im Norden entlang der Urserenzone längs des Rhone-Urseren-Vorderrheintales und im Süden via dem Nufenenpass) sind senkrecht und die alpine Überprägung ist relativ stark.

Rauhwacke *und* ***Trias****: Rauhwacke (auch Rauchwacke, Rauwacke oder Zellendolomit genannt) ist ein löchrig-zelliger Dolomitstein, dessen Hohlräume durch das Weglösen von Gips- oder Kalkbrocken entstanden. Rauhwacke entsteht in tropischem Flachwasser, wie es in der Trias (252 -201 Ma) der Fall war, wo der Superkontinent Pangäa auseinanderbrach.*

Termerschiefer *und* ***Helvetikum****: Kalkig-tonige Sedimente, die im Zeitraum 210-175 Ma (obere Trias: 209-201 Ma und unterer Jura, früher auch Lias genannt: 201-174 Ma) auf dem europäischen Schelf (Helvetikum) abgelagert wurden. Die Zone von Termen enthält auch grössere Gipslinsen (z.B. ob Grengiols) und reicht von Gamsen bis zum Nufenenpass.*

Bündnerschiefer *und* ***Penninikum****: Kalkig-tonige Sedimente, die im Zeitraum 200-100 Ma (Jura: 201-145 Ma und Unterkreide: 145-100 Ma) im penninischen Walliser-Trog und Piemont-Ozean abgelagert wurden. Mit Penninikum wird der Ablagerungsraum der Tethys bezeichnet.*

Allgemeines zu geologischen Karten von Ausserbinn

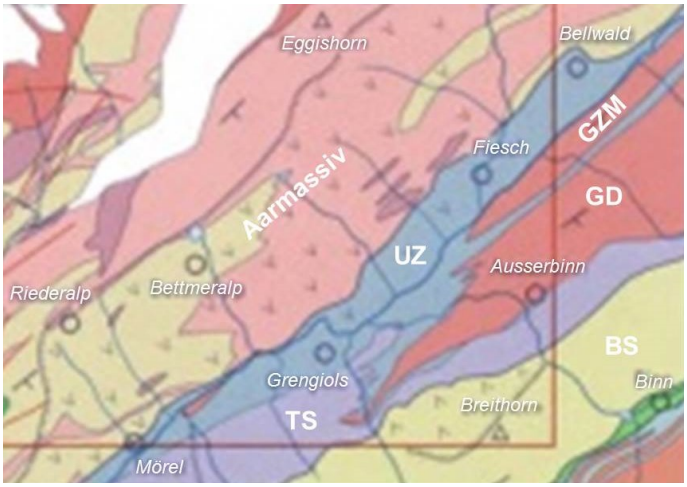
Auf www.swisstopo.admin.ch sind verschiedene geologische Karten digital zugänglich.

Gemäss der Geologischen Generalkarte 200 (GGK200 im Massstab 1:200‘000) zieht die zentrale Orthogneiszone der Gotthardecke mitten durch das Exkursionsgebiet und zeigt sich bei den Aufschlüssen 1 und 2.

Das geologische Kartenblatt (1:25‘000) des Aletschgletschers (LK1269) zeigt noch knapp Ausserbinn mit derselben Geologie wie GGK200.

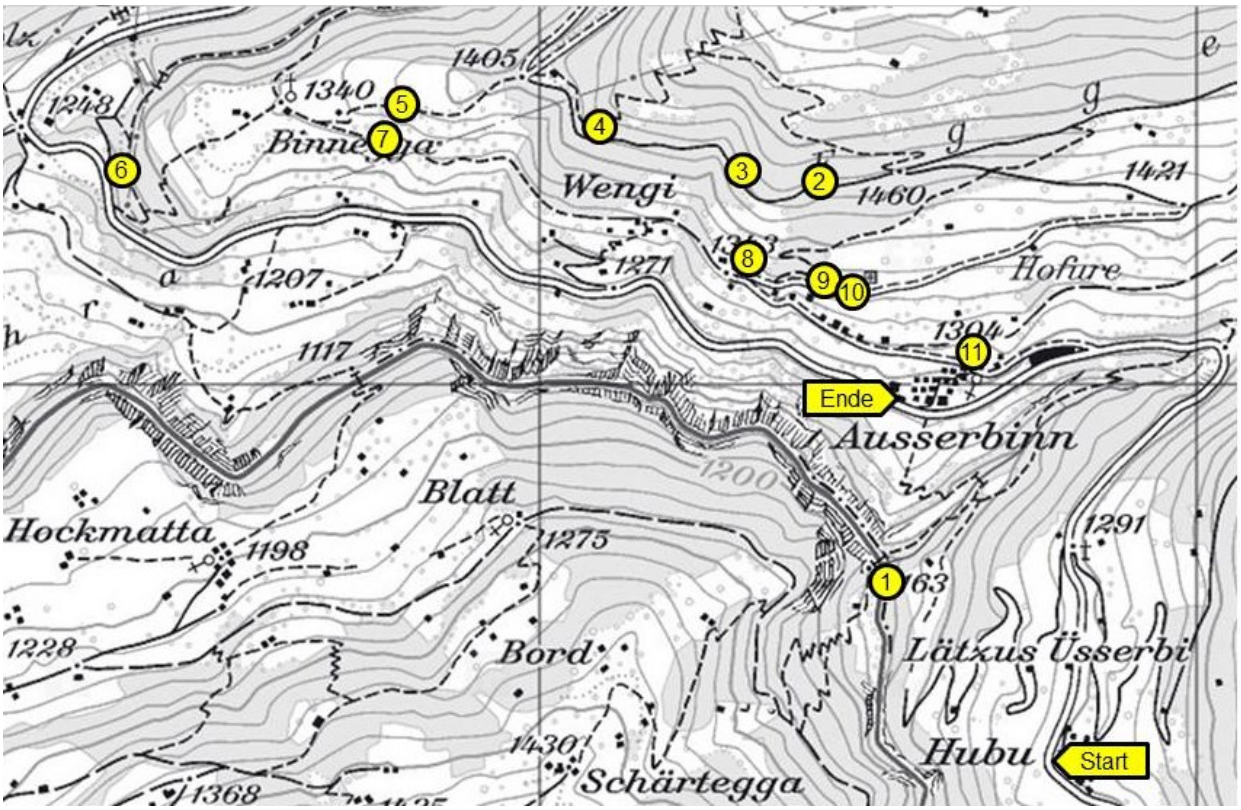
Hingegen gemäss der GK500-Geol im Massstab 1:500‘000 ist das Exkursionsgebiet gänzlich in der nördlichen Paragneiszone der Gotthardecke und die zentrale Orthogneiszone beginnt erst im „Schlund“ (zwischen Eggerhorn und Alpe Frid) und zieht schnell breiter werdend über den Ärnergale.

Berger, Mercolli, Herwegh & Gnos (2017) publizierten ein neues Kartenwerk über das Aarmassiv und die Tavetsch- und Gotthardecke. Für uns von besonderem Interesse ist die Beschreibung einer neuen Zone, der „Ausserbinn-Piz Clavel-Zone“, die ihrerseits aus dem Nalps-Gneis-Komplex (vorwiegend Paragneise), dem Streifengneis-Komplex (vorwiegend Orthogneise) und dem Paradis-Gneis-Komplex (früher Mischgneise, heute Migmatite genannt) besteht.



Den Karten gemeinsam ist der Verlauf des Altkristallins der Gotthardecke (**GD**). Es reicht über die Binna und zieht über Hockmatta bis oberhalb Grengiols. Beim Wasen grenzt das Altkristallin der Gotthardecke an die Urserenzone (**UZ**) und das Gomser Zwischenmassiv (**GZM**).
Im Schlättergraben grenzt es an die helvetischen Termerschiefer (**TS**), die ihrerseits beim Nordportal des Tunnels an die penninischen Bündnerschiefer (**BS**) grenzen.

Exkursionsroute entlang den Aufschlüssen 1 bis 11



Aufschluss				
Nr.	**Lokalität**	**Beobachtungen, Thema**	**Koordinaten**	**Höhe**
1	Brücke über die Binna	Kontakt zwischen Altkristallin und Trias	654 520/136 735	1160
2	Forststrasse Eggerwald	Ortho- und Paragneise	654 400/137 300	1450
3	Forststrasse Eggerwald	Augengneise und Schieferung	654 300/137 330	1430
4	Forststrasse Eggerwald	Falten und ihre Hinweise	654 110/137 365	1420
5	Binnegga	Amphibolit und Plattentektonik	653 770/137 410	1370
6	Trafostation Wasen	Metakonglomerat, Verrucano	653 360/137 325	1260
7	Wengi-Weg	Amphibolit-Migmatit und Metamorphose	653 750/137 370	1340
8	Kurve bei Sternwarte	Boudinierter Aplit, Knollengneise	654 300/137 175	1345
9	Oberhalb Ausserbinn	Bändergneise und ihre Entstehung	654 430/137 145	1360
10	Panorama-Aussicht	Bau der Alpen	654 470/137 135	1365
11	Kapelle	Gesteine als Baustoff	654 670/137 015	1304

Aufschluss 1: Kontakt zum Altkristallin (Brücke über Binna, Koord: 654 520/136 735)

Lokalität: An dieser Stelle ist das Bachbett der Binna gut zugänglich und ungefährlich. Sollte trotz Voranmeldung bei den Kraftwerken ein Hochwasser ausgelöst werden, kann man zu beiden Seiten das Bachbett jederzeit verlassen.

Geologie: Der Seitenbach aus dem Schlättergrabe folgt dem Kontakt zwischen den triassischen Rauhwacken und den Gneisen der Gotthardecke. Auf diesen Kontakt kann man buchstäblich den Finger halten. Zeitlich gesehen markiert dieser Kontakt eine Lücke von 200 Millionen Jahren.
Im Bachbett der Binna ist das Gesteinsspektrum des Binntals zu sehen. Hier lassen sich schöne Beispiele von Schiefern, Gneisen und Serpentiniten beobachten.
Unmittelbar unter der Brücke sieht man einen gebänderten Migmatiten.

Thema: Geomorphologie

Thema: Gesteinsvielfalt

Thema: Wissenschaftsgeschichte der Kontroverse Plutonisten contra Neptunisten

Thema: Superkontinent

Aufschluss 2: Ortho- und Paragneise (Forststrasse Eggerwald, Koord: 654 400/137 300)

Lokalität: Von der Posthaltestelle läuft man 160 Höhenmeter hinauf in den Eggerwald. Dort befindet sich der höchstgelegene Aufschluss der Exkursion.

Geologie: Durch den Bau der Forststrasse wurde der anstehende Fels herausgesprengt. Dadurch entstanden frisch aufgebrochene Aufschlüsse der steilstehenden Gneise. Man sieht verschiedene Gneise, die sich im Mineralbestand und der Struktur unterscheiden. Rostig anwitternde, Glimmer-reiche und Granat-führende Paragneise entstehen aus klastischen Sedimenten (zeige einen Termerschiefer als Beispiel), die von der Erdoberfläche stammen. Helle, Feldspat-reiche Orthogneise entstehen aus Graniten (zeige einen Granit als Beispiel), die aus den Tiefen der Erde stammen.

Thema: Was ist ein Gneis?

Thema: Ortho- und Paragneise, eine alte aber nützliche Einteilung

Aufschluss 3: Augengneise (Forststrasse Eggerwald, Koord: 654 300/137 330)

Lokalität: Der Forststrasse im Eggerwald nach Westen folgend.

Geologie: Augengneise zeichnen sich typischerweise durch grosse Kalifeldspäte aus, die entweder im festen Gestein neu gewachsen sind (Blastese) oder ursprünglich in einem granitischen Magma kristallisierten. Nun gibt es ein Problem, weil mit „Augen“ lediglich augenförmige helle Einschlüsse beschrieben werden, die aus Feldspat, Quarz oder Mischungen davon bestehen können. Je nach Mineralogie kann sich dahinter aber eine ganz andere Entstehung verbergen. Dazu folgende Tabelle.

		Geometrie			
Entstehungsart	**Mineralogie**	**Augen**	**Knollen**	**Flasern**	**Bänder**
Quarzadern	Quarz	**X**	**X**	**X**	**X**
Magmatische Kristallisation	Kalifeldspat	**X**			
Metasomatische Blastese		**X**			
Aplit, Pegmatit (Gänge)	Granitisch	**X**	**X**		**X**
Leucosom (Migmatit)		**X**	**X**	**X**	**X**

Allen Gneisen gemeinsam ist die ausgeprägte Foliation (auch Schieferung genannt). Sie hat eine messbare Orientierung im Raum. Wie die Mineralzusammensetzung, lässt sich die Orientierung der Foliation auf eine geologische Karte übertragen. Somit lassen sich Grossstrukturen im Kilometermassstab kartieren.

Thema: Messen einer Foliation und Übertrag auf die Karte

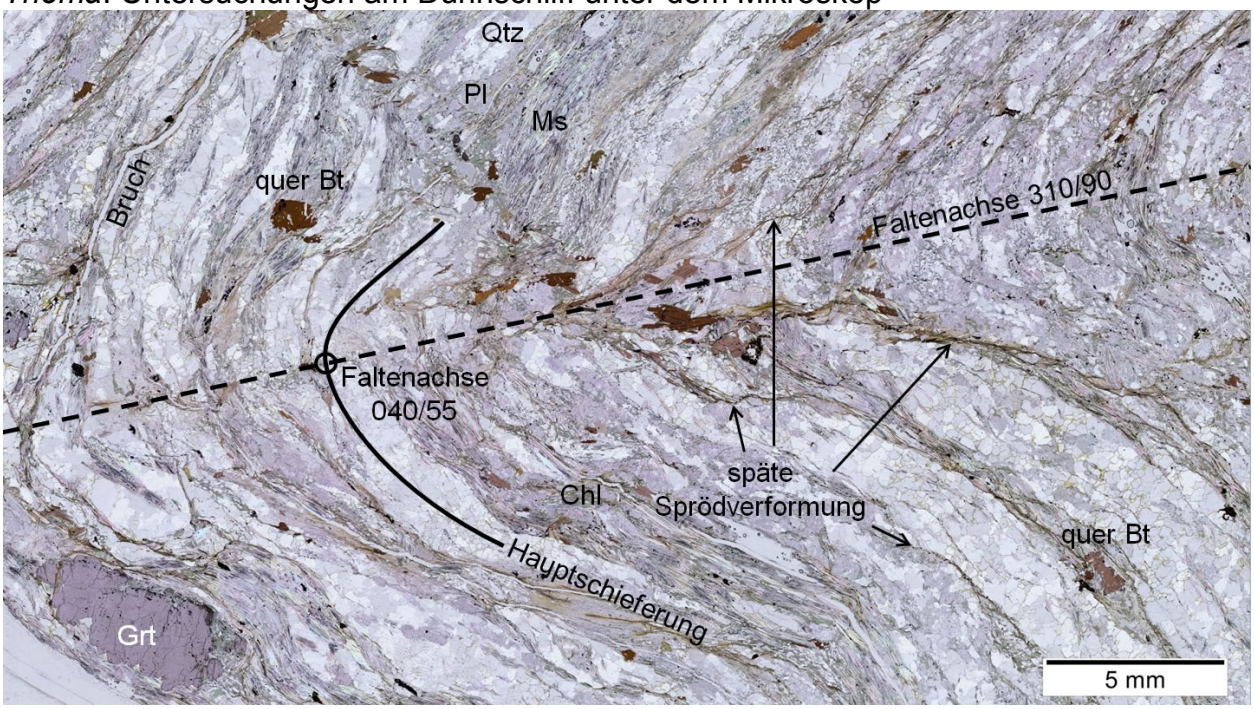
Aufschluss 4: Falten mit steilen Achsen (Forststrasse Eggerwald, Koord: 654 110/137 365)

Lokalität: Weiter der Forststrasse folgend.

Geologie: Eine Falte ist auch eine Struktur, die sich vermessen und auf eine geologische Karte übertragen lässt. So wie eine Schieferung jünger sein muss als das Ausgangsgestein (Sediment oder Magmatit), so muss eine Verfaltung der Schieferung jünger sein als das Ereignis der Verschieferung. Was kann der Geologe über das Alter (alpin oder voralpin) dieser Strukturen aussagen?
Die Beobachtung, dass sie die Hauptschieferung verfalten, ihre Faltengeometrie und ihre steil einfallenden Faltenachsen und Faltenachsen-Ebenen sind geradezu typisch für einen Faltenbau (den sogenannten „Schlingenbau“), den man im ganzen Alpenraum im Altkristallin findet und der bei der Kollision von Gondwana mit Laurussia vor 340-320 Millionen Jahren entstand.

Steile Faltenachse (040/55, in Richtung des Fingers) und Faltenachsen-Ebene (310/90).

Thema: Untersuchungen am Dünnschliff unter dem Mikroskop



Aufschluss 5: Amphibolit (Binnegga, Koord: 653 770/137 410)

Lokalität: Wo die Forststrasse am oberen Ende der Binnegga endet, beginnt ein Weg die Binnegga hinunter führend.

Geologie: Ganz unscheinbar am Wegrand im Schatten eines Baumes mit Moos überwachsen befindet sich ein für diese Region eher seltener Amphibolit. Amphibolite stellen einen weiteren Typus eines vergneisten Gesteins dar, dessen Ausgangsgestein aber ein Basalt ist. Basalte sind Schmelzen aus dem Erdmantel. Sie kommen dort hoch, wo die darüber liegende Erdkruste auseinandergezerrt wird. Ozeanböden bestehen aus Basalten und entstehen an Orten, wo sich Kontinente auseinander bewegen. Bei Amphiboliten kann es sich um Überreste alter Ozeanböden handeln. Das sind wichtige Hinweise für den Geologen.

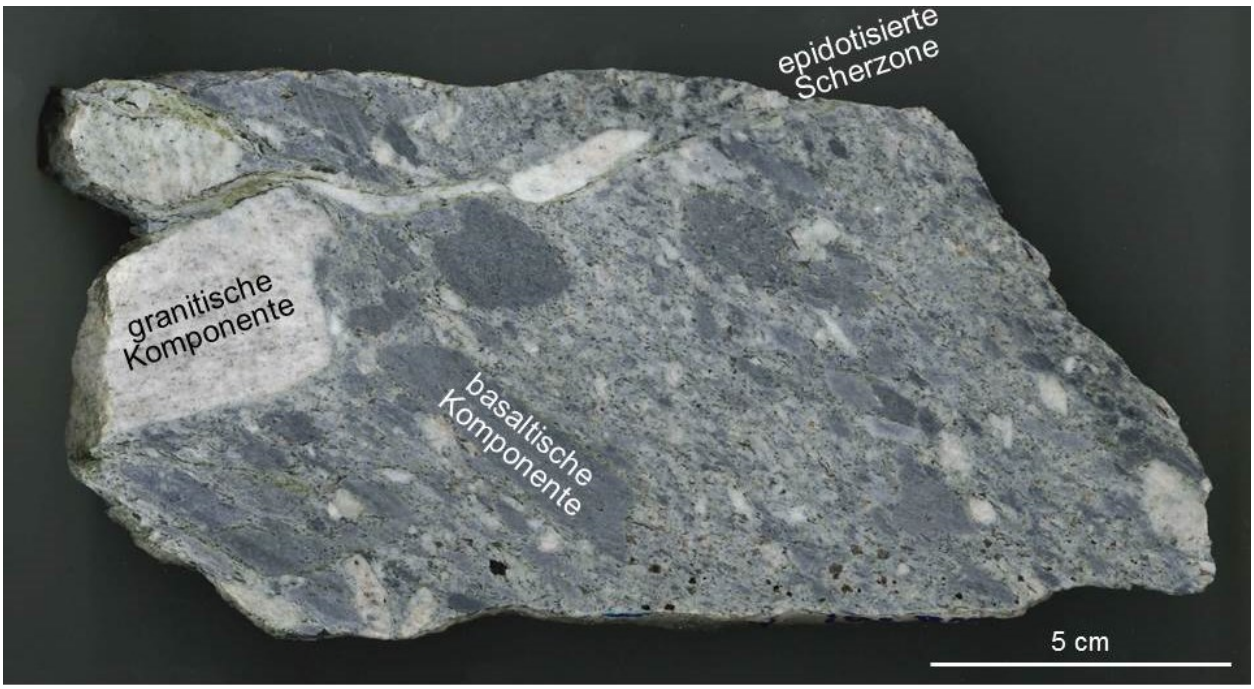
Thema: Plattentektonik

Aufschluss 6: Metakonglomerat (Hinter der Trafostation bei Wasen, Koord: 653 360/137 325)

Lokalität: Vom grossen Parkplatz bei Wasen (bei der Posthaltestelle) sieht man gegen OSO auf der gegenüberliegenden Strassenseite eine Trafostation. Dort geht auch eine Forststrasse hoch. Der Aufschluss befindet sich hinter dieser Trafostation.

Geologie: Neben feinkörnigen Serizitschiefern finden sich deformierte Konglomerate (Metakonglomerate). Ein Konglomerat sieht aus wie ein Beton und besteht aus Centimeter-grossen Komponenten (ehemalige Kiesgerölle), die in einer feineren Matrix (ehemaliger Sand und Schlamm) eingebettet sind. Bei den hellen Komponenten handelt es sich hier um granitische und bei den dunklen Komponenten um basaltische Gesteine. Letztere sind sehr feinkörnig, reich an Erz und enthalten Einsprenglinge von Feldspat (Plagioklas). Die Einsprenglinge in einer feinkörnigen Matrix deuten auf eine oberflächennahe Intrusionstiefe. Man spricht hierbei von Subvulkaniten. Die verschiedenen vulkanischen, subvulkanischen und plutonischen Komponenten deuten auf eine magmatisch aktive Umgebung, wie sie im Perm typisch war. Damals brach der Superkontinent Pangäa auseinander und es bildeten sich Gräben und Vulkane. Die Gräben wurden mit vulkanischem Material und Sedimenten gefüllt und es bildeten sich Konglomerate. Im Alpenraum nennt man diese permischen Konglomerate „Verrucano“. Die Konglomerate sind deformiert und entlang epidotisierter (Epidot: *$Ca_2Fe^{2+}Al_2(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$; Gruppensilikat genannt Sorosilikat mit gemischten SiO_4 und Si_2O_7 Gruppen*) Scherzonen zerschert.

Thema: Verrucano

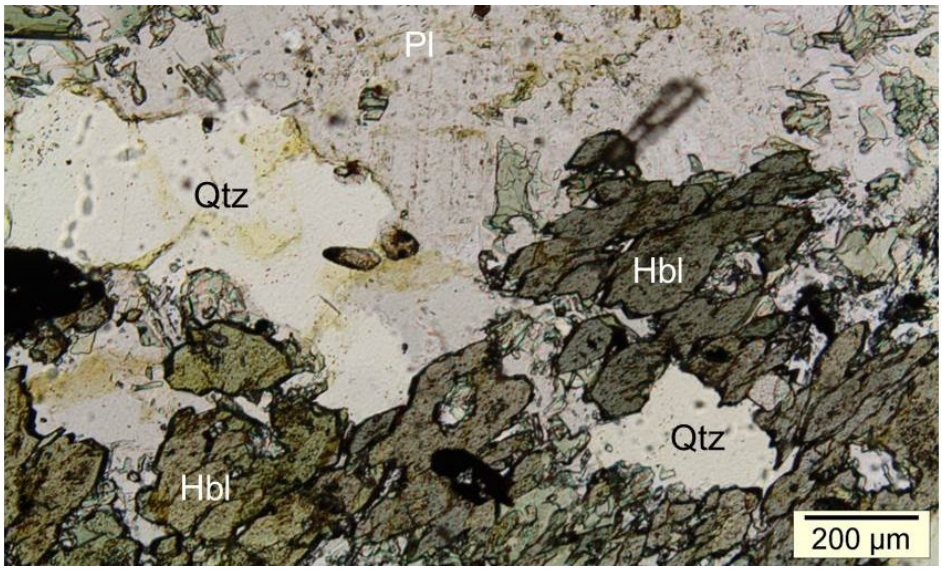


Aufschluss 7: Amphibolit-Migmatit (Wengi-Weg, Koord: 653 750/137 370)

Lokalität: Der Weg hinunter entlang der Binnegga führt auf einen anderen Weg, der von Ausserbinn her über die Wengi herkommt. Wir folgen dem Wengi-Weg gegen Ausserbinn.

Geologie: Dieser Amphibolitaufschluss liegt in der „Schieferungslinie“ (der Geologe spricht vom Streichen) vom vorherigen Aufschluss Nr. 5. Durch den Wegbau entstand dieser Aufschluss, wo der Amphibolit seine migmatischen Strukturen preis gibt. Damit ein Amphibolit migmatisch wird, d.h. zu schmelzen anfängt, braucht es sehr hohe Temperaturen von über 750°C. Das ist ein klarer Hinweis, dass es sich hierbei um eine voralpine Gebirgsbildung handeln muss, weil die Alpenbildung im Bereich Ausserbinn nur etwa 500°C erreicht hat.

Thema: Metamorphose der Amphibolitfazies zwischen Grünschiefer- und Granulitfazies



Mikroskopbild des Amphibolits

Pl: Plagioklas $Ca[Al_2Si_2O_8]$

Hbl: Hornblende $Ca_2Mg_5[Si_8O_{22}](OH)_2$ *mit: Fe, Al, Ti, F*

Qtz: Quarz SiO_2

Aufschluss 8: Boudinierter Aplit (Strassenkurve neben Sternwarte, Koord: 654 300/137 175)

Lokalität: Oberhalb Ausserbinn in der Spitzkehre neben der Niederländischen Sternwarte.

Geologie: Bei diesem spektakulären Aufschluss sieht man die Geschichte von drei Gebirgbildungsphasen.

- Cenerische Knollengneise, bei denen es sich um Migmatite handelt.
- Variszische Aplite (Oberholzer 1955), granatführend und leicht verschiefert; weitere Vorkommen an der Hauptstrasse.
- Alpine Deformation: Sie zeigt sich (1) an der Boudinage der Aplite, (2) an der Zerscherung der Knollengneise und (3) an den verschiedenen Klüften. Wird an einem Gesteinskörper eine Scherspannung angelegt, widerstehen festere Lagen (z.B. Aplit) einer gleichmässigen Scherung und werden stattdessen auseinandergezerrt. An den Einschnürungen („Necks“) zwischen den „Boudins“ (franz. Blutwurst) werden die glimmerreichen Nebengesteine hineinfaltet und es bilden sich Kluftmineralien.

Thema: Boudinage

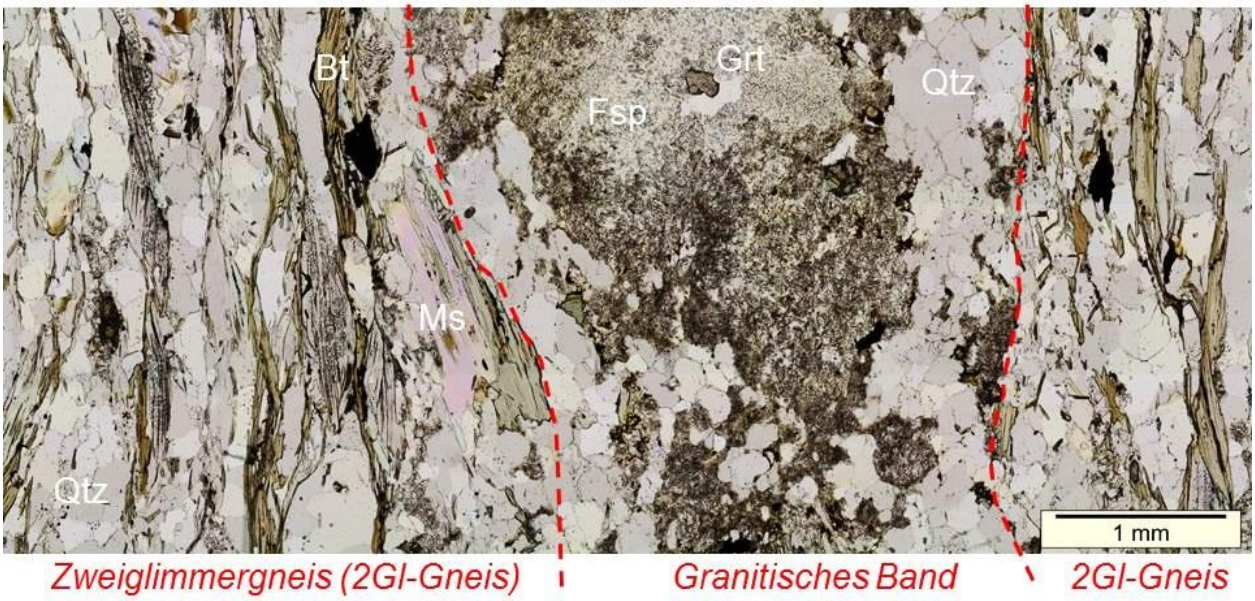
Aufschluss 9: Bändergneise (oberhalb Ausserbinn, Koord: 654 430/137 145)

Lokalität: Oberhalb Ausserbinn an der Strasse durch die Matten, unterhalb des Eggerwaldes.

Geologie: Bändergneise zeichnen sich durch cm- bis dm-breite Bänder aus, die sich in Mineralbestand (mehr/weniger Glimmer und Feldspat) und Struktur (massiger oder schiefriger) unterscheiden. Die Bänderung kann verschiedene Ursachen haben: Wechsellagerung im Ausgangsgestein (Sedimentlagen), lagenparalleles Eindringen von Schmelzen (Injektionsgneis, eine Art von Migmatit) oder das Aufschmelzen bestimmter Bereiche (Metatexit, eine Art von Migmatit). Die zeitgleiche oder spätere Vergneisung bewirkt die ausgeprägte Bänderung.

Thema: Wie entstehen Bändergneise?

Mikroskopbild des Bändergneises (unten): Qtz: Quarz, Bt: Biotit (Dunkelglimmer), Ms: Muskovit (Hellglimmer), Fsp: Feldspat (serizitisiert), Grt: Granat



Aufschluss 10: Panorama des Alpenbaus (oberhalb Ausserbinn, Koord: 654 470/137 135)

Lokalität: Oberhalb Ausserbinn an der Strasse durch die Matten unterhalb des Eggerwaldes, wo man einen freien Blick nach Osten zum Eggerhorn, nach Süden zum Helsenhorn und nach Westen ins Walliser Haupttal hat.

Geologie: Hier steht man inmitten des dreidimensionalen Alpengebirges. Im Osten die Bündnerschiefer, die vom Eggerhorn, via Breit- und Bettlihorn gegen Westen ziehen. Im Süden durchbricht die Schlucht der Binna diesen Bündnerschieferzug und gibt den Blick frei auf die penninische Monte-Leone-Decke. Die penninischen Bündnerschiefer grenzen an die helvetischen Termerschiefer, welche das Altkristallin der Gotthardecke in seinem westlichen Ausläufer (oberhalb Grengiols) umgeben und lokal grosse Gipslinsen enthalten. Die Nordwestseite des Goms besteht aus dem Aarmassiv, dem grossen Bruder der Gotthardecke. Ganz hinten im Westen sieht man die penninische Bernhard-Decke. Unmittelbar darüber ist die ostalpine Dent-Blanche-Decke gänzlich wegerodiert worden.

Thema: Bau der Alpen

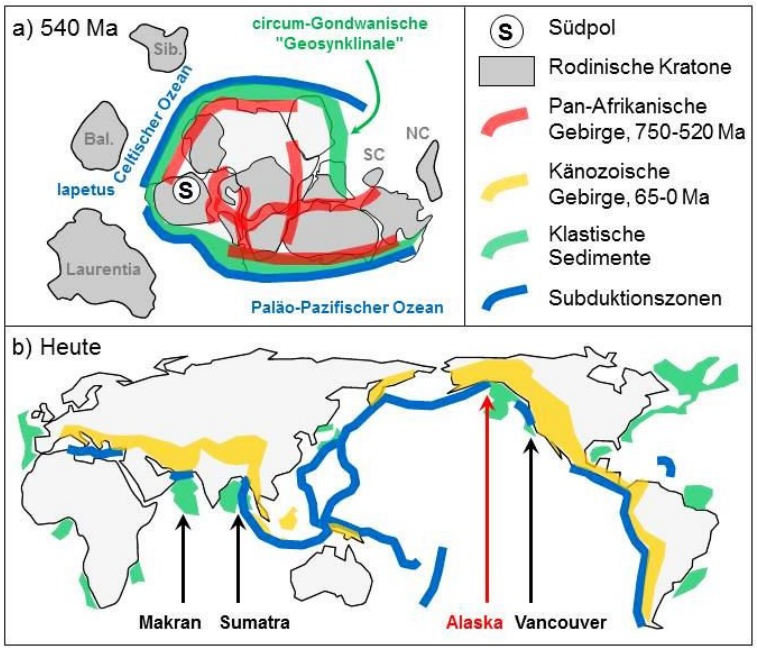
Lokalität 11: Gesteine als Baumaterialien (Kapelle von Ausserbinn, Koord: 654 670/137 015)

Lokalität: Die Kapelle mitten in Ausserbinn

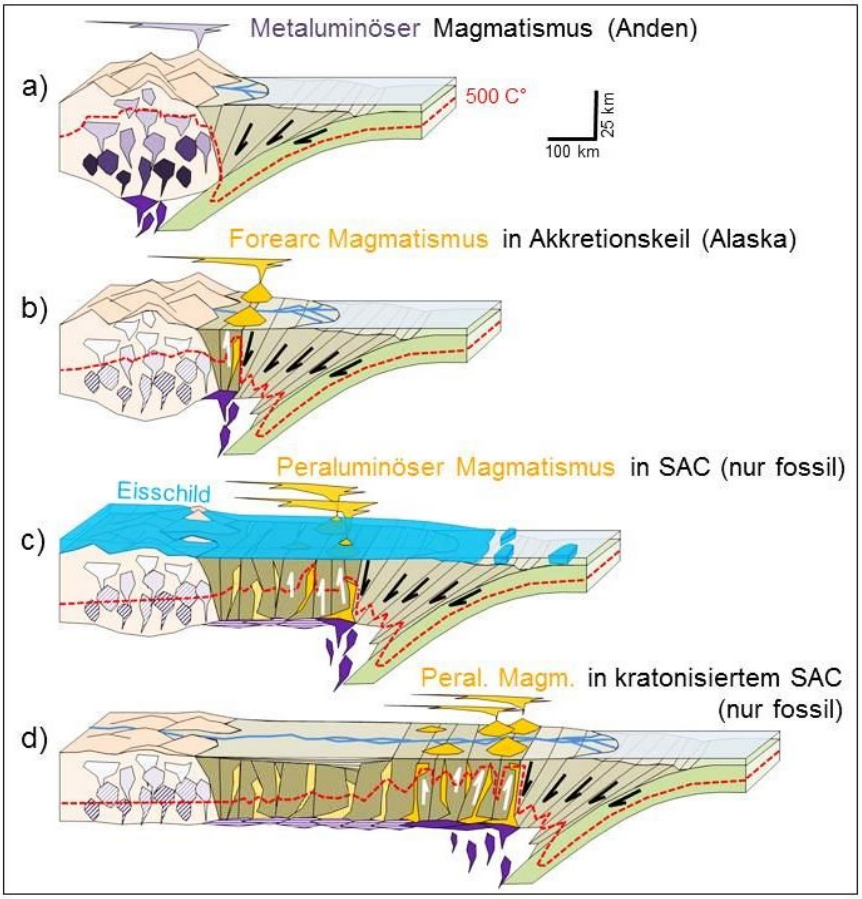
Geologie: Natursteine stellen für den Menschen auch technische Materialien dar. Insbesondere Gneise, die sich durch ihre Härte und Spaltbarkeit auszeichnen, eignen sich besonders gut für Dach- und Bodenplatten, Treppen und Mauersteine. Schiefer sind weniger fest, dafür umso besser spaltbar und werden als Dachplatten bevorzugt. Besonders die Termerschiefer wurden lange Zeit zu diesem Zweck abgebaut. Für Portale, Simse, Friese, Kapitelle und Weihwasserschüsseln hat man in alten Zeiten massige (richtungslose) und weichere Gesteine wie Rauhwacken und Serpentinite verwendet, die leicht behaubar waren. All das lässt sich an der Kapelle von Ausserbin gut beobachten. Unsere Vorfahren waren aber nicht nur Techniker, sondern verstanden ihr Handwerk auch als Kunsthandwerk. Interessant ist, dass die dreistufige „säkulare“ graue Treppe ausserhalb des Sakralraumes, am Eingang aus Gneis ist. Jedoch ist die dreistufige „sakrale“ Treppe zum Chor aus Rauhwacke gehauen. Ihre Farbe erinnert an das Gold, das in der Sakralkunst dem Göttlichen vorbehalten ist.

Thema: Gesteine sind technische Materialien

Wie lässt sich die Entstehung des Altkristallins erklären?



Die Anordnung der Kontinente war im Frühpaläozoikum (um 540 Ma; Bild a) ganz anders. Gondwana, ein kleiner Superkontinent, war durchzogen von Panafrikanischen Gebirgen, die ihren Abtragungsschutt in die Subduktionszonen an der Küste lieferten. Nördlich von Afrika entstand das Altkristallin der Gotthardecke als Subduktions-Akkretions-Komplex. Heutzutage (Bild b) überlappen die Subduktionszonen kaum mehr mit Regionen mit hohem Sedimenteintrag ins Meer.



Entwicklungsstadien von einem heutigen Akkretionskeil (a und b) zu einem Subduktions-Akkretions-Komplex (SAC), wie es sie nur im Frühpaläozoikum gab (c und d), weil moderne Subduktionszonen mit viel weniger Sedimenten gefüttert werden (Zurbriggen, 2017).

Thema: Wie entsteht Erdkruste?

Thema: Was hat die Entstehung des Altkristallins mit der Evolution des Lebens zu tun?

Liste der Themen mit kurzen Bemerkungen

a) Geomorphologie *(Aufschluss 1)*
Die treibenden Kräfte der Erosion sind die Hebung und die Witterung durch Wasser und Eis. Die Erosion folgt geologischen Schwächezonen und formt die Landschaft.

b) Gesteinsvielfalt
Jede Pflanze, jedes Tier und jedes Mineral hat seinen bestimmten Namen. Gesteine sind eher wie Gemälde. Es gibt unendliche Mischformen und Möglichkeiten.

c) Wissenschaftsgeschichte der Kontroverse Plutonisten contra Neptunisten
Als die Geologie zur Naturwissenschaft wurde stritten sich die Gelehrten, ob ein Granit durch Aufschmelzung oder durch Umwandlung durch Wässer entsteht.

d) Superkontinent
Bei der Plattentektonik kommt es immer wieder zu Massenkarambolagen, wo alle Kontinente zu einem Superkontinent kollidieren, der später wieder auseinanderbricht.

e) Was ist ein Gneis? *(Aufschluss 2)*
Eigentlich ist ein Gneis eine versteinerte Bewegung, die bei 600 °C in der unteren Erdkruste stattfand.

f) Ortho- und Paragneise, eine alte aber nützliche Einteilung
Die Vorsilben „ortho“ und „para“ bedeuten der „richtige“ und „falsche“ Gneis. Offenbar ist der „beste“ Gneis (als Baustein) aus einem Granit entstanden, also ein Orthogneis.

g) Messen einer Foliation und Übertrag auf die Karte *(Aufschluss 3)*
Ein Material hat zwei grundlegende Aspekte: Zusammensetzung und Struktur. Gesteine bestehen aus Mineralien, die entlang Falten und Schieferungen angeordnet sind.

h) Untersuchungen am Dünnschliff unter dem Mikroskop *(Aufschluss 4)*
Das Auge sieht noch einen Fünftel eines Millimeters, mit einer Lupe sehen wir einen Zwanzigstel eines Millimeters und mit einem Lichtmikroskop einen Zweitausendstel.

i) Plattentektonik *(Aufschluss 5)*
Stellen sie sich vor, ohne Plattentektonik gäbe es keine Berge und Täler und auf der ganzen Welt sähe es aus wie in Holland – flaches Land, flacher Strand, flaches Meer.

j) Verrucano *(Aufschluss 6)*
Der Pangäa-Superkontinent zerbricht. Es bilden sich Gräben, die sich mit sedimenten und vulkanischem Auswurf füllen. So entstehen Konglomerate, die man im Alpenraum mit „Verrucano“ bezeichnet.

k) Metamorphose *(Aufschluss 7)*
Mineralien sind nur unter bestimmten Umständen glücklich. Wird es zu heiss oder zu kalt, zu stressig oder zu langweilig, dann verwandeln sie sich in glücklichere Mineralien.

l) Boudinage *(Aufschluss 8)*
Härtere Lagen, wie z.B. die Kuchenteiglage zwischen den weicheren Milchcéme-Lagen einer präparierten Milchschnitte boudinieren beim Zusammenpressen (siehe Youtube: „How to make Boudinage with a Milch-Schnitte“).

m) Wie entstehen Bändergneise? *(Aufschluss 9)*
Denken sie an Lasagne (Lage um Lage), Marmorkuchen (durch Umrühren), eine schmelzende Torte (herauslaufende Crème) oder einen Berliner (Injektion).

n) Bau der Alpen *(Aufschluss 10)*
Die Alpen sind ein Deckengebirge. Decken sind Gesteinslagen von mehreren hundert Metern Dicke, die bis zu 100 km oder noch weiter übereinander geschoben wurden.

o) Gesteine sind technische Materialien *(Lokaliltät 11)*
Der Mensch wurde Mensch in der Steinzeit. Er nahm den Stein in die Hand und begann damit zu spielen, zu arbeiten und sich zu wehren.

p) Wie entsteht Erdkruste? *(letztes Kapitel)*
Sie entsteht aus dem „Serum“ des Erdmantels, d.h. aus leichteren Basalten, die sich zu noch leichteren Graniten entwickeln. Diese reichern sich an der Erdoberfläche an.

q) Was hat die Entstehung des Altkristallins mit der Evolution des Lebens zu tun?
Das Altkristallin schuf an der Erdoberfläche ausgedehnte Flachwasserregionen, die für die Entwicklung von mehrzelligen Lebewesen eine ideale Brutstätte wurden.

Weitergehende Fachliteratur

- Ballèvre M, Fourcade S, Capdevila R, Peucat J-J, Cocherie A, Fanning CM (2012) Geochronology and geochemistry of Ordovician felsic volcanism in the Southern Armorican Massif (Variscan belt, France): Implications for the breakup of Gondwana. Gondwana Research 21:1019–1036
- Berger A., Mercolli I., Herwegh M., Gnos E. (2017): Explanatory notes accompanying the geological map of the Aar Massif and the Tavetsch- and Gotthard Napes.
- Oberholzer W. (1955): Geologie und Petrographie des westlichen Gotthardmassivs. PhD thesis, ETHZ.
- Villaseca C, Merino Martínez E, Orejana D, Andersenc T, Belousova E (2016) Zircon Hf signatures from granitic orthogneisses of the Spanish Central System: significance and sources of the Cambro-Ordovician magmatism in the Iberian Variscan Belt. Gondwana Research 34:60–83
- Von Raumer JF, Bussy F, Schaltegger U, Schulz B, Stampfli GM (2013) Pre-Mesozoic Alpine basements: their place in the European Paleozoic framework. Bull Geol Soc Am 125(1-2):89–108
- Zurbriggen R. (2015) Ordovician orogeny in the Alps: a reappraisal. International Journal of Earth Sciences, 104:335–350
- Zurbriggen R. (2017) The Cenerian orogeny (early Paleozoic) from the perspective of the Alpine region. International Journal of Earth Sciences. 106:517–529