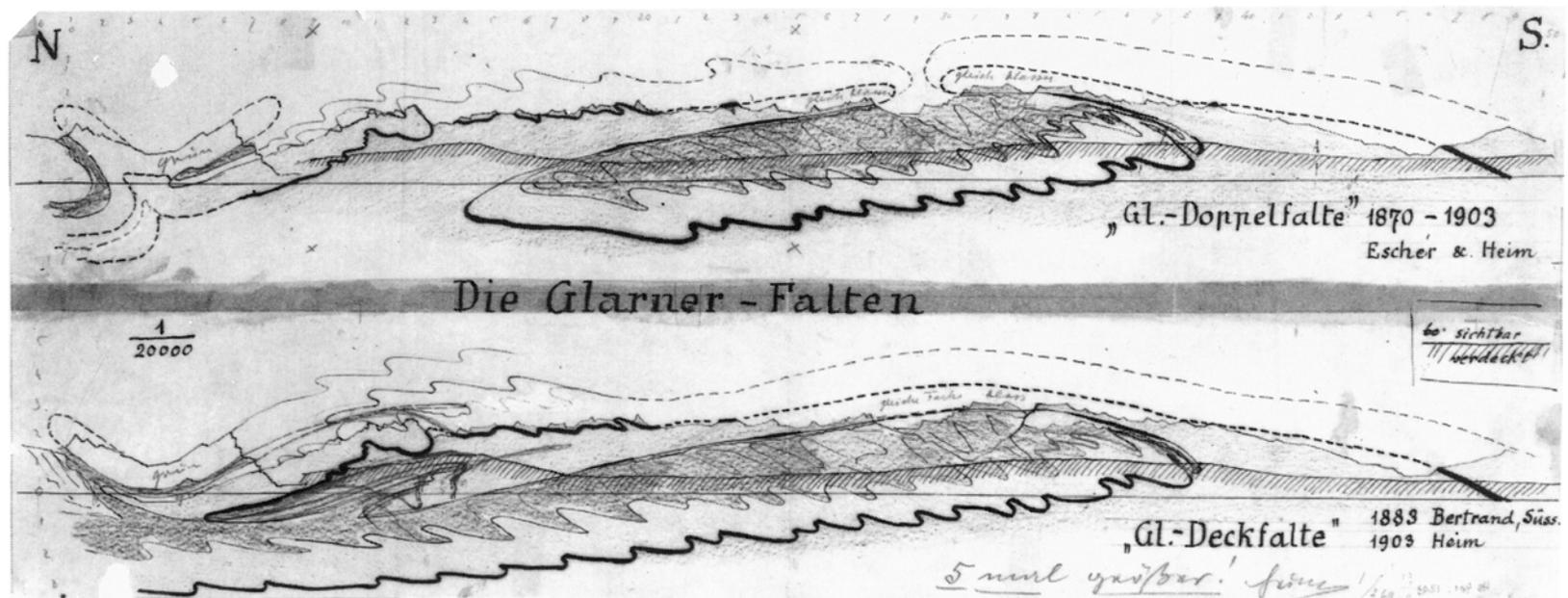


# Geologie der Schweiz



Mark Feldmann

Dr. sc. nat. ETH

## Inhalt

Übersicht

Eine sehr kurze Einführung in die Geologie

Geologische Forschung

Kristallines Grundgebirge und Superkontinent

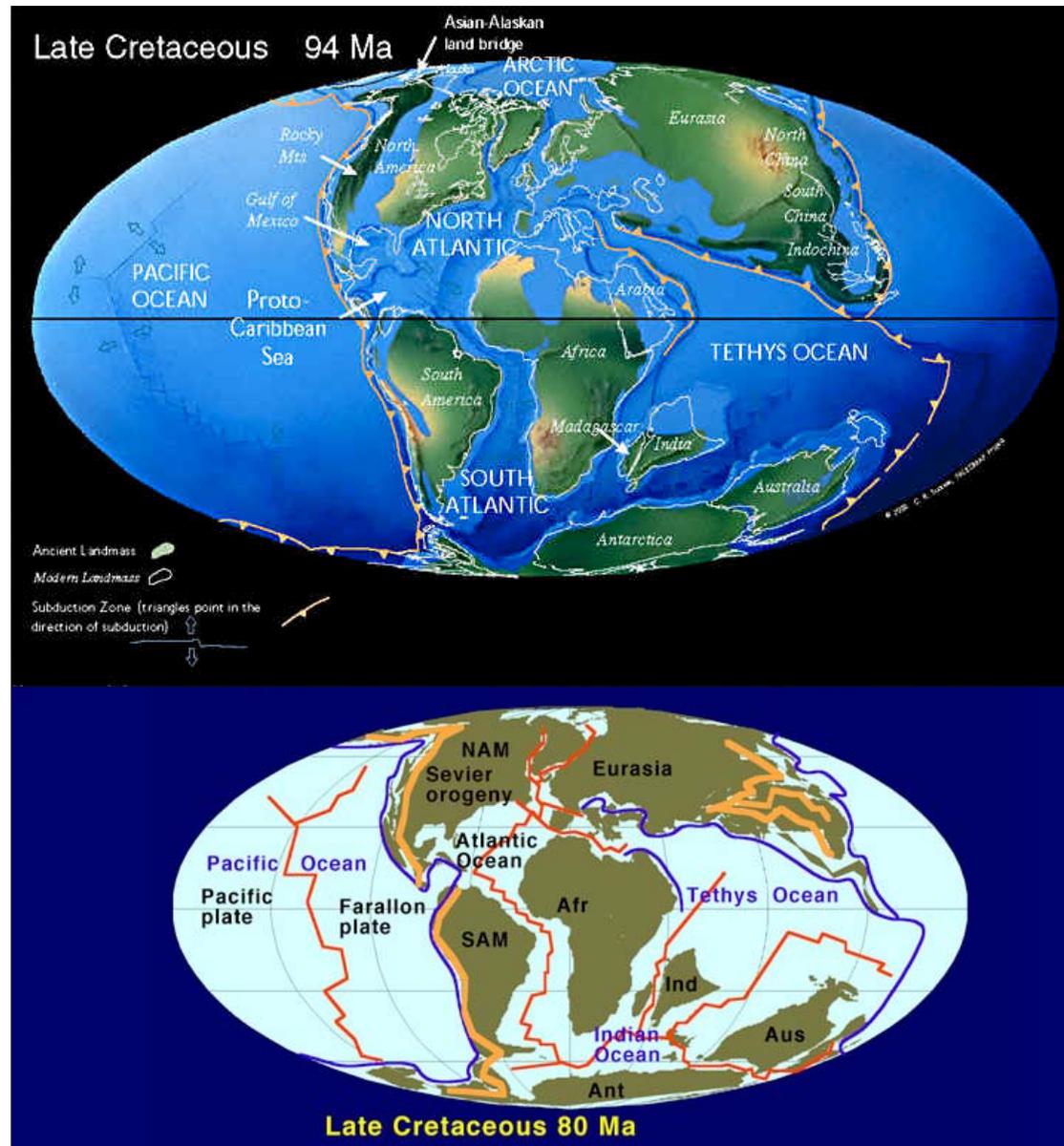
Tethys und mesozoische Sedimente

**Auffaltung der Alpen und Metamorphose**

Molasse

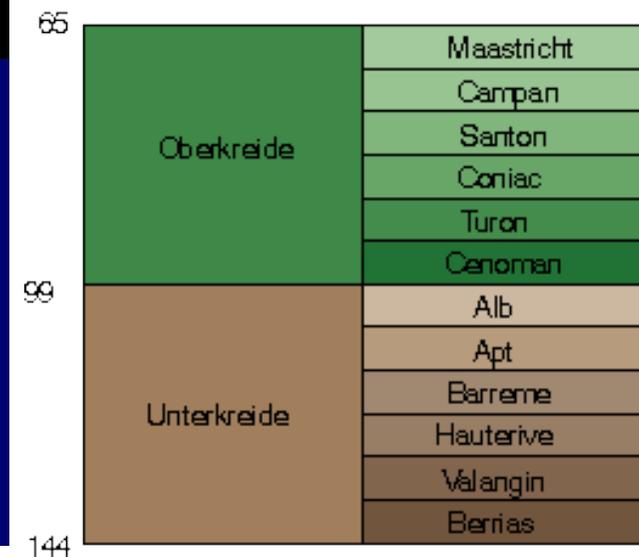
Jurafaltung

Eiszeiten und Bergstürze



## Obere Kreide

Am Ende der Kreide erfolgt eine rasche Regression und es beginnen die alpinen Faltungen mit Flyschsedimentation. Die Krustenverkürzung im Tethysbereich begann im Albian. Die Bildung von neuer ozeanischer Kruste versiegte. Neue Bergzüge und Inseln hoben sich und lieferten Detritus in die Flyschbecken. Die letzte Sedimentationsphase alpiner Becken begann gleichzeitig mit dem Anfang der alpinen Gebirgsbildung.



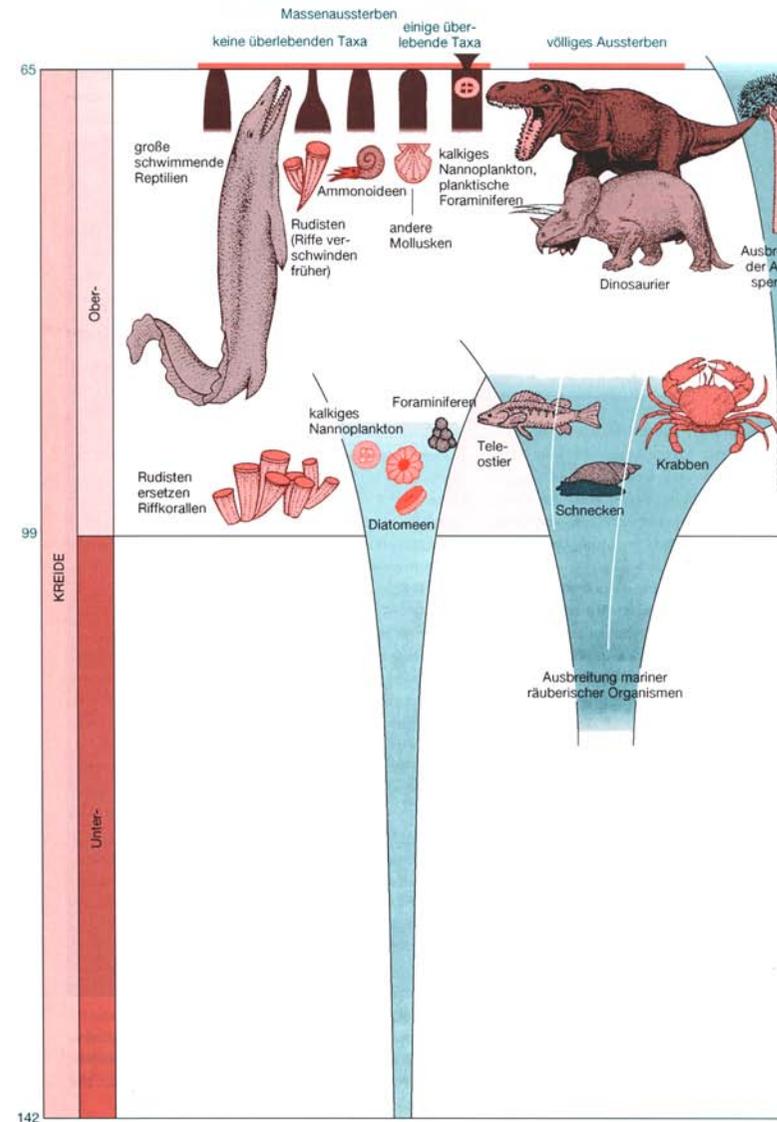


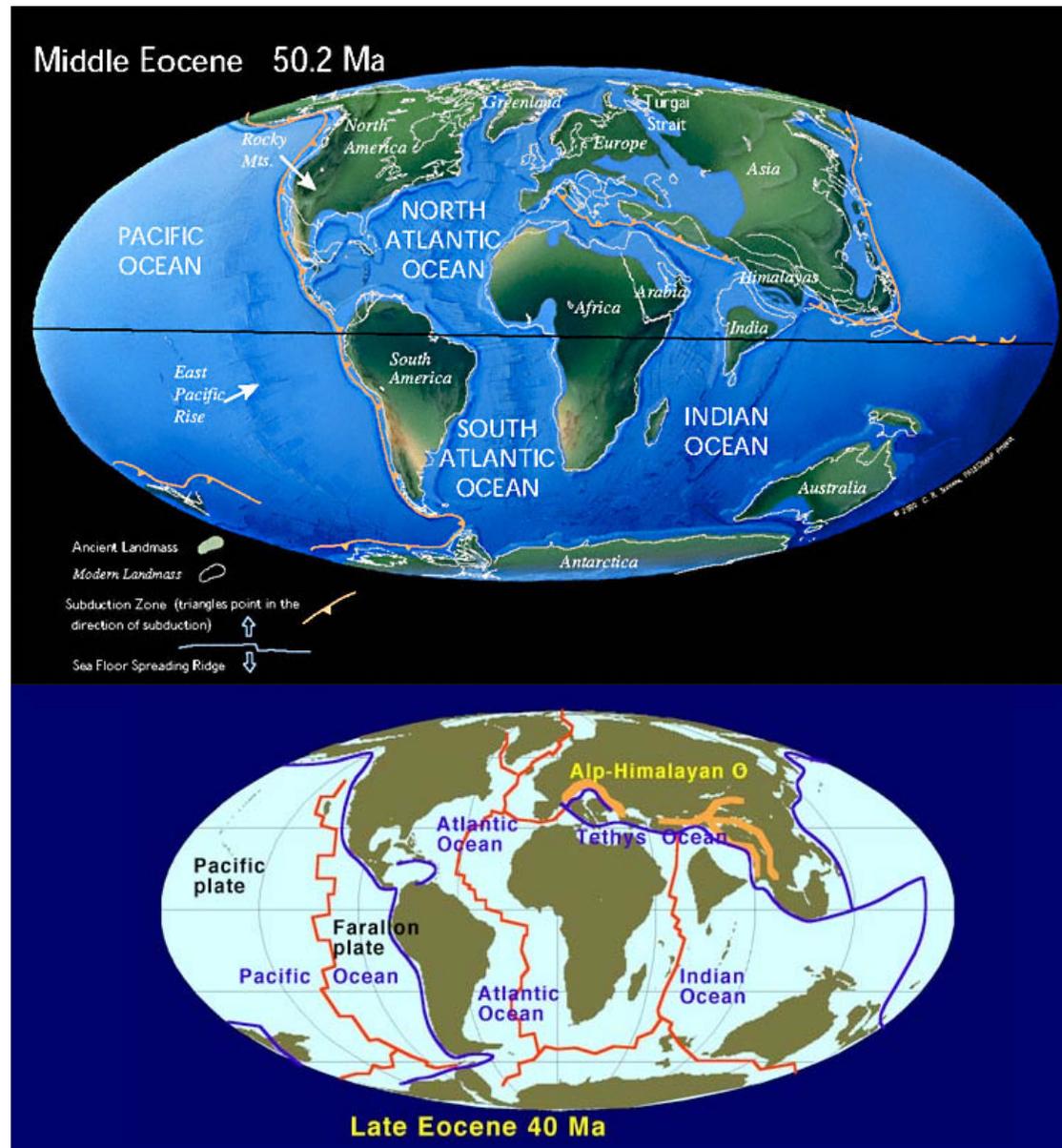
Der grosse Knall  
?



## Überblick

Wichtige Ereignisse in der Kreidezeit

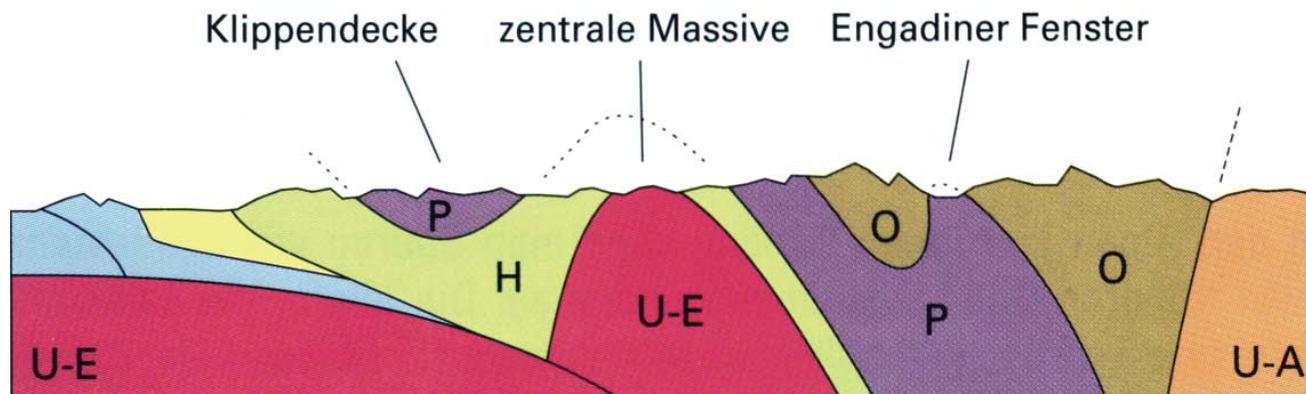
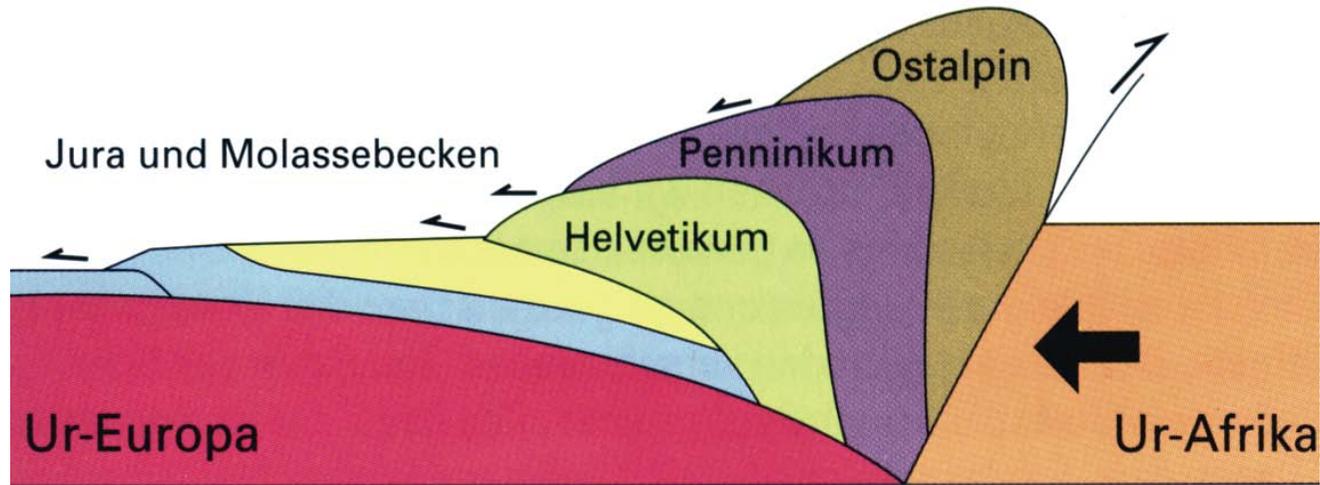




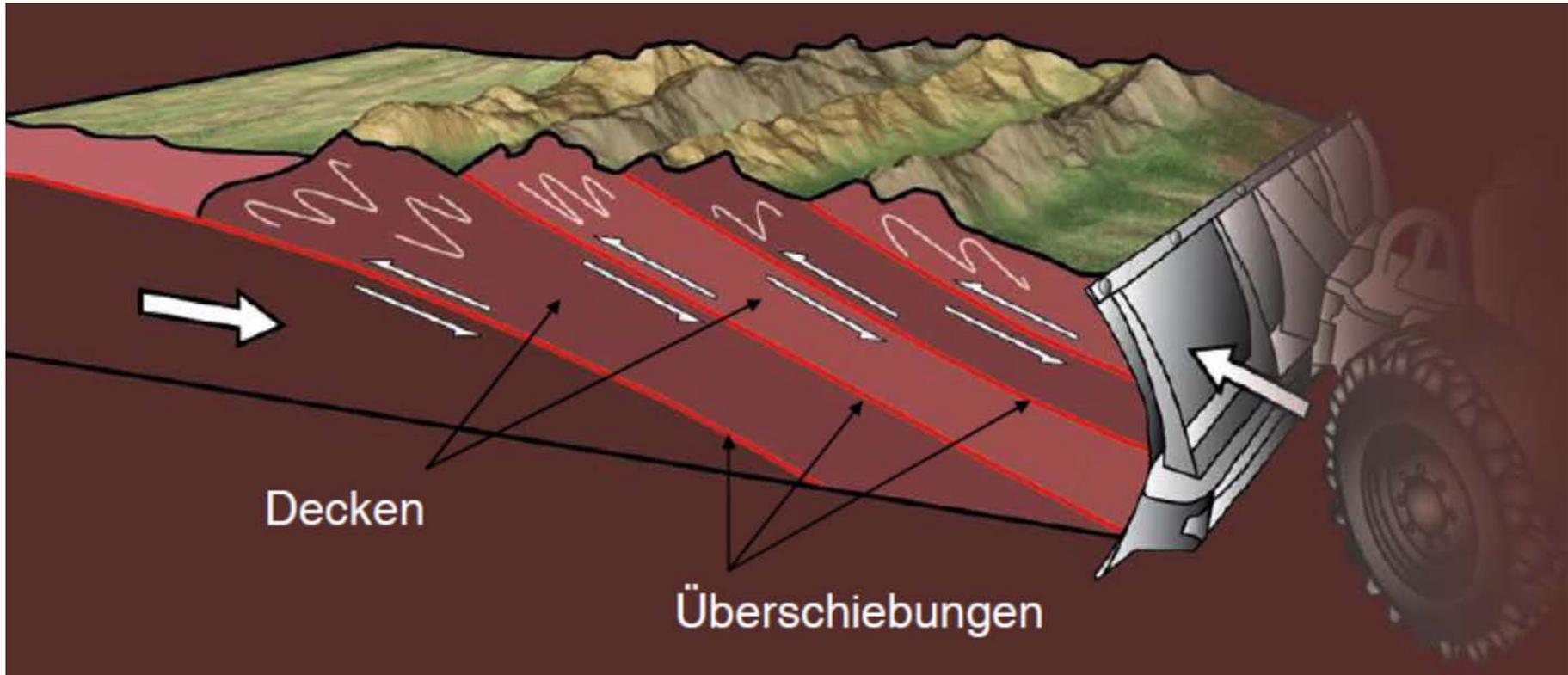
### Tertiär (65 - 1.6 Mio Jahre)

Der Begriff Tertiär entstammt der Historischen Geologie, also der Beschreibung der Erdgeschichte, und wurde 1760 von Giovanni Arduino eingeführt. Er unterschied aufgrund seiner Beobachtungen geologischer Schichten in Oberitalien eine primäre (Basalte, Granite, Schiefer), sekundäre (fossile Kalkablagerungen) und tertiäre (jüngere Sedimentablagerungen) Epoche. Das Tertiär wurde allerdings im Jahr 2000 aus der international gültigen und von der Internationalen Kommission für Stratigraphie herausgegebenen Geologischen Zeitskala gestrichen. An die Stelle des Tertiärs traten das Paläogen (früher: Alttertiär) und das Neogen (früher: Jungtertiär) als Perioden im Känozoikum (Erdneuzeit).

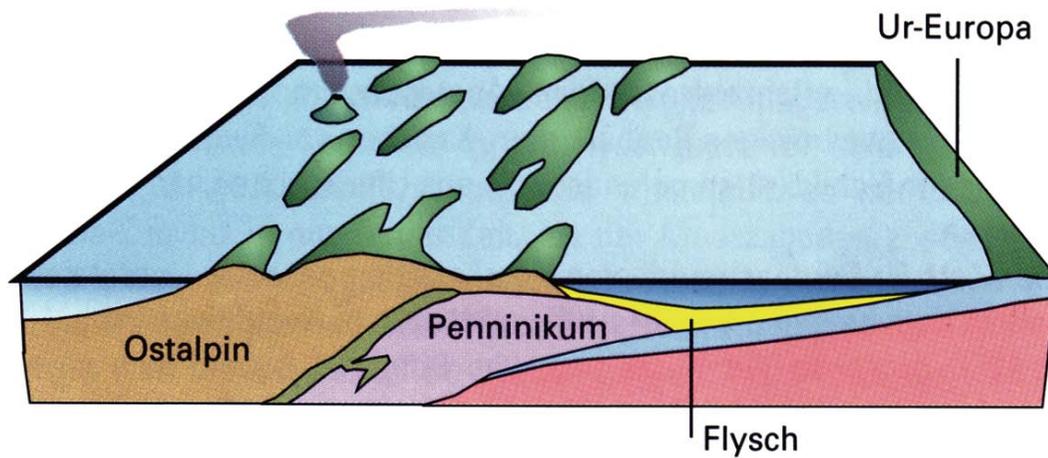
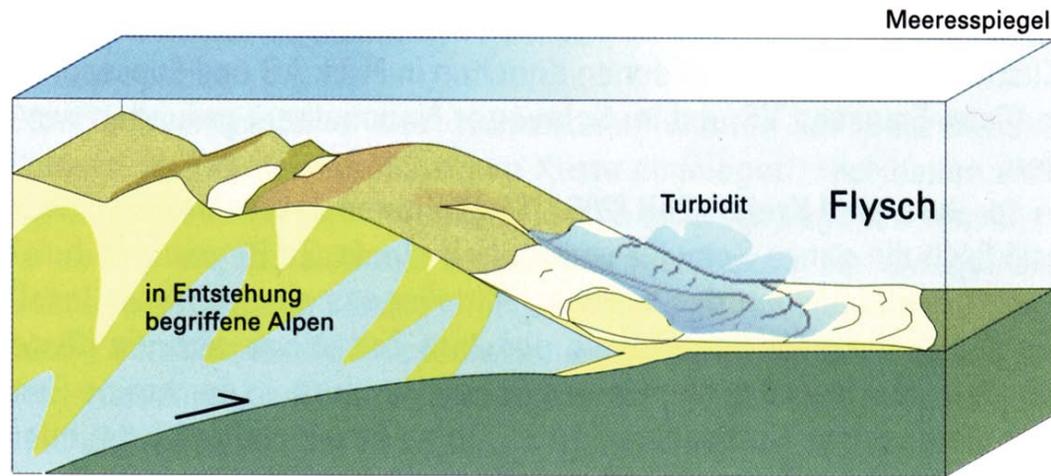
1,8	Neogen	Pliozän
		Miozän
23	Paläogen	Oligozän
		Eozän
		Paleozän
65		



Schematische Darstellung zur Deckenbildung

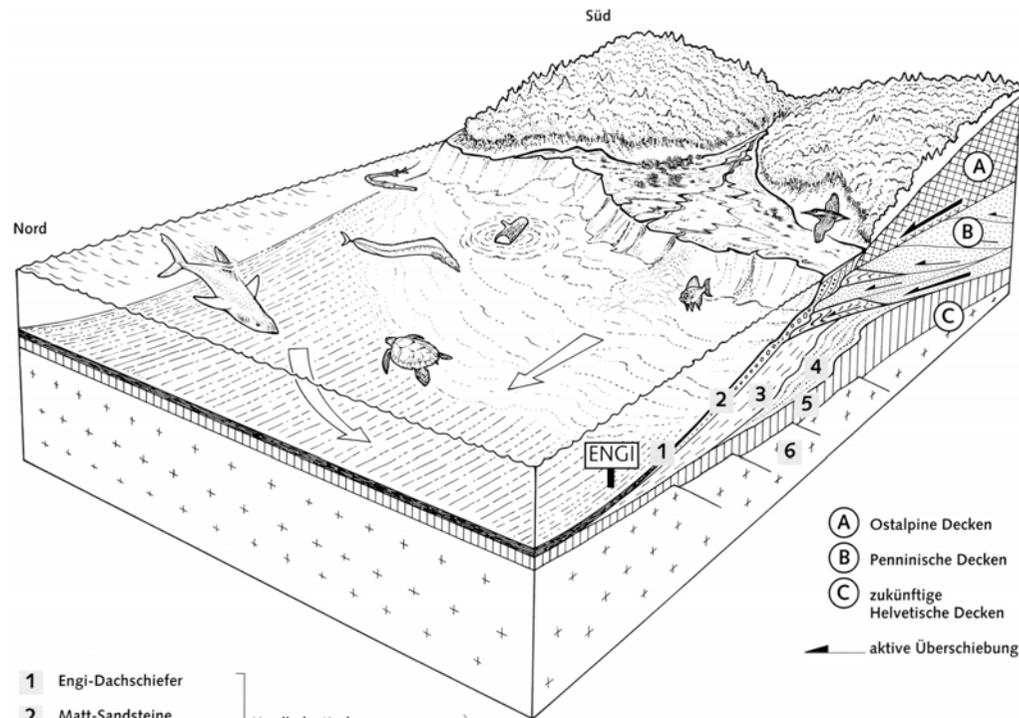


Schematische Darstellung zur Deckenbildung (nach T. Buckingham)



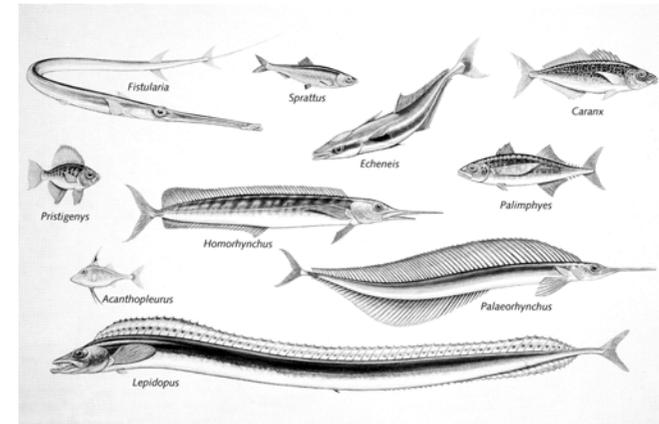
Im Tertiär wurden im Alpenraum tiefere Teile der Kruste aufgeschmolzen und mächtige Vulkane entstanden, welche abgetragen und heute nicht mehr vorhanden sind. Ihre Trümmer finden sich aber in den Flysch-Sandsteinen (Taveyannaz-Sandstein).

Die jüngste Formation des Flysch sind die Engi-Dachschiefer, die vom 16. Jahrhundert bis 1961 abgebaut wurden und berühmt durch ihre reiche und vielgestaltige Fischfauna sind.



- 1 Engi-Dachschiefer
  - 2 Matt-Sandsteine
  - 3 Elm-Formation
  - 4 Taveyannaz-Formation
  - 5 Sedimente älter als spätes Eozän
  - 6 Kristallines Grundgebirge
- } Nordhelvetischer Flysch

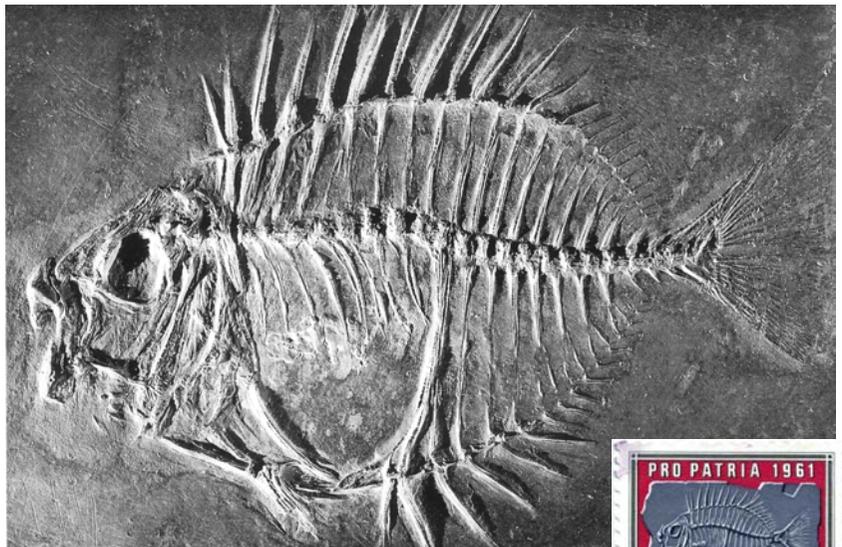
- (A) Ostalpine Decken
  - (B) Penninische Decken
  - (C) zukünftige Helvetische Decken
- ← aktive Überschiebung





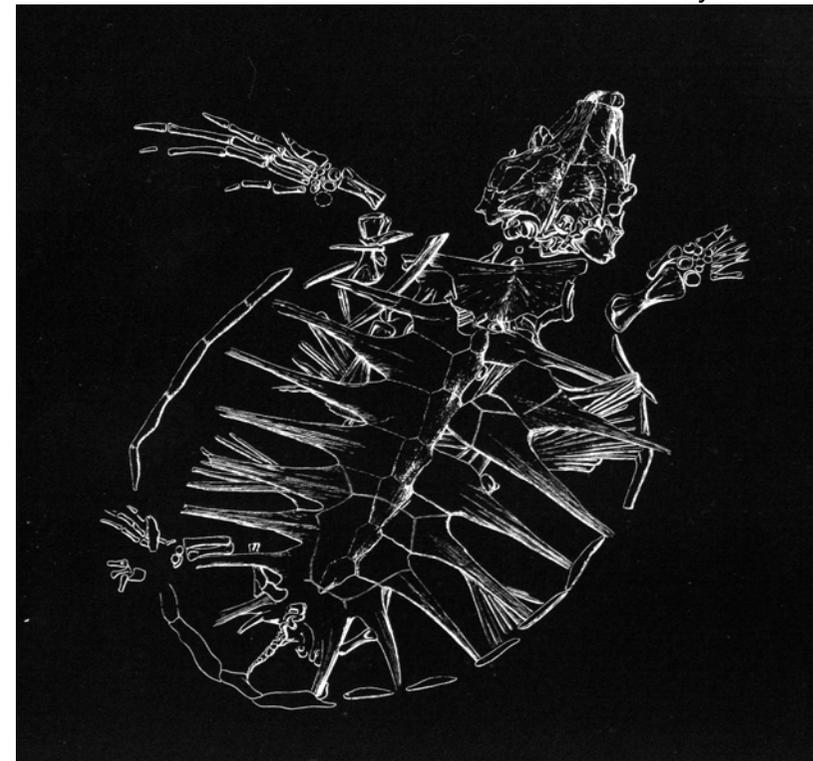
*Protornis glaronensis*

Fossilien aus Engi



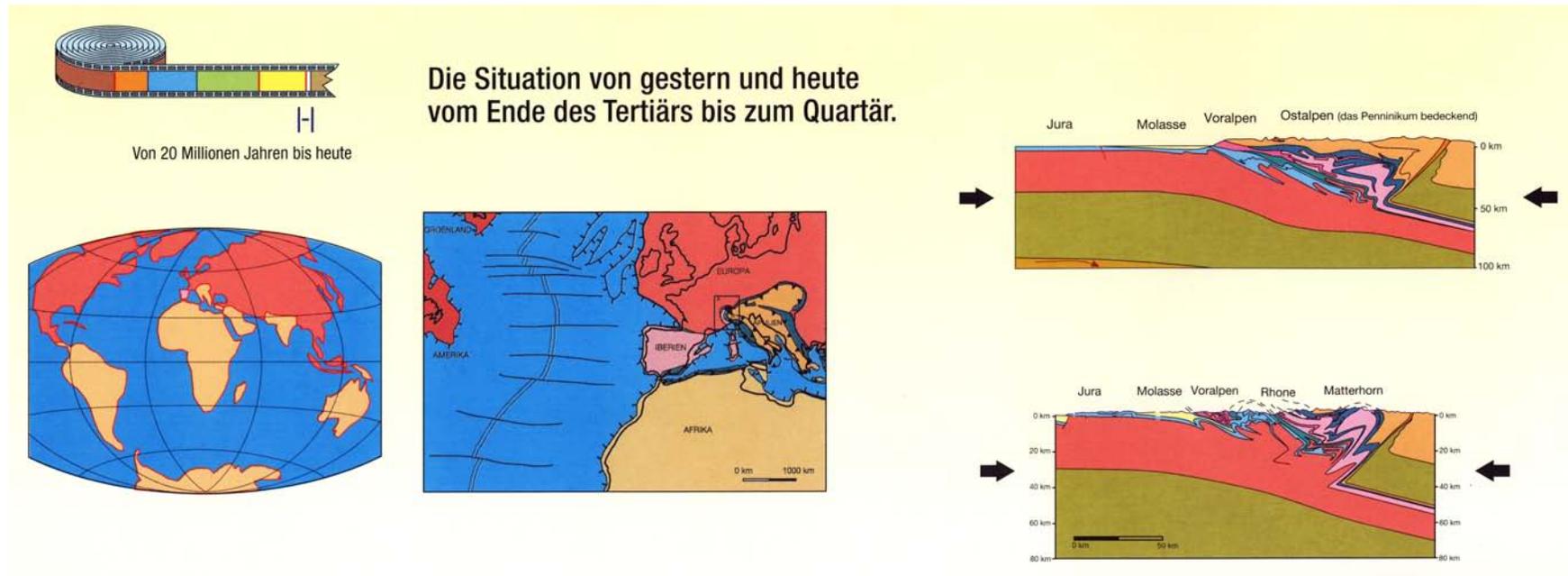
*Protosiganus glarisianus*

*Glarichelys knorri*

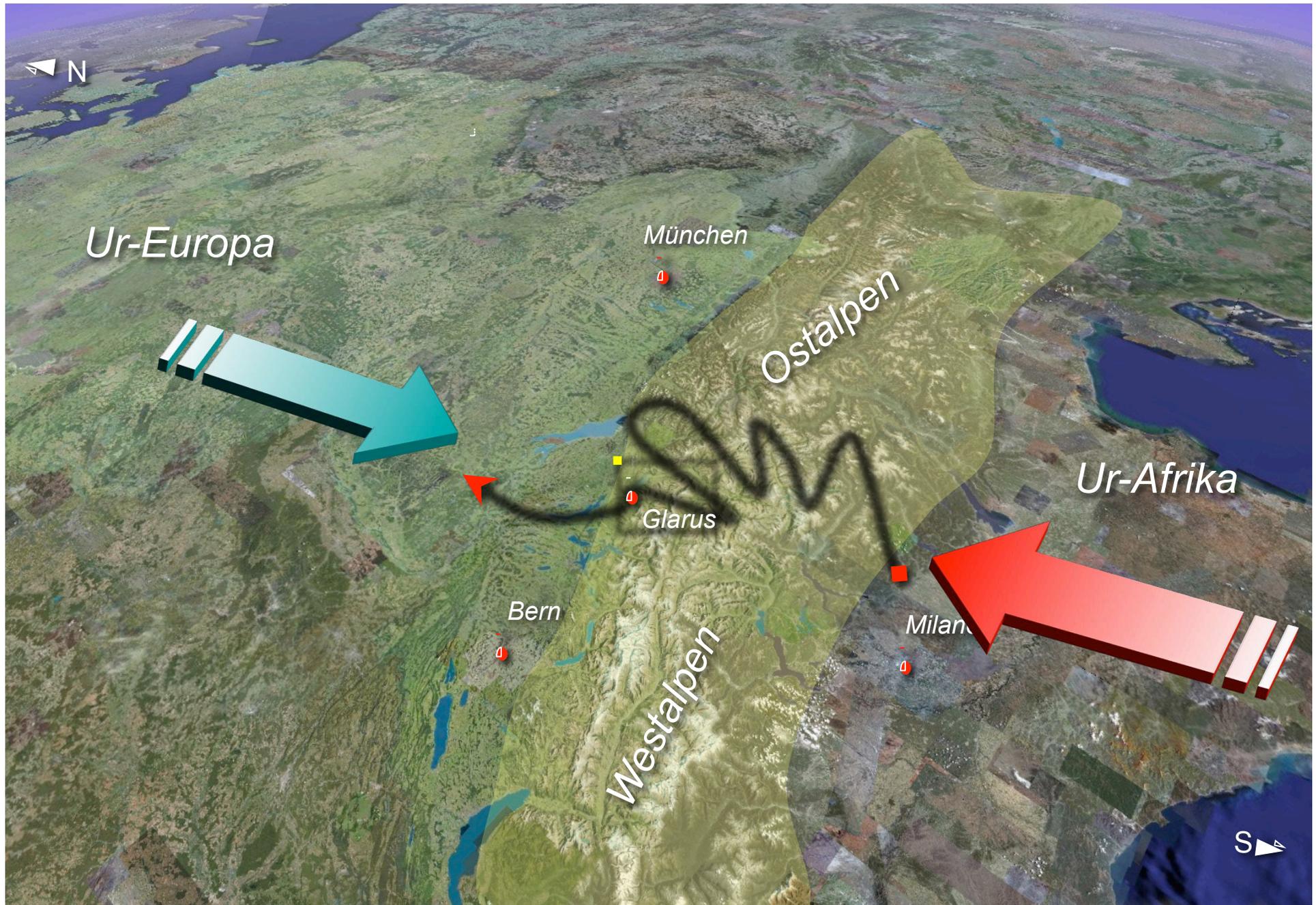


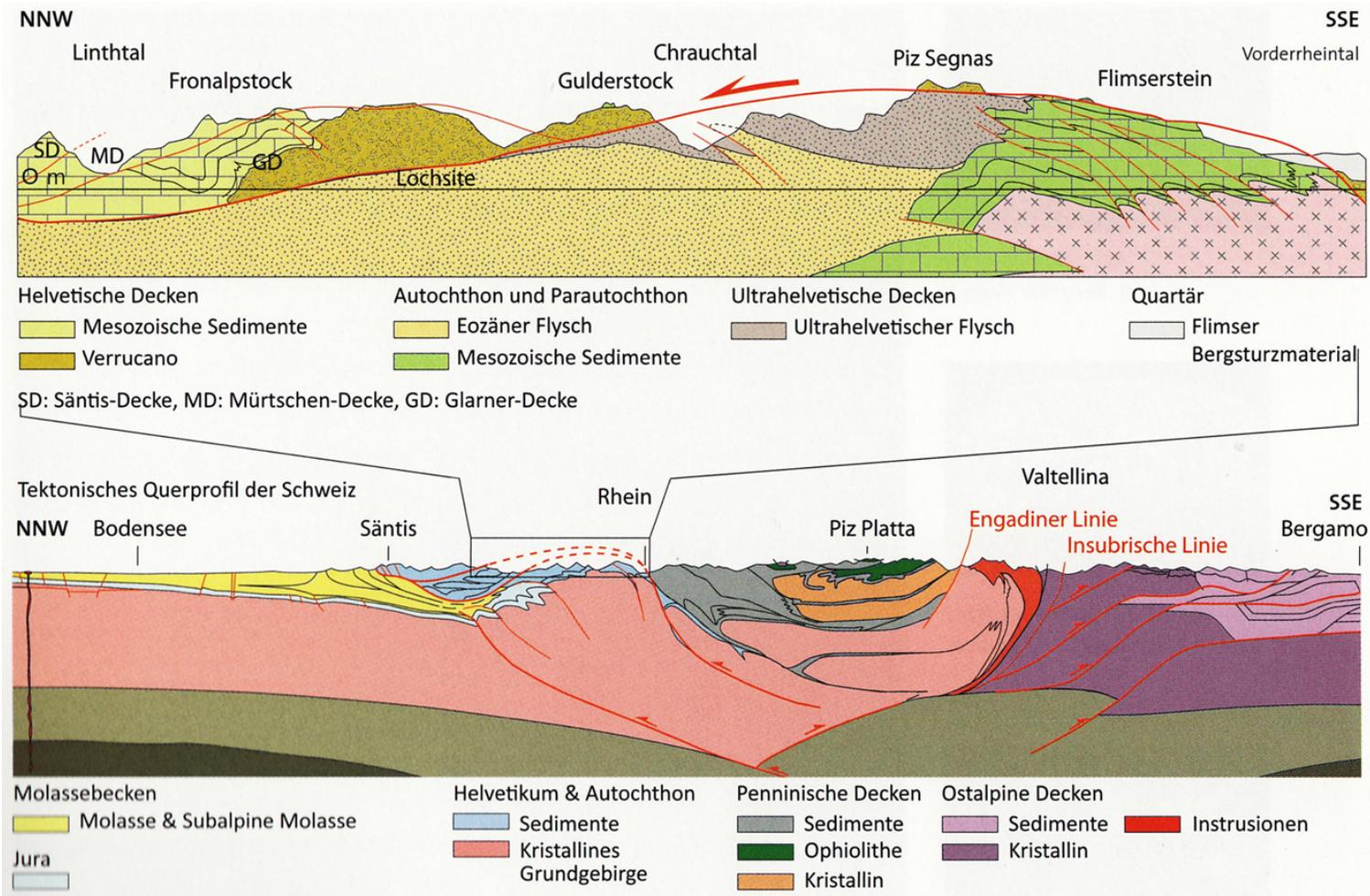


Landesplattenberg Engi



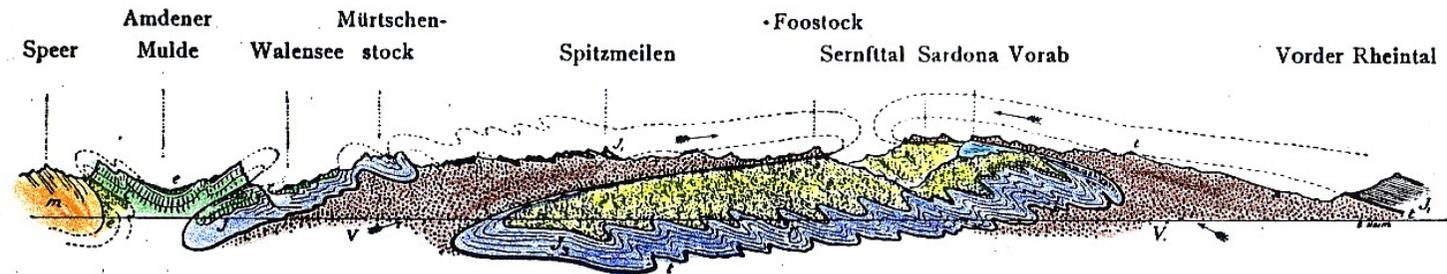
Vor etwa 40 Millionen Jahren geschahen im Innern der Alpen gewaltige Umwälzungen. Der europäische Kontinentalblock begann mit grosser Geschwindigkeit, gegen 5 cm im Jahr, unter den afrikanischen zu gleiten, wobei die Gesteine des afrikanischen Schelfs (Ostalpin) und des tiefen Meeresbeckens (Penninikum) endgültig aufgestapelt wurden.





Überschiebungslinie Glarner Hauptüberschiebung

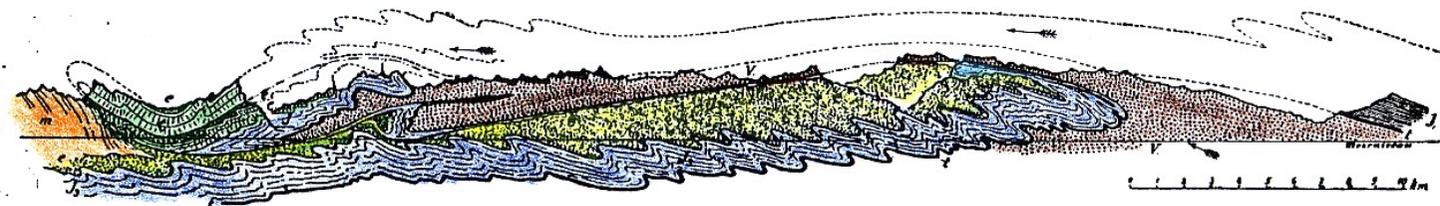
## Von der Glarner Doppelfalte zur Überschiebung



m = Molasse  
e = Flysch  
c = Kreide

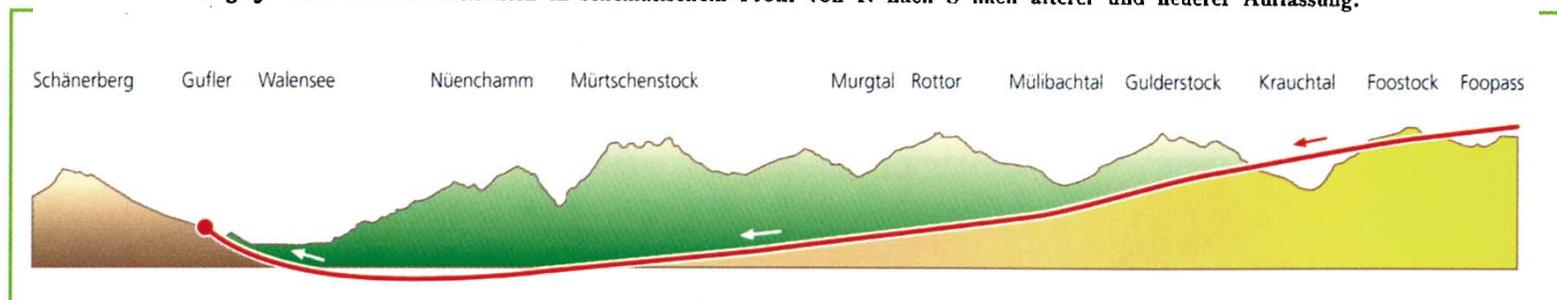
A. „Glarner-Doppelfalte“ nach der Vorstellung von A. Escher und Alb. Heim 1870—1902.

J = Jura  
t = helvetische Trias  
V = Verrucano (Perm)



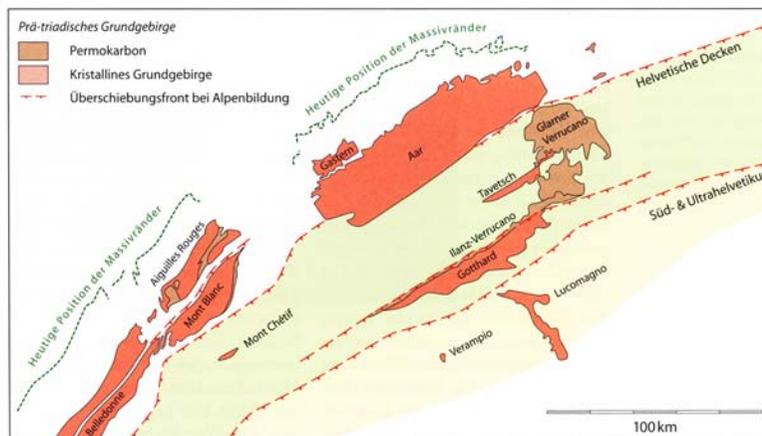
B. „Glarner-Deckfalten“ nach der Vorstellung von M. Bertrand 1883 und E. Sueß 1892, angenommen von Alb. Heim 1903.

Fig. 5. Die Glarner-Deckfalten in schematischem Profil von N nach S nach älterer und neuerer Auffassung.

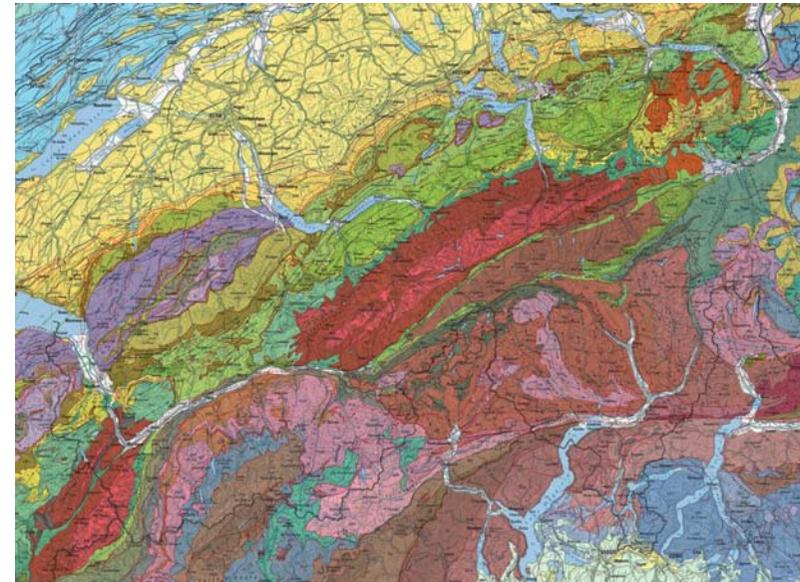


## Glarner Hauptüberschiebung

Der Verrucano wurde von seiner Position südlich des Aarmassivs (Bild links) östlich am Grundgebirge „vorbei“ geschoben, bis zu seiner heutigen Position südlich des Walensees (Bild rechts).

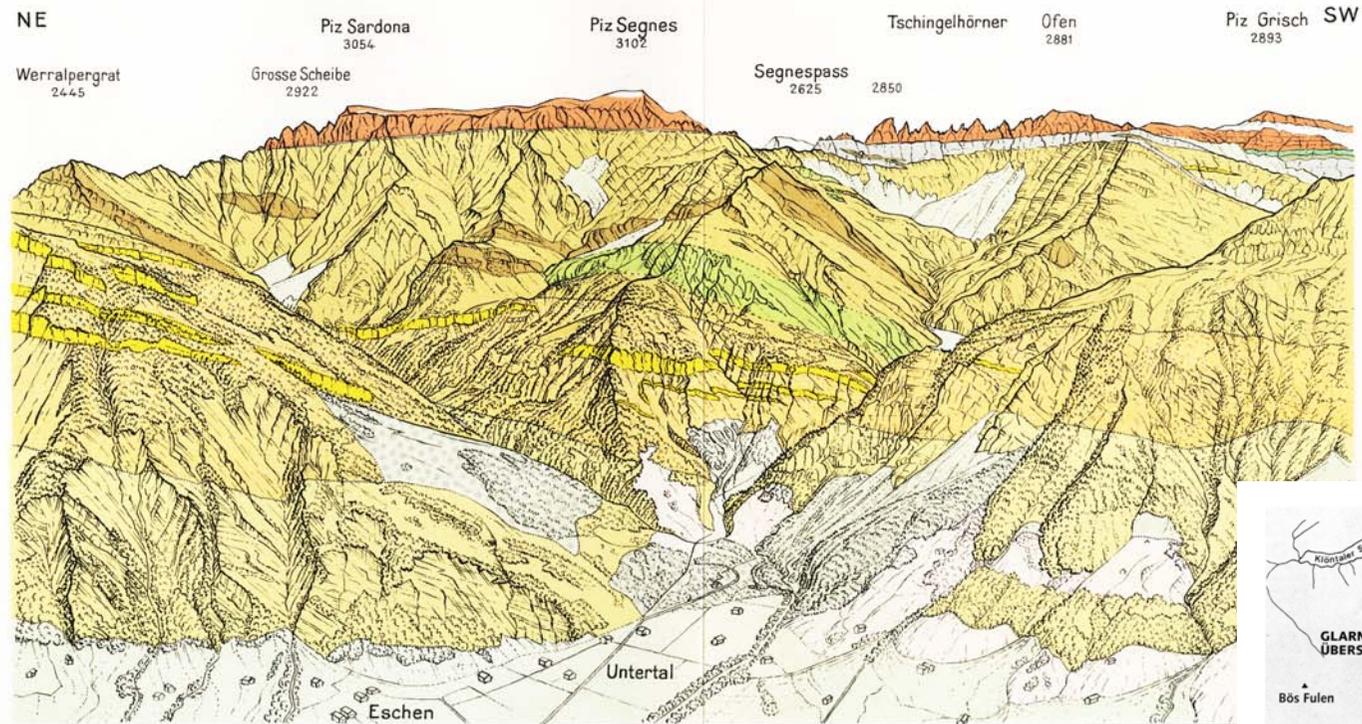


Ablagerungsraum des Verrucano zur Permzeit  
(aus Pfiffner, 2010)



Ablagerungsraum des Verrucano - heute  
(rotbraune Färbung oben rechts)

Die Glarner Hauptüberschiebung trennt den alten Verrucano (260 Ma) vom jungen Flysch (ca. 40 Ma)

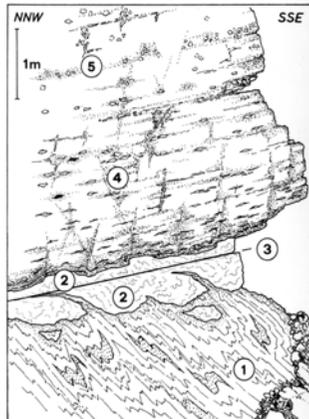


Die Sardona-Vorabkette, von Westnordwesten (Embächlialp) aus.





Lochsite (Foto J.M. Wittwer)



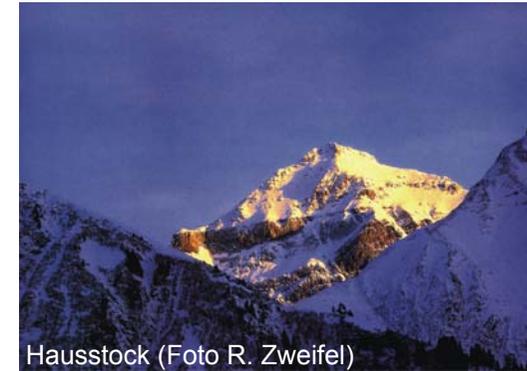
Lochsite:

- 1) Flysch
- 2) Lochsitenkalk
- 3) Überschiebungslinie
- 4) Grüner Verrucano
- 5) Roter Verrucano

## Glarner Hauptüberschiebung



Tschingelhörner (Foto J.M. Wittwer)



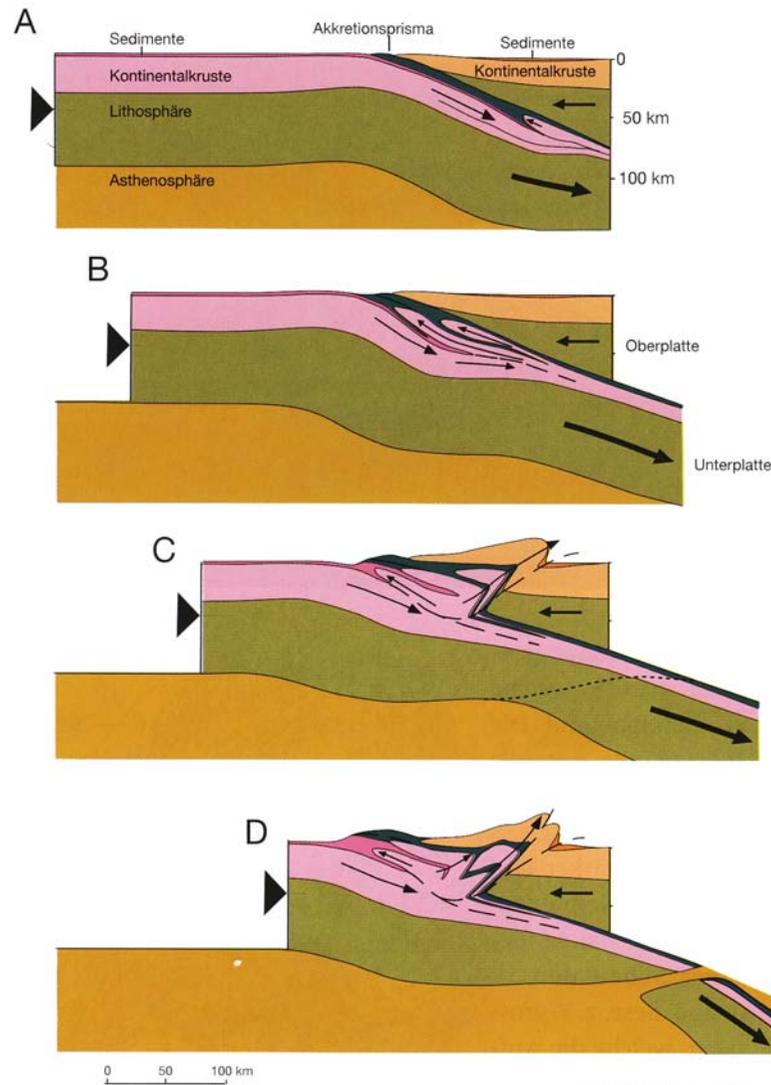
Hausstock (Foto R. Zweifel)



Kärpfbrücke (Foto M. Feldmann)

Am Segnespass (H.C. Escher)



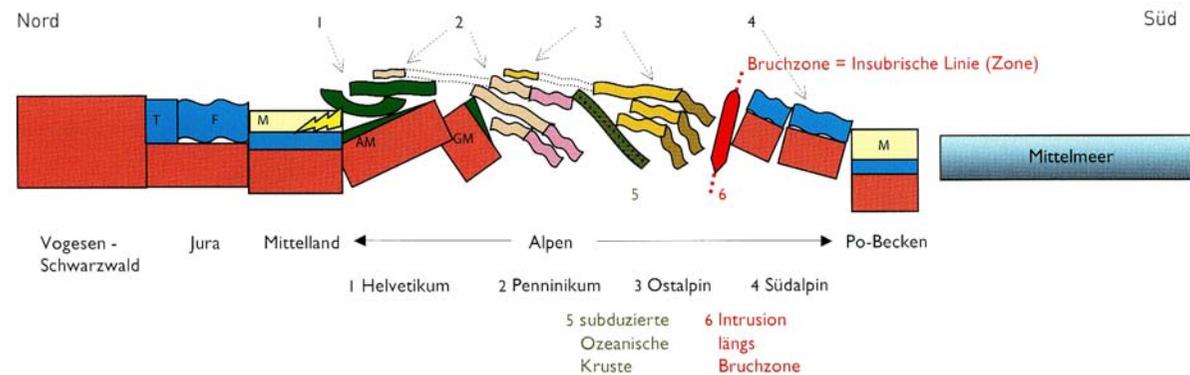
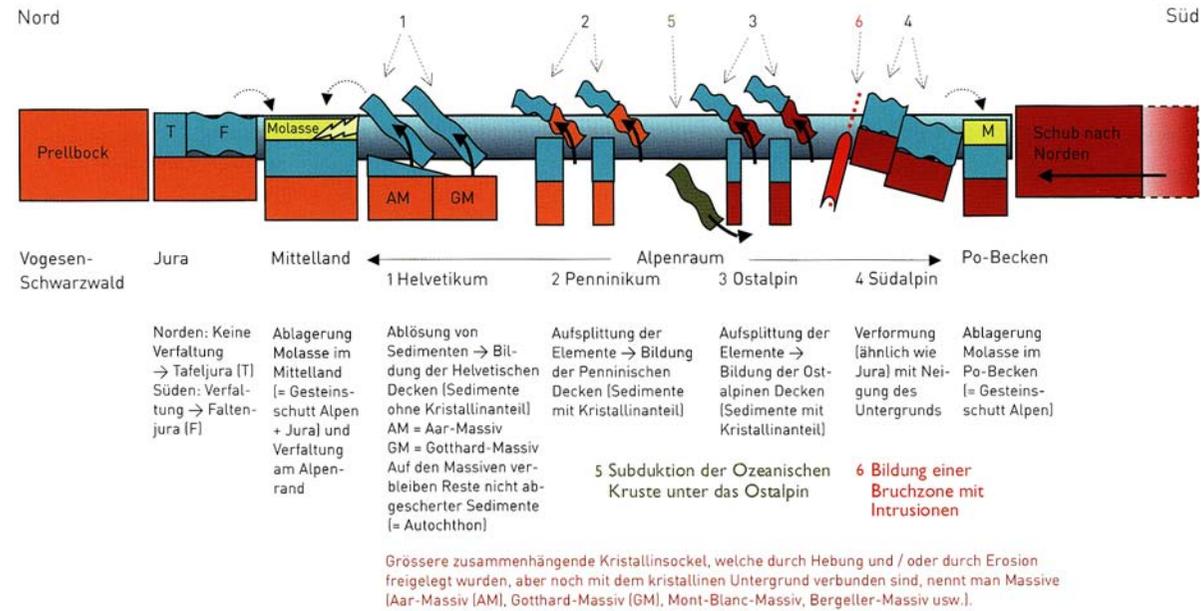


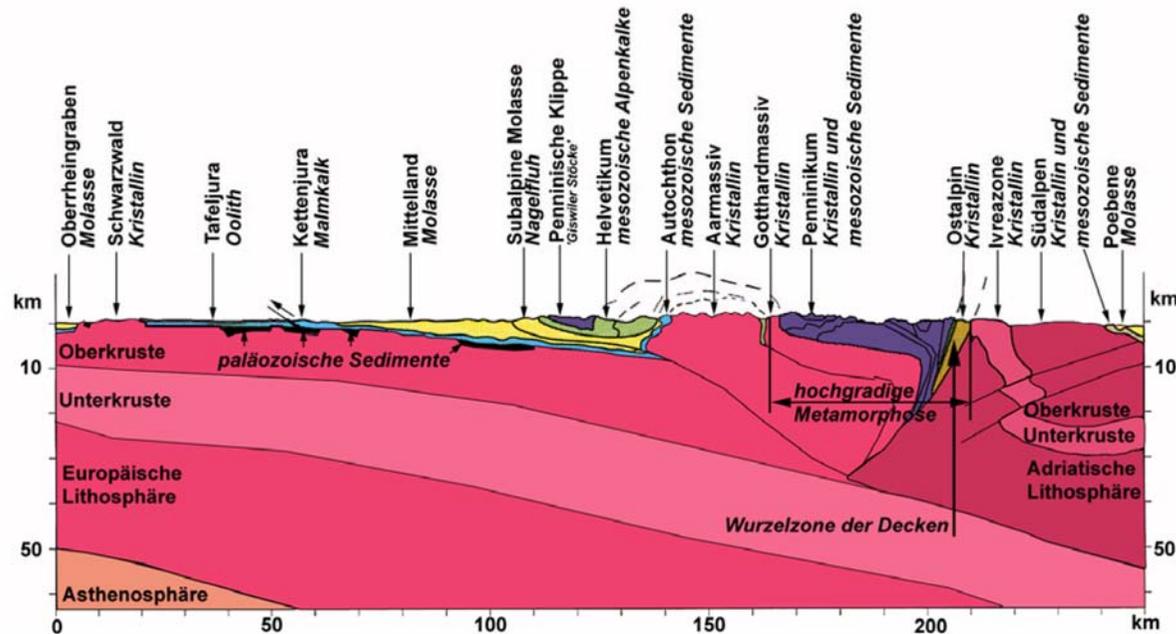
**A** Ausbildung einer ersten Deckenfalte in der Tiefe als Ausdruck einer Reaktion auf die schon vor dem Zeitabschnitt A aktive Subduktion. Ein flaschenhalsähnlicher Engpass bremst die weitere Abtauchbewegung plastisch gewordener Materie und zwingt sie zum teilweisen Wiederaufstieg in die zähflüssigen Bereiche des Akkretionsprismas.

**B** Nach einem weiteren Abtauchen der Unterplatte um ca. 50 km kommt es zu einer weiteren Verdickung der Kontinentalkruste: es kommt zur Ausbildung einer zweiten Decke im Bereich der zähflüssigen, aufsteigenden Materie mit sog. «Vorwärts-Faltung».

**C** Die ersten Rückfalten stehen für den Anfang der Hebungsphase und das Einklemmen der Oberplatte. In der Tiefe wird die abtauchende Platte stark gedehnt.

**D** Die Wurzelzone der abtauchenden Platte löst sich ab (sog. slab detachment). Die Rückfaltungen und Überschiebungen setzen sich fort. Allgemeine Hebungsbewegung.

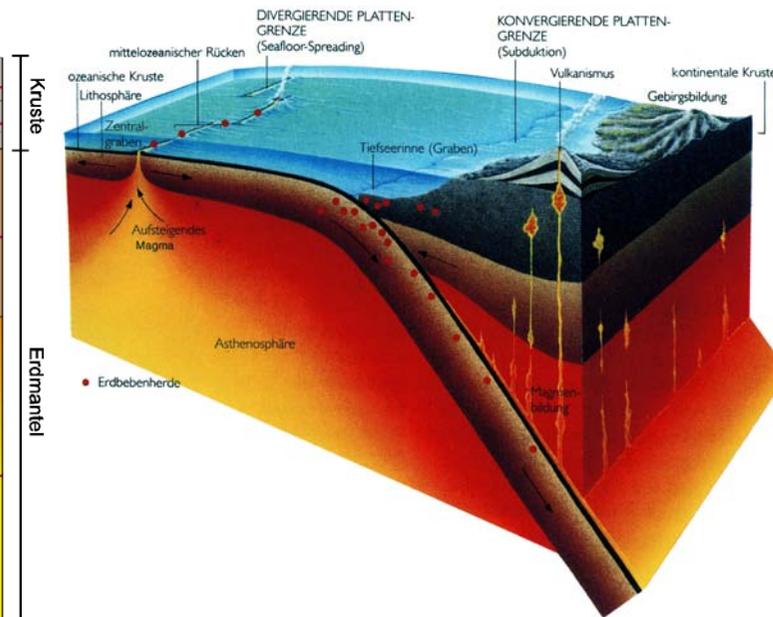
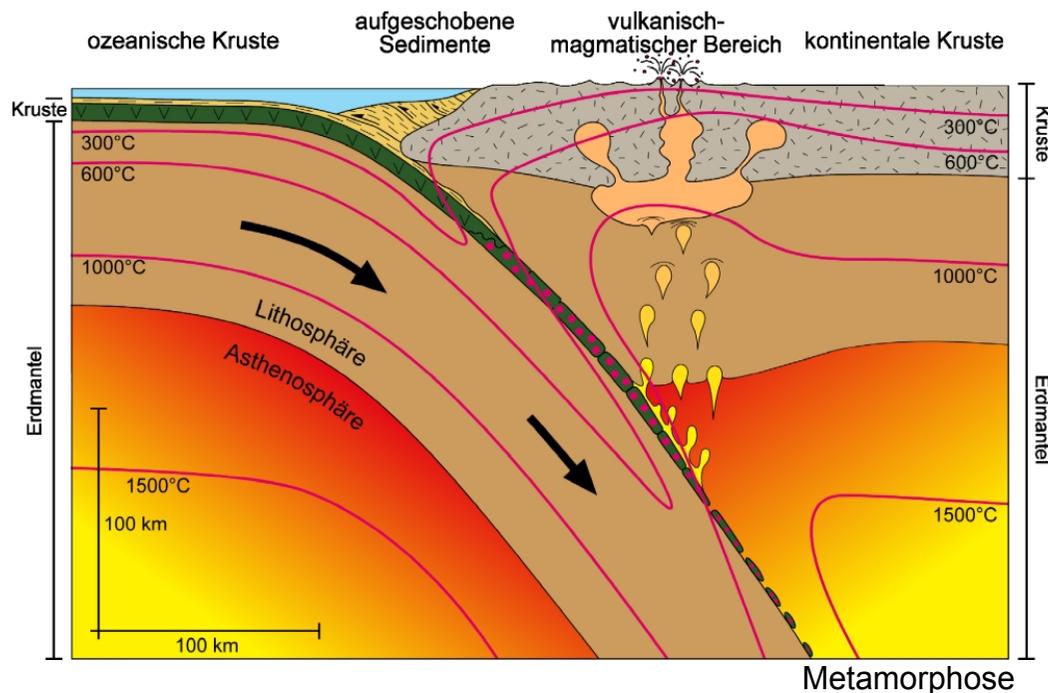




Die abtauchenden Gesteine geraten an der Nahtstelle des Afrikanischen und Europäischen Kontinentes unter hohen Druck und werden metamorphosiert (umgewandelt). In festem Zustand, ohne aufzuschmelzen, bilden sich neue Mineralien und Gesteine. Die Metamorphose nimmt mit zunehmender Entfernung von der Nahtstelle ab.

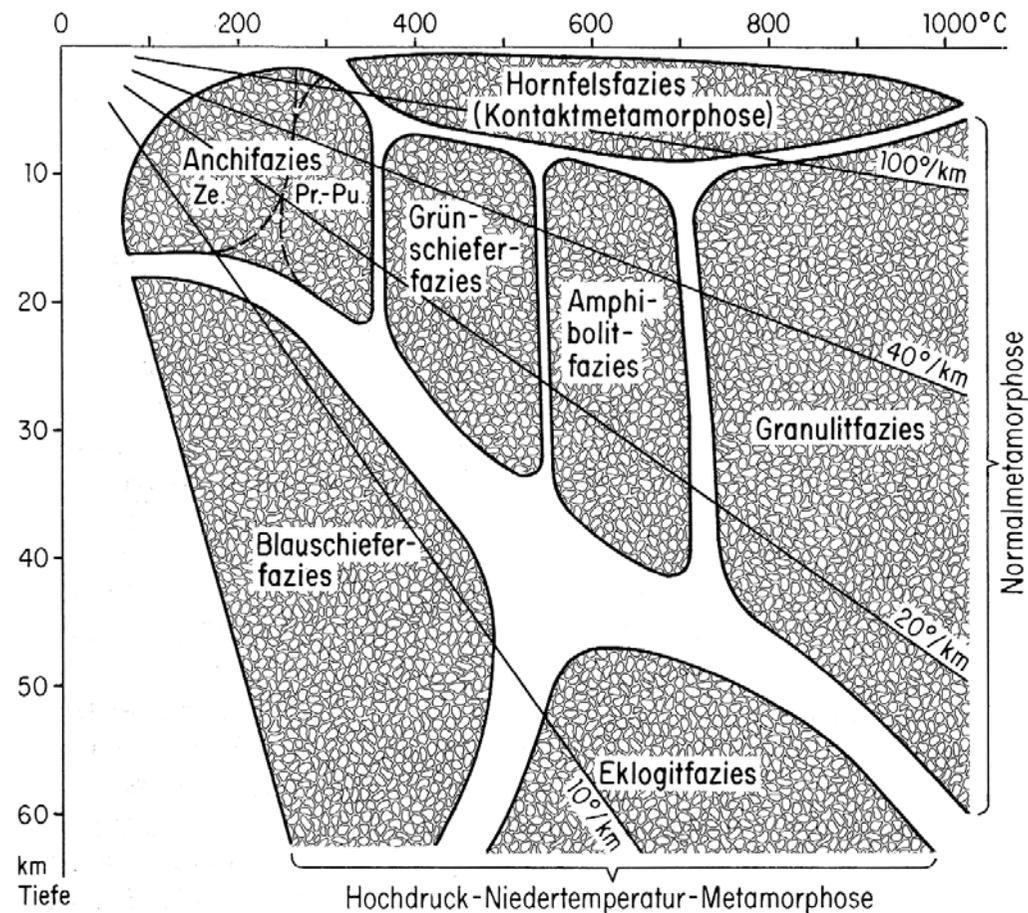
## Metamorphose

Anstatt dass die Wärme hinaufkommt, können die Gesteine auch zu ihr hinunter transportiert werden. In der Erdkruste nimmt die Temperatur von der Erdoberfläche gegen das Innere ständig zu und zwar durchschnittlich um  $1^{\circ}\text{C}$  pro 30 Meter. Dies ergibt eine Temperatur von  $33^{\circ}\text{C}$  pro Kilometer, d.h. in 10 Kilometer Tiefe ist es ca.  $300^{\circ}\text{C}$  warm. Werden die Gesteine nun in grössere Tiefen versenkt, z.B. an einer Subduktionszone (bis zu 50 km), gelangen sie unter Bedingungen erhöhter Temperaturen. Mit zunehmender Tiefe nimmt neben der Temperatur auch der Druck zu. Pro 10 Meter nimmt er um ca. 2.8 Bar zu. In 10 km Tiefe herrscht demnach ein Gesteinsdruck von etwa 2800 Bar oder 2.8 kbar (bei einer Temperatur von etwa  $300^{\circ}\text{C}$ ). Entsprechend lassen sich die ungefähren Druck-Temperaturbedingungen für jede Tiefe berechnen.



## Metamorphe Fazies

Viele Mineralien können nur unter bestimmten Druck-Temperatur-Bedingungen gebildet werden. Solche Mineralien geben dadurch einen Hinweis auf ihre Bildungsbedingungen während des Wachstums. Aufgrund von Gesteinen mit einer charakteristischen Mineralzusammensetzung lassen sich bestimmte Druck-Temperaturfelder gegeneinander abgrenzen. Gesteine, die unter solch gleichen Bedingungen gebildet werden, bezeichnet man als metamorphe Fazies.



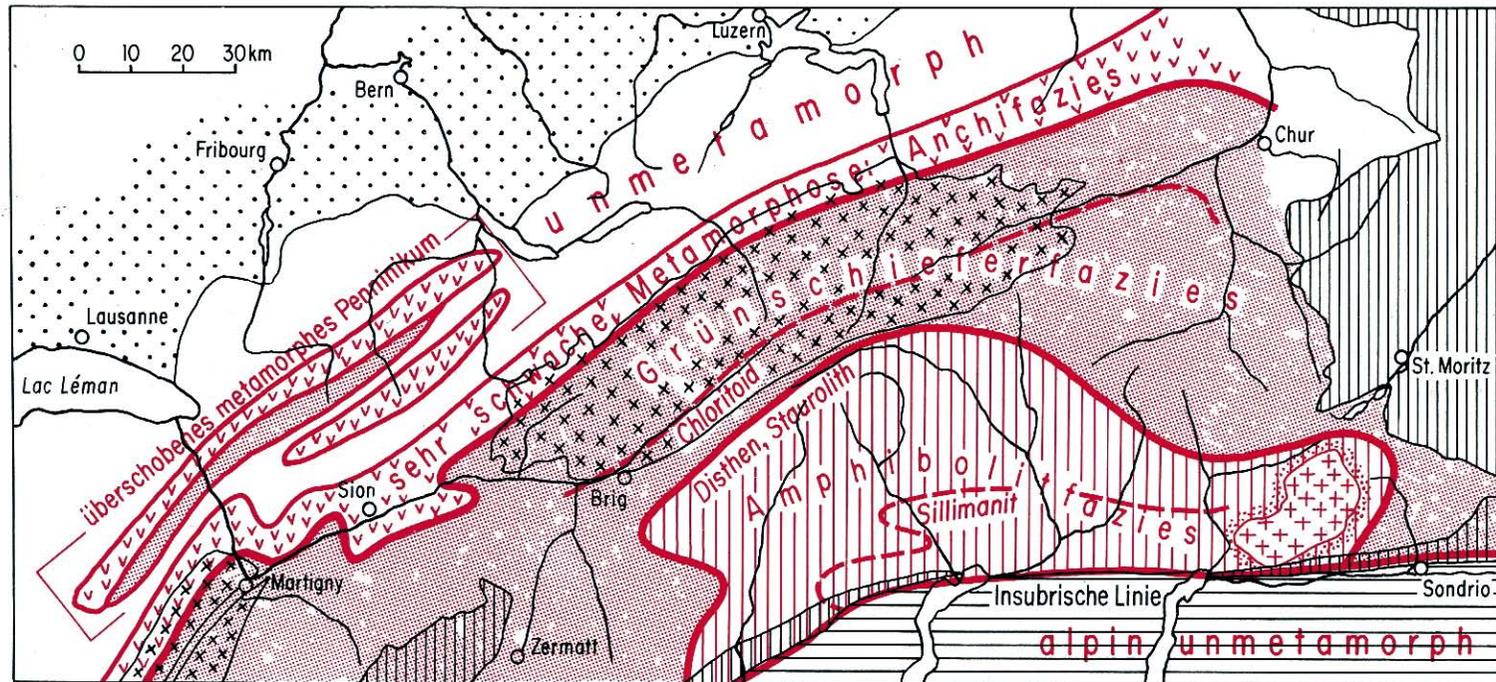
## Herkunft der metamorphen Gesteine

Jedes Gestein, das unter hohe Druck-Temperaturbedingungen gelangt, wird metamorphosiert, unabhängig davon, ob es ursprünglich ein magmatisches, sedimentäres oder metamorphes war.

Häufig kann aber der ursprüngliche Gesteinstyp erkannt werden, da der Gesamtchemismus eines Gesteins bei der Umwandlung nicht verändert wird und für gewisse magmatische und Sedimentgesteine charakteristisch ist.

### DIE WICHTIGSTEN METAMORPHEN GESTEINE

		Ursprüngliche Sedimentgesteine					
		Kalke/Dolomite	Sandsteine	Tonsteine			
Intensität der Metamorphose	schwach	Albit-Sericit-Chlorit-schiefer	Grünschiefer Albit-Chlorit-Epidot-Aktinolith-schiefer	Talk-Serpentin-schiefer	Calcit-Dolomit-Talk-Calcit-Phlogopit-Marmore	Sericit-Chlorit-Quarzite	Tonschiefer Albit-Sericit-Chlorit-schiefer
	mittel	Zweiglimmerschiefer und gneise	Amphibolite	Talkschiefer Serpentine Tremolit-serpentine	Calcit-Dolomit-Tremolit-Calcit-Diopsid-Calcit-Phlogopit-Marmore	Muskwit-Biotit-Quarzite	Zweiglimmer-Staurolith-Disthen-Granat-schiefer und -gneise
	stark	Biotit-Kalifeldspat-(Pyroxen-) gneise	Amphibolite Granat-Amphibolite Eklogite	Olivinfels Spinell-Olivin-Fels	Calcit-Dolomit-Olivin-Calcit-Kalifeldspat-Marmore	Kalifeldspat-Biotit-Quarzite	Kalifeldspat-Sillimanit-Disthen-Granat-Gneise
		Granite	Gabbros/Basalte	Peridotite	Ursprüngliche Eruptivgesteine		



 Molasse

 Helvetikum und Penninikum

 Ostalpin

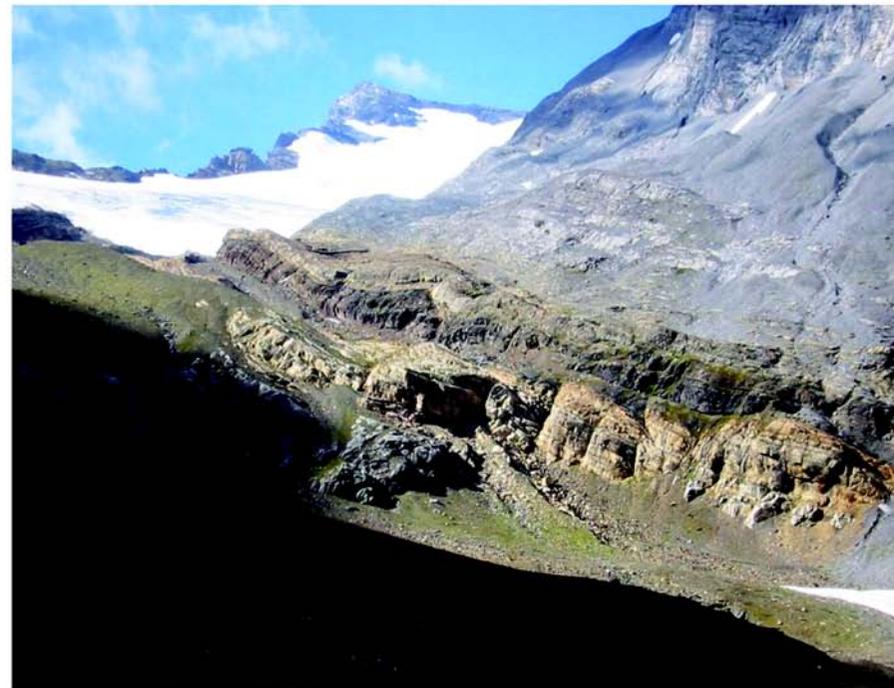
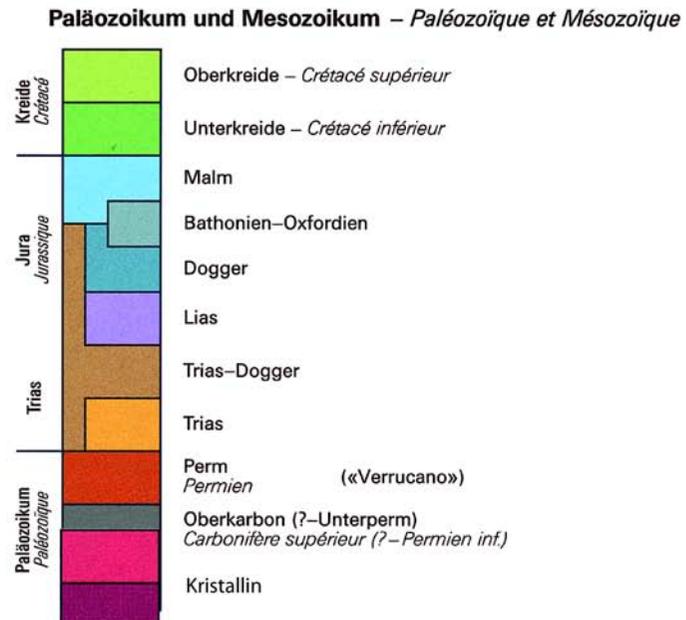
 Südalpin

 Aar- und Zentralmassive

 Bergellergranit mit Kontaktmetamorphose

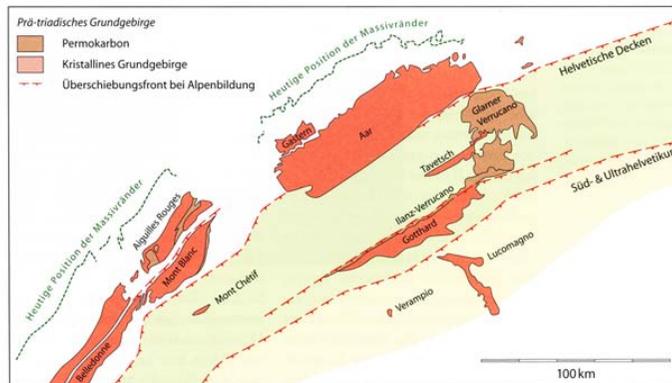
 Chloritoid Grenzen des Auftretens wichtiger Minerale (s. Text)

## Die Sedimentbedeckung auf dem kristallinen Grundgebirge

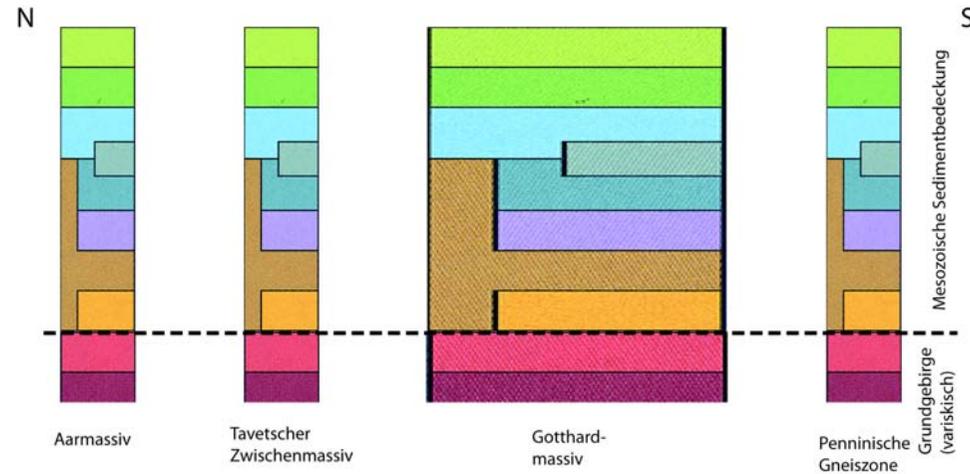


Mesozoische Sedimentabfolge (rechts) auf dem Kristallin des Aarmassivs (links) in der Tödiregion. Die beige Schichten sind Trias-Dolomite, darüberliegend die dunklen Sedimente des unteren und mittleren Juras, gefolgt von den helleren grauen Kalken des oberen Juras und der Kreide.

# Schematische Entwicklung der Grundgebirge und ihrer Sedimentbedeckungen während der Alpenbildung



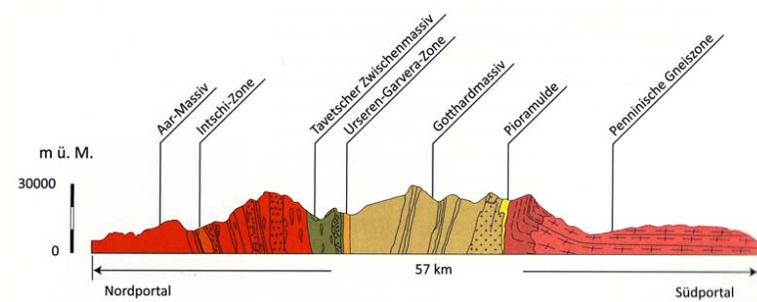
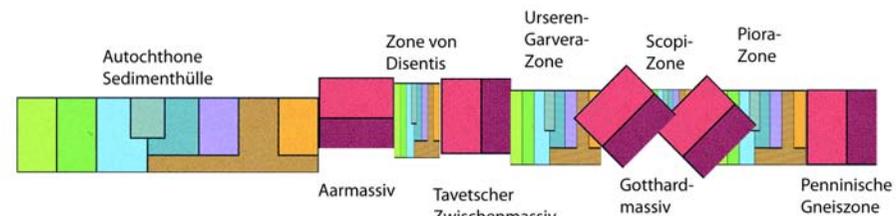
Vor-alpine Position der Grundgebirge



## Alpine Gebirgsbildung



Heutige Position der Grundgebirge



## Metamorphe Gesteine und ihre Ausgangsprodukte



Quartenschiefer am Kerenzerberg (GL), unmetamorph



Blick von der Lukmanier-Passhöhe auf die östlich gelegene Scopi-Zone. Unten befinden sich die helleren, triassischen Quartenschiefer (metamorph), darüber die dunklen, ehemals tonig-kalkigen und sandigen Lias Formationen.



## Metamorphe Gesteine und ihre Ausgangsprodukte



Rötidolomit (Rauhacke)

Ein auffälliges, gelb-rötlich anwitterndes Band des triassischen Röti-Dolomites (unmetamorph) trennt das darunter liegende Kristallin des Aarmassivs von den darüber liegenden grauen Sedimenten des Juras.



Triassischer „Zucker“-Dolomit (metamorph) aus der Sedimentbedeckung des Gotthardmassivs an einem Strassen-aufschluss südlich unterhalb des Lukmanierpasses.

## Metamorphe Gesteine und ihre Ausgangsprodukte



Im Frühen und zu Beginn des Mittleren Jura entstanden in den flachen Küstenmeeren neben fossilreichen Kalken die „Posidonienschiefer“ (unmetamorph).



Unterjurassische metamorphe Sedimente im Vallone di Casaccia, mit Granaten, Styloolithen (weisse gekurvte Linie) und einem Belemniten (im Zentrum).

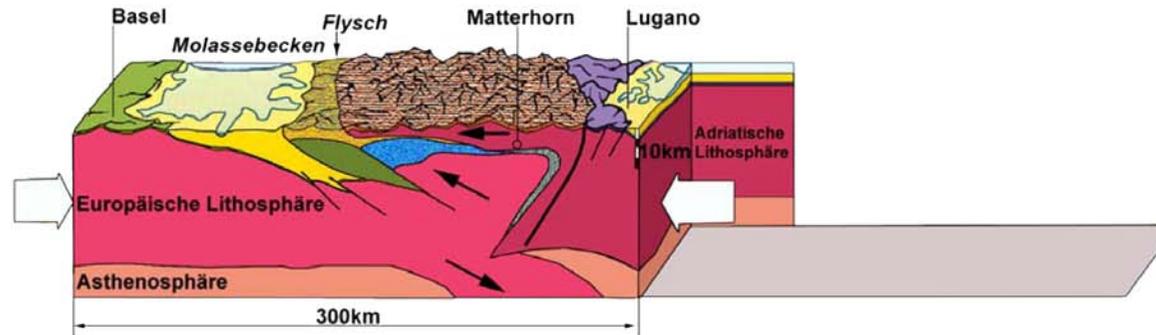
## Metamorphe Gesteine und ihre Ausgangsprodukte



Opalinuston (unmetamorph)

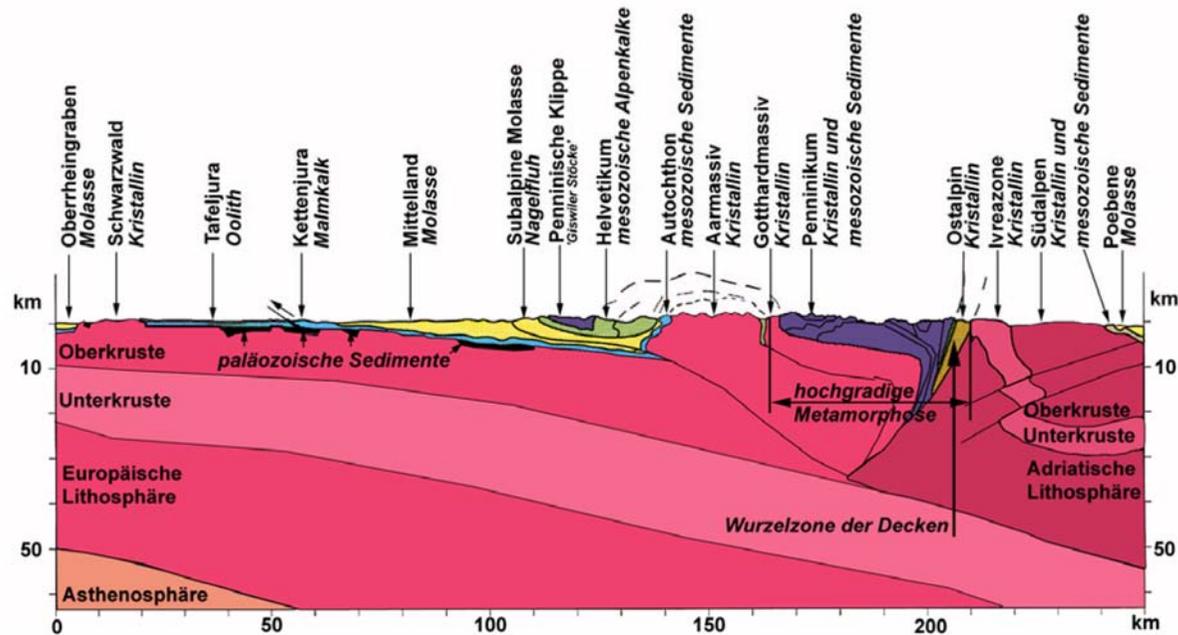


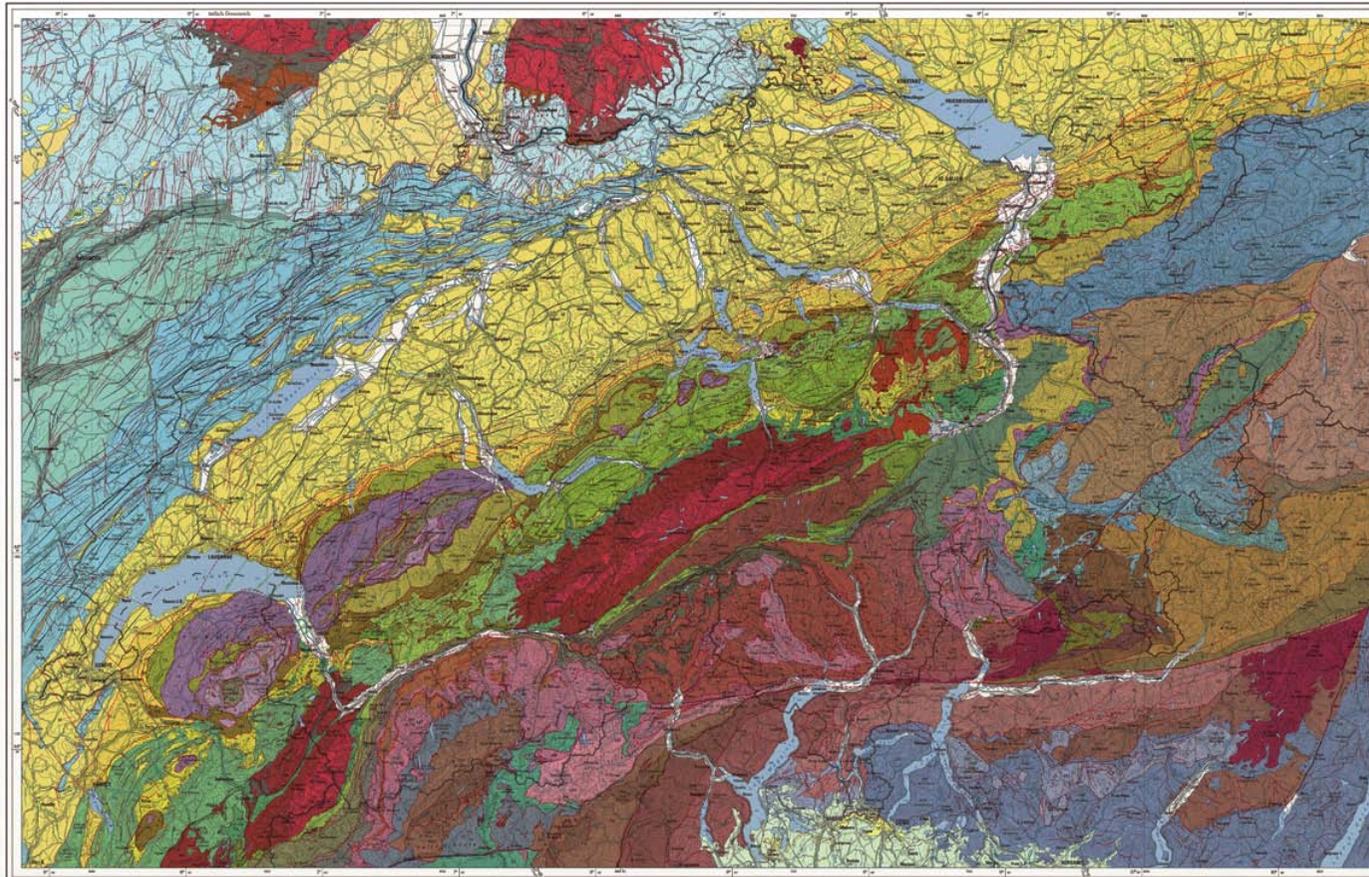
Bei Frodamera finden sich metamorphe Gesteine der Piora-Zone mit makroskopisch gut ausgebildeten Mineralen, u.a. grobkristalline Hornblende-Granat-Schiefer mit ausgeprägten Hornblendegarben (Bild), Granat-Glimmerschiefer, Staurolithschiefer und Disthenknuern.



Die Schweiz im Neogen (~20 Millionen Jahre vor heute)

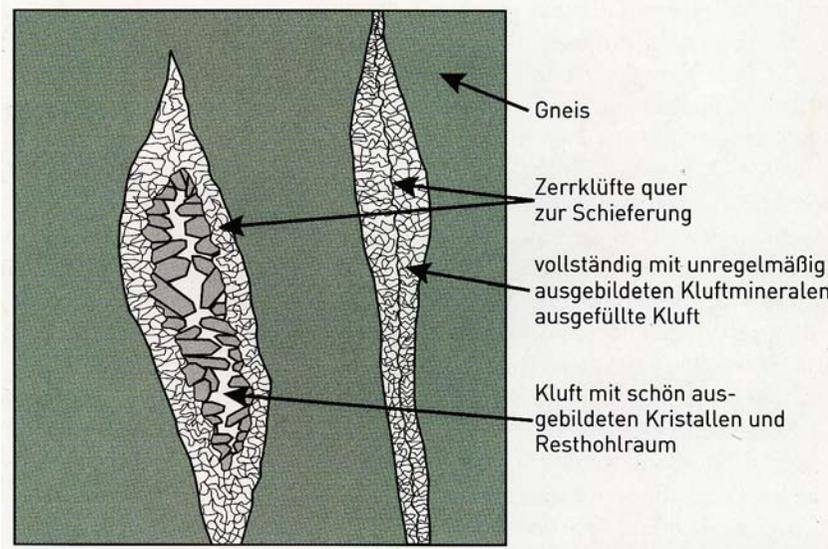
Quelle (bearbeitet): Burri, Schweiz, S.11, Lehrmittelverlag des Kantons Zürich





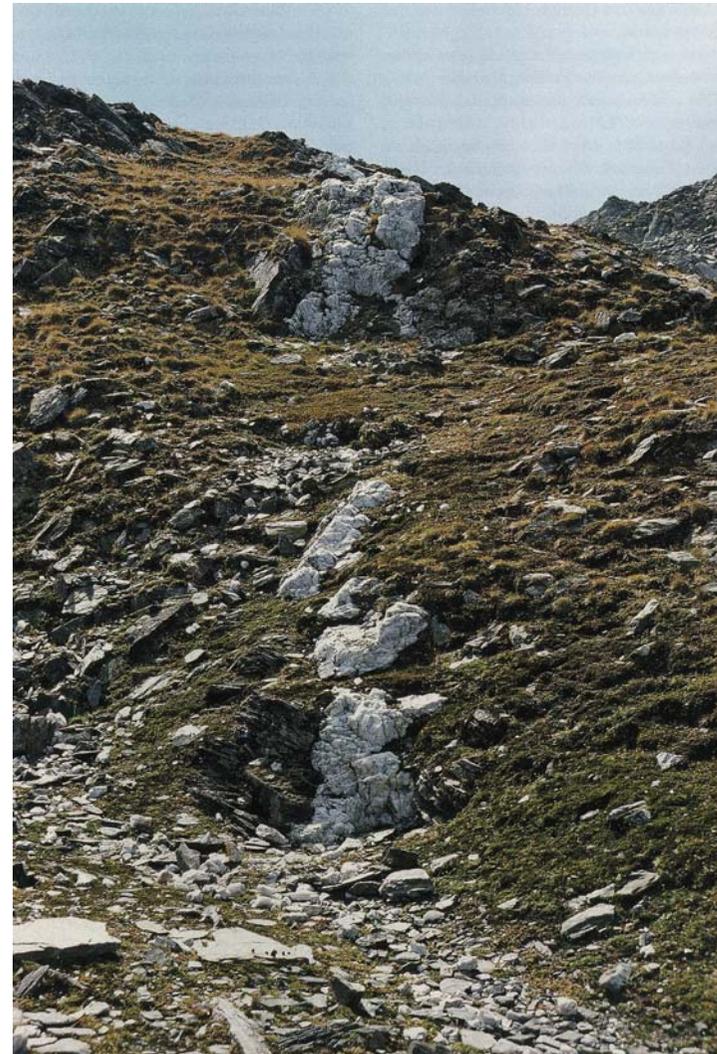
Tektonische Karte der Schweiz

Die grossen Kristallingebiete wie Mont Blanc oder Aar-Massiv, die früher unter kilometermächtigen Gesteinen begraben waren, werden nach und nach durch die Erosion von ihrer Auflast befreit. Während der jüngsten Hebungsphase (15 - 0 Ma) verfüllten sich durch Druckentlastung und Ausdehnung entstandene Zerrklüfte mit heissen wässrigen, mineralisierten Lösungen.



Schematische Darstellung einer „alpinen Kluft“.

Während der langsamen Migration und Abkühlung bilden sich durch die an gelöstem Silizium reichen Wässer Quarzkristalle in den Klüften, welche als weisse Adern die Gesteine durchziehen. Mit Bergkristall verheilte Wunden: ein schönes Übertünchen in einem berstenden Gebäude!



„Alpine Kluft“ in Form eines mächtigen Quarzanges (Österreichische Alpen).

## Alpine Zerrklüfte



Alpine Zerrklüft im Grimsel-Granodiorit.  
Breite des Lochs 1.5 m.



Alpine Zerrklüft im Bündnerschiefer (Airolo, TI).  
Breite des Lochs 0.6 m.

Bergkristalle „reparieren“ die Klüfte der Kristallinmassive.



Grosse Quarzkluft unter Naturschutz, 1.8 km im Berginnern.  
Werkstollen der Kraftwerke Oberhasli, Gersteneck, Grimsel (BE).  
Grösse des Gwindels an der Decke 10 cm.



Diese länglichen Quarzkristalle sind etwa 10 Millionen Jahre alt und stammen aus der Periode der Heraushebung der Kristallinmassive. Die hier gezeigte Stufe stammt aus dem Gotthard-Massiv (Val Bedretto, Tessin)

## Weitere Kluftminerale



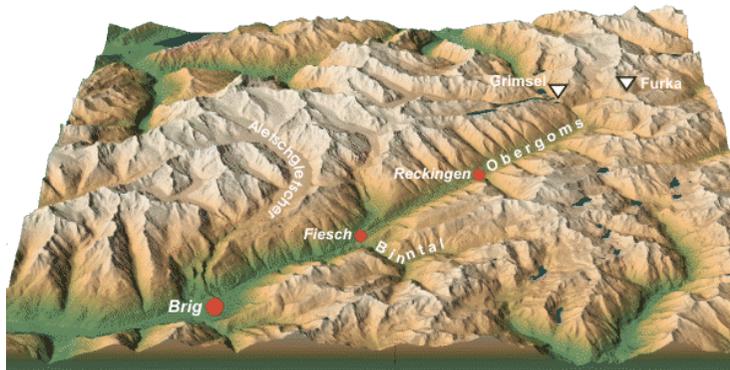
Brookit, Elm



Eisenrose (Hämatit), Fiesch

Je nach Zusammensetzung des Muttergesteins und der zirkulierenden Lösungen kristallisieren in den alpinen Zerrklüften zahlreiche Mineralvarietäten.

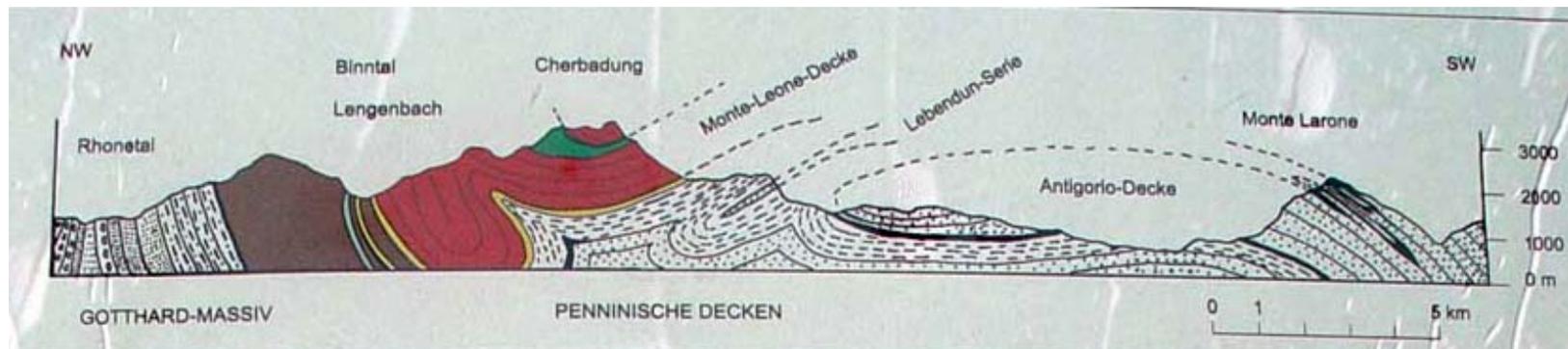
## Mineralienfundstelle Lengenbach - Binntal

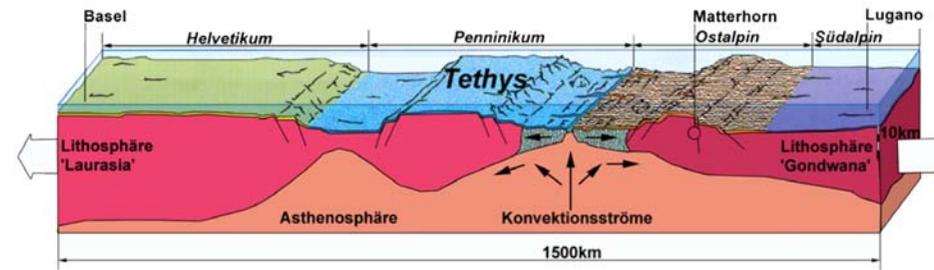


Im Aufschluss Lengenbach findet sich eine völlig einmalige Konzentration seltener Sulfosalzmineralien. Über 25 Mineralien sind hier als neue Arten zum ersten Mal gefunden worden. Die Entstehung der Lagerstätte Lengenbach scheint an eine Blei-Zink-Vererzung im Triasdolomit und eine Kupfer-Arsen-Vererzung im Monte-Leone-Gneis gebunden zu sein. Die berühmten Sulfosalze im Dolomit deutet man als Reaktionsprodukte des vorhandenen Galenits (Bleierz) mit zugeführtem Arsen, Schwefel und andern Bestandteilen aus dem Kristallin der Monte-Leone-Decke.



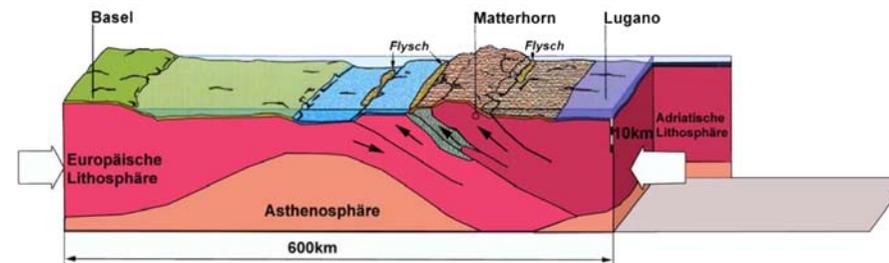
Sartorit (Binnit)  $PbAs_2S_4$





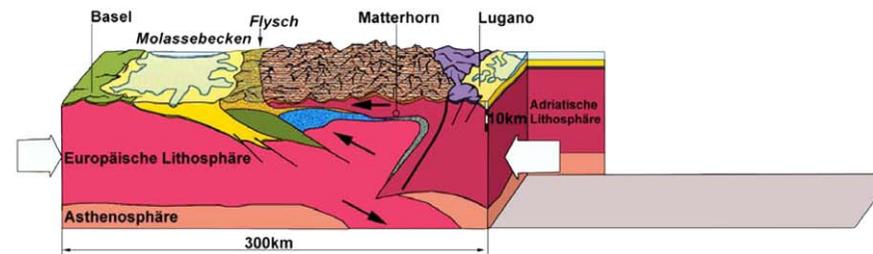
Die Schweiz in der Jurazeit (205-135 Millionen Jahre vor heute)

Quelle (bearbeitet): Burri, Schweiz, S.11, Lehrmittelverlag des Kantons Zürich



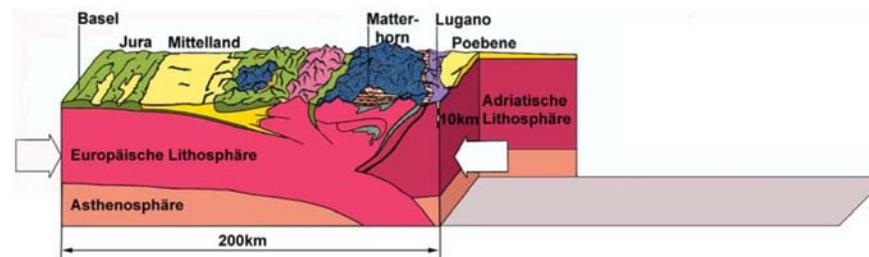
Die Schweiz Ende Kreidezeit (~90 Millionen Jahre vor heute)

Quelle (bearbeitet): Burri, Schweiz, S.11, Lehrmittelverlag des Kantons Zürich



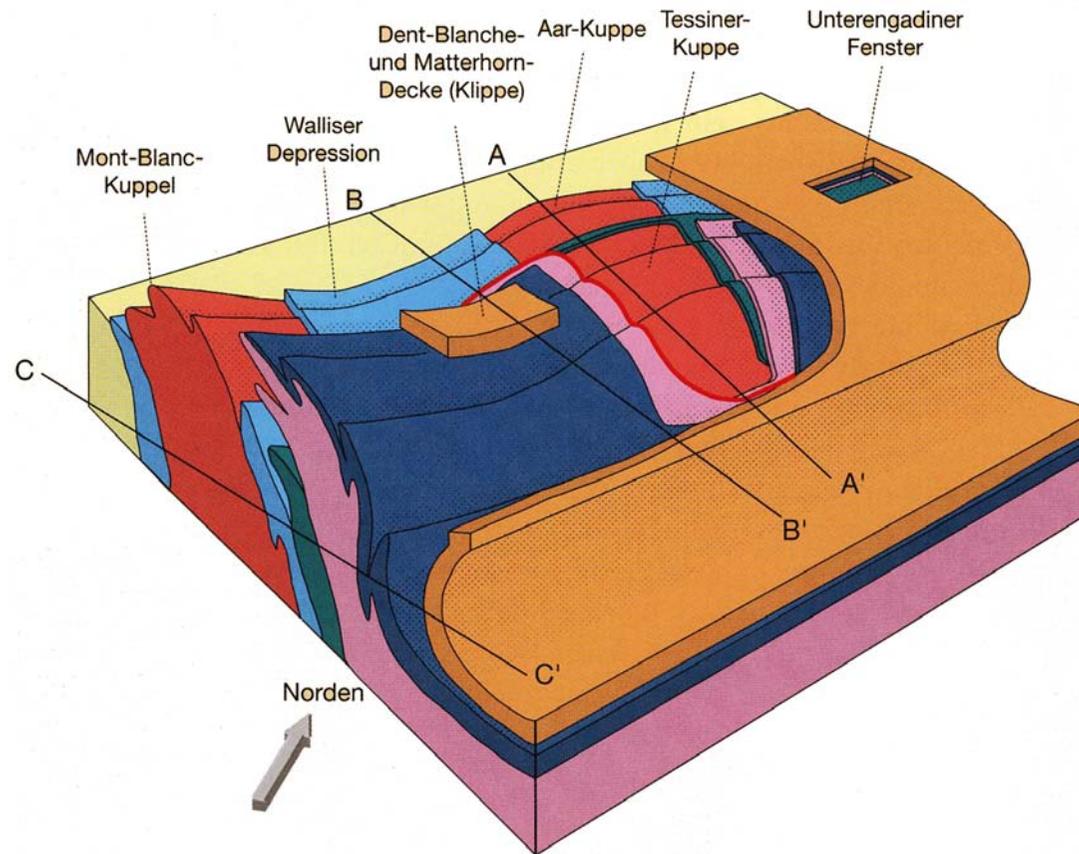
Die Schweiz im Neogen (~20 Millionen Jahre vor heute)

Quelle (bearbeitet): Burri, Schweiz, S.11, Lehrmittelverlag des Kantons Zürich



Die Schweiz zu Beginn des Quartär (~1,5 Millionen Jahre vor heute)

Quelle (bearbeitet): Burri, Schweiz, S.11, Lehrmittelverlag des Kantons Zürich



- Ostalpinische Decken (apulischer Kontinent, aus afrikanischem Ursprung)
- Obere penninische Decken (Reste des Piemont-Ozeans)
- Mittlere penninische Decken (Briançonnais-Mikrokontinent)
- Untere sedimentäre penninische Decken (Reste des Walliser Ozeans)
- Helvetische Decken (Rand des europäischen Meeres)
- Kristallin-Massive und untere penninische Decken (europäischer Kontinent)
- Simplicon-Störung
- A-A', B-B', C-C' Verlauf der geologischen Profile

Dreidimensionale und schematische Ansicht des Alpengebäudes gegen Nordenosten. Die Decken haben sich übereinander gestapelt, der Hebungsprozess der Alpen hat begonnen. Ab jetzt werden sie abgetragen, Richtung Norden, das Molassebecken beginnt sich zu füllen (aus Marthaler, 2005)