

volks-
hochschule
beider basel



Plattentektonik – so tickt die Erde
Renée Heilbronner

1

Zum Einstieg in die Vorlesung das **ikonische Bild** der Plattentektonik: die Westküste Afrikas und die Ostküste Südamerikas, welche genau aufeinander passen, aber durch den dazwischen liegenden atlantischen Ozean Tausende von Kilometern voneinander getrennt sind. Wer käme da nicht auf die Idee zu vermuten, dass die beiden Kontinente einmal einen einzigen Landmasse gebildet hatten, welche - irgendwie, im Lauf der Zeit - auseinander gerissen wurde.

volks-
hochschule
beider basel

Inhalt der Vorlesung

"Die Vorlesung beginnt in der Tektonikarena Sardona, wo sich vor 100 Jahren der Geologe Albert Heim die Frage stellte, was die Ursache sein könnte für die kolossale Krustenverkürzung, welche an der Glarner Hauptüberschiebung ablesbar ist."

"Nach einer Einführung in die Theorie der Plattentektonik wendet sich der Kurs den aktiven Plattengrenzen zu. Anhand von ausgewählten Beispielen werden verschiedene plattentektonischen Prozesse vorgestellt ... und schliesslich wird auch Albert Heims Frage beantwortet."

2

volks-
hochschule
beider basel

Inhalt der Vorlesung

- 1 Einstieg: die Glarner Hauptüberschiebung
Stand der Geologie vor der Plattentektonik
- 2 Plattentektonik – das neue Paradigma
Plattengrenzen und -bewegungen
- 3 Strukturen und Prozesse an Plattengrenzen
Rundgang um die Eurasische Platte
- 4 Zeitreise durch den Wilson Zyklus
Teil 1: vom Rifting bis Subduktionen
- 5 Teil 2: vulkanische Inselbögen bis Gebirge
Die Alpen im Licht der Plattentektonik

dazwischen eingestreut:
Info zu geophysikalischen Prozesse und Methoden

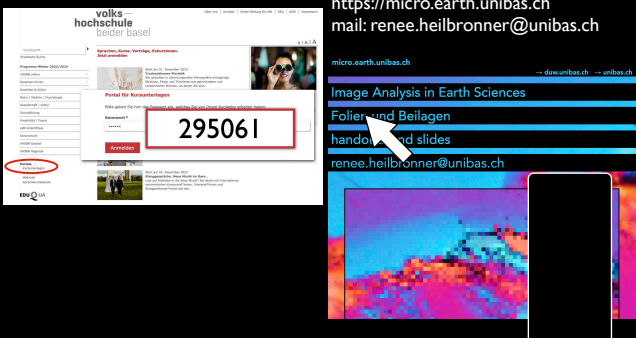
3

volks-
hochschule
beider basel

... und die Unterlagen ?

<https://www.vhsbb.ch/>

später auch hier:
<https://micro.earth.unibas.ch>
mail: renee.heilbronner@unibas.ch



4

Hier finden Sie die **Kursunterlagen**. Es handelt sich dabei um die Kopie von allen Dias, die ich Ihnen zeige, zusammen mit einem Begleittext (dieser ist gelegentlich nicht sauber ausformuliert, manchmal auch auf englisch, ich hoffe Sie verstehen ihn trotzdem).

Ich gebe mir Mühe, die Kursunterlagen vor der Vorlesung aufzuladen. Das wird erfahrungsgemäss oft recht knapp. Das kommt davon her, dass ich die Unterlagen für jede Vorlesung neu mache, sie sind also taufisch - ... und leider nicht immer ganz druckfehlerfrei. Nach der Vorlesung korrigiere ich die Unterlagen und stelle die korrigierte Version ins Netz. Ich würde also mit dem Ausdrucken bis nach der Vorlesung warten....

Dieser Kurs hat eine längliche Vorgeschichte. Von

2009 bis 2017 hiess sie "Tatort Plattengrenze", 2019 und 2021 "Faszination Plattentektonik". Sie finden die Unterlagen zu all diesen Vorlesungen auf meiner Website bei der Universität Basel (benützen Sie den "VHSBB" Link). Allerdings handelt es sich dabei lediglich um die gezeigten Dias – ohne Begleittext. Nach Abschluss dieser Vorlesung werden Sie auch diese Unterlagen auf der genannten Website finden. Übrigens finden Sie unter dem "UNIBAS" Link auch die Folien zu verschiedenen Vorlesungen, welche ich an der Universität Basel gehalten habe, unter anderen zu "System Erde I - Teil: Plattentektonik und Geophysik". Allerdings auch hier ohne Text.

5

Startpunkt Sardona UNESCO Welterbe

6

Die im Newsletter genannten **Natur-Welterbestätten** der "Champions League"
<https://whc.unesco.org/en/list/>

volks-
hochschule
beilder basel

Natural World Heritage

266 natural sites

Galapagos Inseln

Grand Canyon

Great Barrier Reef

Legend
Category of property
Cultural ● Natural ● Mixed
Property inscribed on the List of World Heritage In Danger
Cultural ● Natural ● Mixed

7

Die **UNESCO**, die Organisation für Bildung, Wissenschaft und Kultur der Vereinten Nationen, hat im Juli 2008 das Welterbe Sardona auf die Welterbeliste gesetzt mit der Begründung: «Die weltweit einzigartige Sichtbarkeit der Gebirgsbildung, die beispielhafte Erforschungsgeschichte sowie die andauernde Bedeutung für die geologische Forschung verdienen die **Aufnahme als Weltnaturerbe**.»
https://de.wikipedia.org/wiki/Welterbe_in_der_Schweiz
<https://ourheritage.ch/>
<https://unesco-sardona.ch/>

volks-
hochschule
beilder basel

UNESCO Natur-Welterbestätten

4 in der Schweiz

Alte Buchenwälder und Buchenurwälder der Karpaten und anderer Regionen Europas

Tektonikarena Sardona

Schweizer Alpen Jungfrau – Aletsch

Monte San Giorgio

<https://unesco-sardona.ch/>

die Glarner Hauptüberschiebung

Besichtigung des Tatorts

Geographische Lage der **Tektonikarena Sardona**:
eingehrahmt das Gebiet der Wanderung zum Einstieg

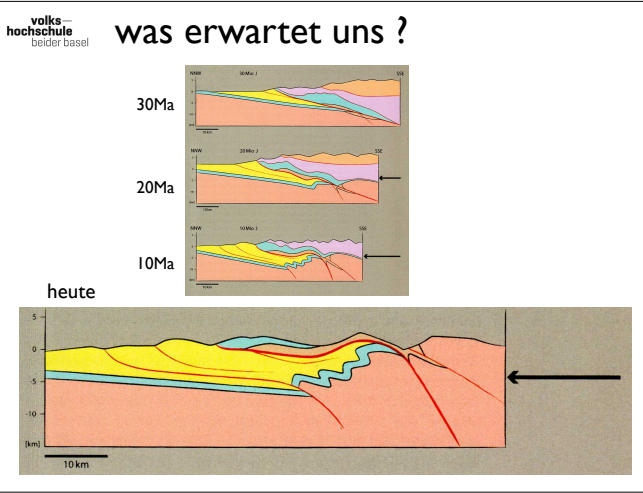


Geologische Karte des Gebietes
Blaue Linie (nicht besonders leicht zu sehen) =
Glarner Hauptüberschiebung



wir machen einen **Rundgang** und schauen uns an,
wie die Glarner Hauptüberschiebung im Gelände
aussieht, und zwar von zwei Aussichtspunkten aus.





12

Was uns erwartet, ist **eine gigantische Überschiebung**, welche in einem Zeitraum von 30 Ma **ältere Gesteine aus dem Süden, auf jüngere im Norden** gebracht hat.

Die Überschiebung ist heute nur deshalb zu sehen, weil sie aus der Tiefe emporgehoben und zu einem Gewölbe zusammengestaucht wurden. Dabei wurde ein Grossteil der überschobenen Gesteine erodiert, teilweise auch die Überschiebungsfläche selbst. Die zuoberst liegenden Decken, Ostalpin (ocker) und Pennikum (lila), sind im Gebiet der Tektonikarena Sardona komplett weg erodiert.



13

1. Halt: Blick nach Osten

der **Flimserstein** – was sieht die Geologin?

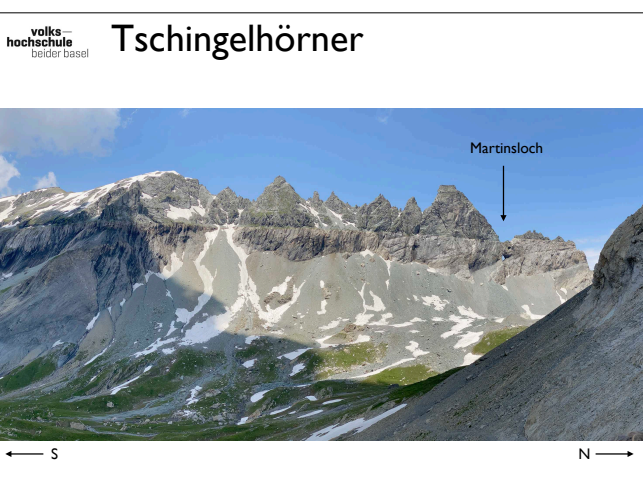
unten hell, oben ein dunkler Deckel, der scheint gewölbt, rechts nach S abtauchend, in der Mitte flach, links nach N (vordere Kulisse) schon wieder abtauchend. Berg hinten (Atlas) zeigt nicht NS schnitt, eher EW, der ist eher flach, also kein Abtauchen nach E (oderW).

Das Grüne unten im Vordergrund, ... das schauen wir gar nicht an.



14

jetzt, südlich am Atlas vorbei (wieder dunkel auf hell), dahinter sieht man ? Tschingelhörner, nein noch nicht, das sind Ausläufer des Piz Segnas, der hinter dem Atlas liegt, aber alles bestehend aus **Verrucano (dunkel, 250Ma, oben)**, welcher über **Sardona Flysch (hell 50Ma, unten)** liegt, bei den Ausläufern allerdings auf **Quintenkalk (auch hell 150Ma, unten)**. Was das bedeutet, später.



15

2. Halt: Blick nach Westen

die **Glarner Hauptüberschiebung** und das berühmte Martinsloch, die ganze Pracht, wieder sieht man das Gewölbe des oben liegenden Verrucano, nach rechts, also N, abtauchend, und mit ein bitzeli Fantasie auch nach links, also S... aber das könnte auch ein perspektivischer Effekt des schrägen Anschnitts sein.

beim Martinsloch



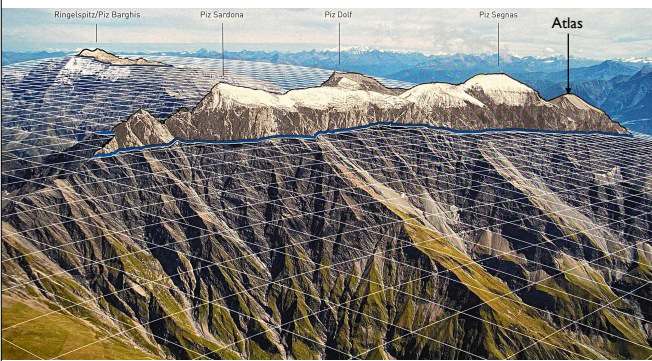
16

Geologische Einheiten und Strukturen erkennen ist nicht immer einfach, man muss "durch die Oberfläche hindurch schauen".

Strukturell wichtig hier, die scharfe Trennfläche zwischen Verrucano (oben, dunkel) und Quintnerkalk (unten, hell), es ist eine Überschiebung, keine Schichtfläche, bedeutet also keine Änderung der Ablagerung, sondern eine tektonisches Ereignis, welches jünger sein muss, als die jüngste aller darunter liegenden Schichten.

Und jetzt Achtung: Zuunterst am Hang sieht man Gehängeschutt, dieser liegt aber auf der Topografie, nicht etwa strukturell als Gesteinsschicht unter dem Quintnerkalk. Er ist also nicht "anstehend", ... und ist deshalb vom strukturgeologischen Standpunkt aus völlig uninteressant.

die Glarner Hauptüberschiebung



17

die Glarner Hauptüberschiebung ist **eine gewölbte Fläche**, nach N und S abtauchend: was oben liegt, nennt man das Hangende, was unten liegt, das Liegende der Überschiebung.

... von vorn und von hinten ...



von Osten gesehn
dextral
nach rechts gerichtet
im Uhrzeigersinn



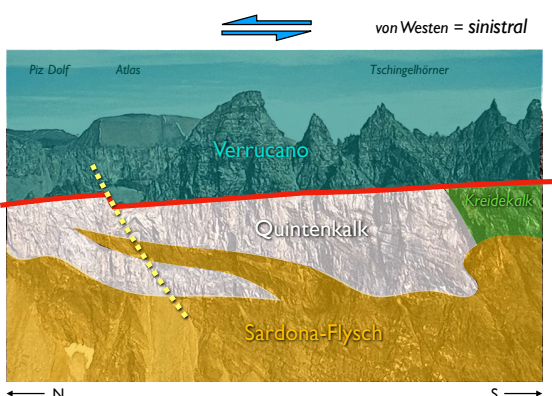
von Westen gesehn
sinistral
nach links gerichtet
gegen den Uhrzeigersinn

18

die sogenannte "**magische Linie**" ist eigentlich eine Fläche, genauer gesagt: sie ist die Ausbisslinie (Intersektion) der Topografie mit der Überschiebungsfläche.

Bei Scherbewegungen oder Überschiebungen spricht man von sinistralen oder dextralen Schersinn, dieser wird vom Standpunkt der Beobachtung aus definiert:
dextral: die Verschiebung ist rechtssinnig – die Bewegung im Uhrzeigersinn
sinistral: die Verschiebung ist linkssinnig – die Bewegung gegen den Uhrzeigersinn

mit geologischen Augen gesehen

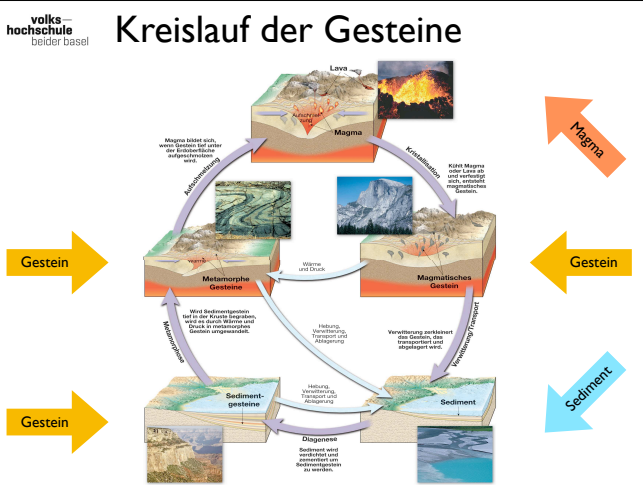


19

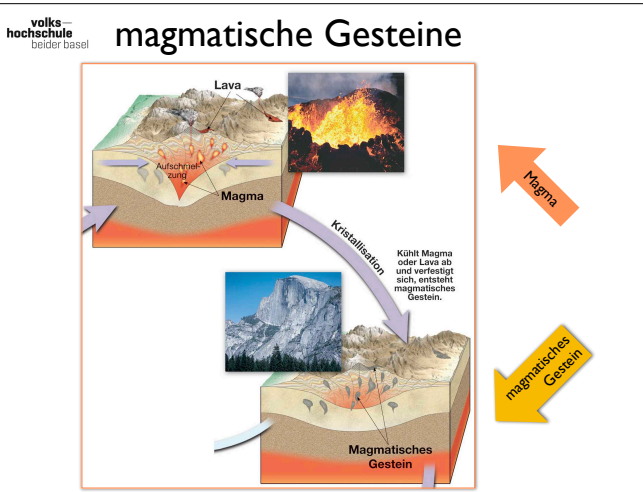
oben – im Hangenden – das Überschobene, in diesem Fall der **Verrucano**
darunter – im Liegenden – die überfahrenen Einheiten des Mesozoikum (z.Bsp. **Quinten**kalk), sowie Tertiär (z.Bsp. **Sardona**flysch)

Sardona-Flysch Quintnerkalk Verrucano was sind das genau für Gesteine ?

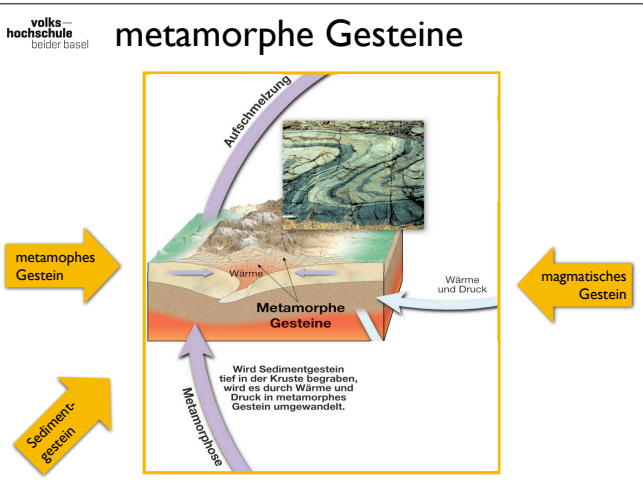
Es gibt drei fundamentale Gesteinstypen:
magmatische,
metamorphe und
Sedimentgesteine



Magmatische Gesteine (**Magmatite**,
Erstarrungsgesteine) entstehen aus Magma

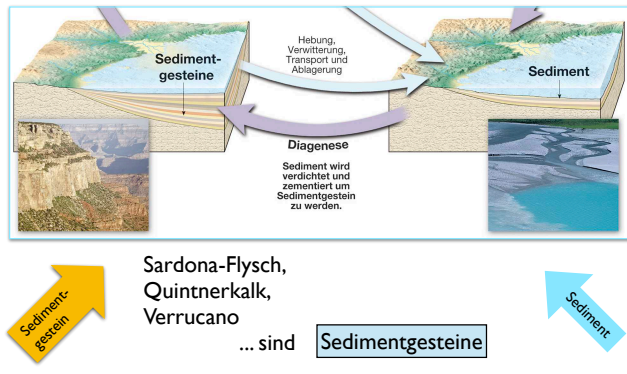


Metamorphe Gesteine (**Metamorphite**,
Umwandlungsgesteine) entstehen durch
Umwandlung (Rekristallisation) eines magmatischen
oder Sedimentgesteins unter Druck und Temperatur
und, in der Regel, Verformung. Im letzteren Fall
spricht man dann auch von Tektoniten.



Sedimentgesteine

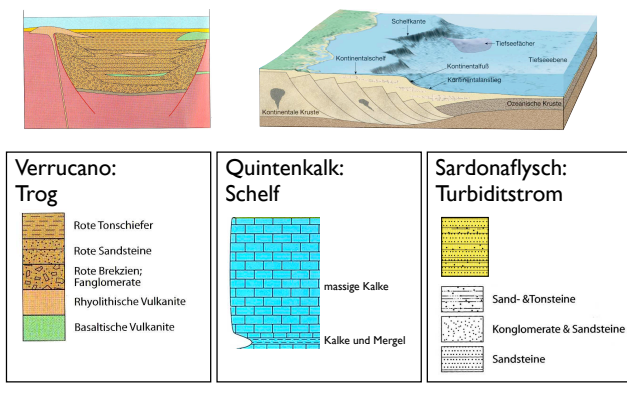
24



Sedimentgesteine entstehen aus Sedimenten. Dabei kann es sich um kontinentale oder marine Ablagerungen handeln, welche durch mechanische oder chemische Verwitterung entstanden sind. Im Zusammenhang mit der Glarner Hauptüberschiebung haben wir es im Wesentlichen nur mit Sedimentgesteinen zu tun, welche, trotz teilweise starker Deformation, nur einen relativ geringen Metamorphosegrad (Grünschiefer) erreicht haben.

sedimentäre Ablagerungsräume der helvetischen Decken

25



Der **Verrucano** besteht aus den Sedimenten, welche in einem Trog abgelagert wurden. Es handelt sich dabei um kontinentale Schüttungen (Sandsteine, Brekzien und Konglomerate), sowie um verschiedene Typen von Vulkaniten. Er wurde vor der Öffnung des Tethys-Ozeans, im **Perm**, auf dem Südkontinent abgelagert.

Der **Quintnerkalk** wurde auf dem europäischen Schelf abgelagert. Die Mächtigkeit der Schichten des Helvetikums nimmt von Norden nach Süden (in den Westalpen von Westen nach Osten) zu. Die Schichten des Ultrahelvetikums entstammen dem an das Helvetikum anschließenden, äußersten südlichen Schelfrand Europas. Er wurde zur Zeit der vollen Öffnung der Tethys, im **Jura**, auf dem Schelf des Nordkontinents abgelagert.

Der **Sardona-Flysch** entstammt dem Übergangsbereich vom südlichen Teil des helvetischen Schelfs zu grösserer Wassertiefe. Flysche sind Ablagerungen von Turbiditströmen (marine Sandsteine, Kalkarenite, Konglomerate, mit Tonsteinen), im Vorland eines aktiven Orogens (Piffner). Er wurde im Vorland des aktiven Orogens, im **Eozän**, abgelagert.

26

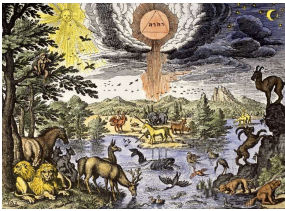
Altersbestimmungen?

relative Alter

Fossilien – Stratigrafie

radiometrische Methoden

wie alt ist die Erde ?



James Ussher
(1581 – 1656)



Datum der Schöpfung:

23 Oktober 4004 v. Chr.
julianischer Kalender

20. September 4004 v.Chr.
gregorianischer (heutiger) Kalender

27

Erzbischof James Ussher (1581 – 1656) berechnet Zeitpunkt der Schöpfung (gemäss Bibel):
6 pm on 22 October 4004 BC (= Vorabend), mit proleptic Julian calendar berechnet.
23 Oct 4004 BC (julianisch) = Sat, 20 Sept 4004 B.C. (gregorianisch, heutige)
<https://planetcalc.com/7083/>

relative Alter von Gesteinen

"De solido intra solidum" (1669)

- Superpositionsprinzip:
"Wenn ein Sediment (im Wasser) abgelagert wird, liegt darunter eine bereits verfestigte Schicht, welche das Sediment auffängt."
⇒ die Altersabfolge geht stets von unten (älter) nach oben (jünger).
- Prinzip der horizontalen Ablagerung
- Prinzip der Horizontbeständigkeit
- Überschneidungskriterien:
"Wenn eine Schicht schräg steht oder von einem Bruch durchschlagen wird, dann erfolgt die Schrägstellung oder die Bruch nach der Bildung der Schicht."
⇒ Deformation ist stets jünger als die jüngste der deformierten Schichten.



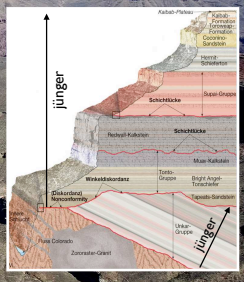
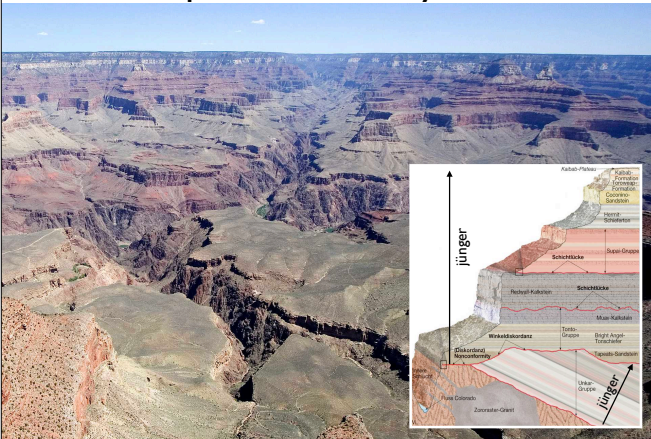
Nicolaus Steno
(1638-1686)



28

Nicolaus Steno (1638 – 1686), von Wilhelm von Humboldt als „Vater der Geologie“ bezeichnet. (Wikipedia)
Prinzip (1) gilt streng nur für Sedimente, Prinzip (4) kann auch ganz allgemein für alle Gesteinstypen formuliert werden.

Beispiel Grand Canyon

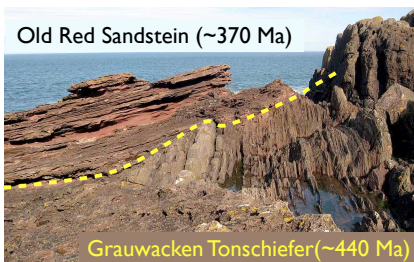


29

flachliegende Schichten mit verschiedenen **Diskordanzen**:
- Schichtlücken, wo Ablagerungen fehlen
- Winkeldiskordanzen, wo eine tektonische Aktivität vorausgegangen ist

uniformitarianism Gleichförmigkeitsprinzip

Old Red Sandstein (~370 Ma)



Siccar Point Schottland



James Hutton
(1726 - 1797)

"Theory of the Earth" (1785)

"... we find no vestige of a beginning, no prospect of an end..."

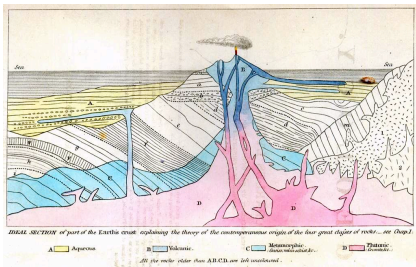
30

James Hutton (1726 – 1797) ist Begründer der Geochronologie, er erkennt, dass geol. Ereignisse SEHR LANG dauern.
Auf ihn und Charles Lyell geht der sog. "uniformitarianism" zurück. Das (auf deutsch sog.) **Aktualitätsprinzip**, oder Uniformitäts- bzw. Gleichförmigkeitsprinzip wird zur grundlegenden wissenschaftlichen Methode in der Geologie, als Gegenstück zur damals noch vorherrschenden Katastrophenlehre.
Der Old Red Sandstein der Stratheden Group (Devon ~370 Ma) liegt mit einer Winkeldiskordanz auf den früher abgelagerten und durch Deformation steilgestellten Grauwacken Tonschiefer der Gala Group (Silur, 440 Ma).

uniformitarianism

Aktualitätsprinzip

31



Charles Lyell
(1797 - 1875)

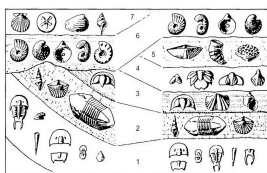
"The Principles of Geology" (1830)
"... the present is the key to the past..."

Charles Lyell (1797 – 1875)

Die Abbildung ist eine perfekte Darstellung der Überschneidungskriterien. Hutton und Lyell sind im 18. Jh / 19. Jh die Begründer der modernen Geologie (Geologie ist die Wissenschaft des 19. Jh) Lyells Lehrbuch basiert auf der Erkenntnis, dass physikalische, chemische, biologische Gesetzmässigkeiten, die heute gültig sind, auch in der Vergangenheit gültig waren. Bereits Steno (17. Jh), Hutton (18. Jh), und erst recht Lyell (19. Jh) war vollkommen klar, dass die biblischen 6000 Jahre niemals ausreichen für die beobachteten Ablagerungs- und Deformationsprozesse

Altersbestimmung durch Fossilien

32



Altersbestimmung vermittels Fossilien (Schema)

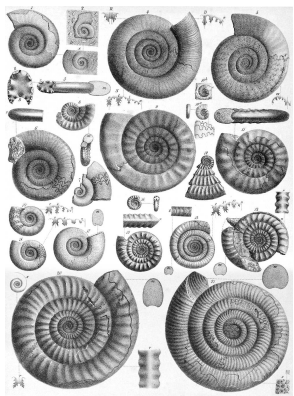


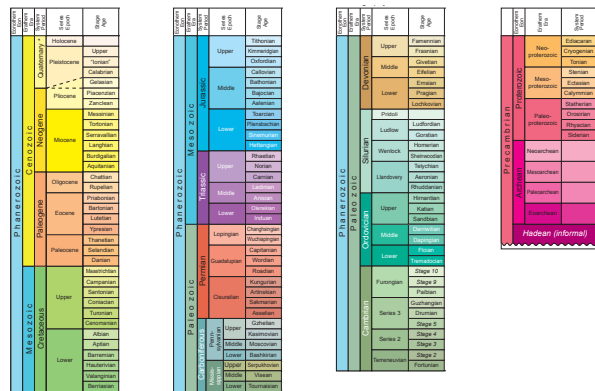
Illustration von Friedrich August von Quenstedt, (1809 – 1889)

Biostratigrafie:

Gliederung und relative chronologische Bestimmung von Gesteinseinheiten mit Hilfe von Fossilien, insbesondere von Leitfossilien.

Stratigrafie – relative Alter

33

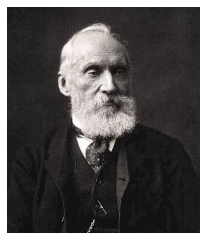


Stratigrafische Tabelle (International Stratigraphic Chart) – ohne radiometrische Alter

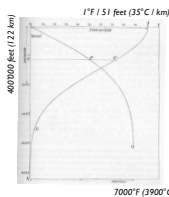
Stratigrafische Einheiten: Äon – Ära – Periode – Alter. Es gibt 4 Äonen, 3 davon im Super-Äon Präkambrium. Das Präkambrium ist benannt nach unterster Periode (Kambrium) der untersten Ära (Paläozoikum) des nächsten Äons (Phanerozoikum). Geochronologie (rein zeitlich): Äon – Ära – Periode – Epoche – Alter Chronostratigrafie (Lithologie-basiert): Äonothem – Ärathem – System – Serie – Stufe

Alter aus Abkühlung

34



William Thomson,
1st Baron Kelvin of Largs
(1824 - 1907)



Jean Baptiste Joseph Fourier
(1768 - 1830)

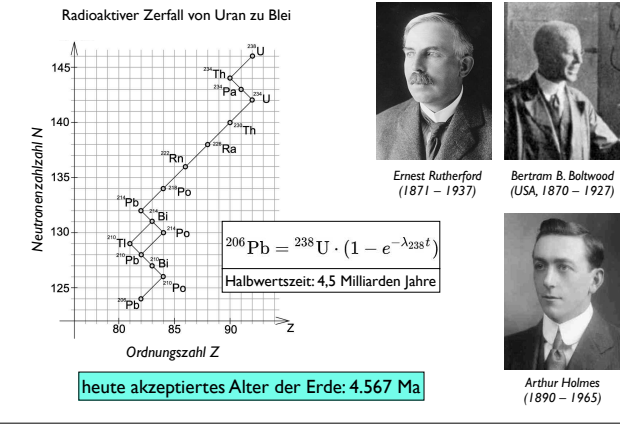
$$q_x = -k \frac{dT}{dx}$$

Annahmen: Temperaturzunahme mit Tiefe: 1°F / 51 feet (≈ 36°C / km)
Anfangstemperatur: 7000° F (3900°C) (geschmolzenes Gestein)
eingesetzt in Fourier-Gleichung: ⇒ Erdalter ≈ 100 Ma (20 - 400 Ma)

William Thomson (Lord Kelvin, 1824 – 1907) = 20 - 400 Ma reine Abkühlung von Lava. War aber zu kurz für Biologen, wie Charles Darwin, oder Geologen (uniformitarianism), wie Charles Lyell. In 1862, Lord Kelvin, used Fourier's theory to calculate the age of the earth. He knew the earth's temperature increased 1°F / 50 feet (normal = 25°C / km = 1°F per 70 feet) - guessed that the earth began as molten rock at 7000° F (3900°C). By solving Fourier's equation, Kelvin found that it must have taken 100 Ma for the earth's T to level out to 1°F / 50 feet. where q = the local heat flux density, W·m⁻² k = the material's conductivity, W·m⁻¹·K⁻¹, gradT = the temperature gradient, K·m⁻¹.

radiometrische Altersdatierung

35



Ernest Rutherford (1871 – 1937) & Bertram Borden Boltwood (1870 – 1927) begründen die **Uran-Blei - Methode**. Radiometrische Alter von 400-2200 Ma, wurden 1907 in geologischen Zeitschriften von Boltwood publiziert, ABER die geologische Fachwelt war nicht interessiert...

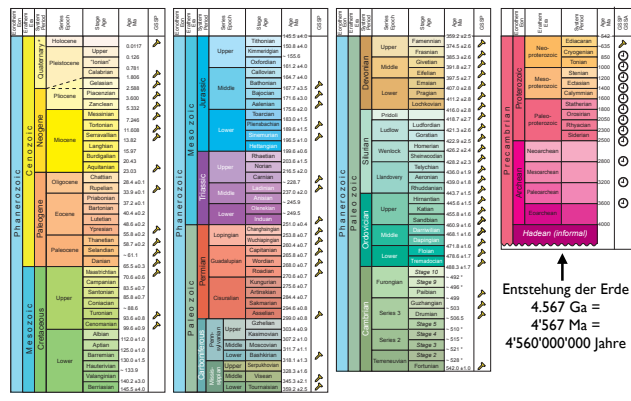
238U (Uran) hat 146 Neutronen und 92 Protonen (=238), es zerfällt über eine Reihe von Alpha- und Beta-Zerfällen zu 206Pb (Blei) mit 124 Neutronen und 82 Protonen (=206). Der langsamste Zerfall ist 238U zu 234Th (Thorium) mit einer Halbwertszeit von 4.468 Ga, zusammen mit verschiedenen andern, viel schnelleren Zerfallsreaktion beträgt die Halbwertszeit, 4.5Ga. U-Pb Datierungen werden oft an Zirkonen gemacht: älteste Zirkone wurden auf 4.404 Ga datiert.

Arthur Holmes (1890 – 1965) ist der erste Geologe, der sich ernsthaft mit radiometrischer Altersdatierungen befasst. In "The Age of the Earth, an Introduction to Geological Ideas" 1927 gibt er 1.6 – 3.0 Ga als Alter für die Erde an. 1931 wird er Leiter des National Research Council of the US National Academy of Sciences: **radiometrische Datierungen** werden in der Geologie Goldstandard.

Stratigrafie – absolute Alter

36

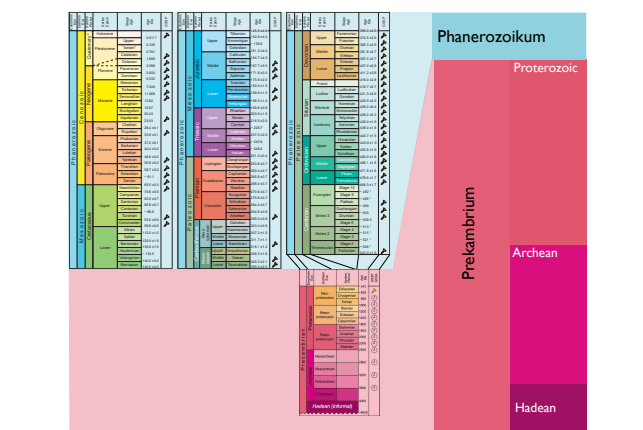
Stratigrafische Tabelle (International Stratigraphic Chart) – inklusive radiometrische Alter



die gefühlte Zeit ≠ Echtzeit

37

Die Zeitskala der stratigraphischen Tabelle ist verzerrt. Vergleiche mit der skalierten Darstellung.



Entstehung des Lebens

38

Ereignis / erstes Auftreten	stratigraphische Einheit	Ma		
Artensterben	Kreide-Tertiär Grenze	66	Phanerozoic	↑ nicht skaliert
Dinosauriere	Jura-Kreide	235 - 66		
Great Dying	Perm-Trias Grenze	250		
Landtiere	Karbon	320		
Landpflanzen	Ordoviz	475		
Ediacara Fauna	oberstes Proterozoikum	580 - 540	Proterozoic	
Snowball Earth	Proterozoikum	700		
Eukaryonten	Proterozoikum	1500	Archean	
Gabonionten	Proterozoikum	2100		
Stromatolithe (Cyanobakterien)	Archaikum	3500	Hadean	
Prokaryonten	Archaikum	3500		
ältestes Gestein	Hadean	4000		
Kollision mit Theia => Mond		4500		
Entstehung der Erde		4567		

Erdgeschichte 4567 Ma = 1 Jahr

39

Ereignis / erstes Auftreten	stratigraphische Einheit	Ma	im Zeitraffer	
			4567 Ma = 1 Jahr	
Artensterben	Kreide-Tertiär Grenze	66		26. Dez.
Dinosauriere	Jura-Kreide	235 - 66		12. - 26. Dez.
Great Dying	Perm-Trias Grenze	250		11. Dez.
Landtiere	Karbon	320		5. Dez.
Landpflanzen	Ordoviz	475		23. Nov.
Ediacara Fauna	oberstes Proterozoikum	580 - 540		15. - 18. Nov.
Snowball Earth	Proterozoikum	700		5. Nov.
Eukaryonten	Proterozoikum	1500		2. Sept.
Gabonionten	Proterozoikum	2100		16. Juli
Stromatolithe (Cyanobakterien)	Archaikum	3500		26. März
Prokaryonten	Archaikum	3500		26. März
ältestes Gestein	Hadean	4000		14. Feb.
Kollision mit Theia => Mond		4500		5. Jan.
Entstehung der Erde		4567		1. Jan.

die letzten 60 Ma

40

Ereignis / erstes Auftreten	Ma	im Zeitraffer	
		4567 Ma = 1 Jahr	Zeit
James Hutton - moderne Geologie		31. Dez.	23:59:58
Zeitenwende		31. Dez.	23:59:45
Römisches Reich (dauert 10 s...)		31. Dez.	23:59:40
Altes Ägypten (dauert 23 s...)		31. Dez.	23:59:20
Ackerbau und Viehzucht		31. Dez.	23:58:51
Bronzezeit (Holozän)		31. Dez.	ab 23.45
Homo sapiens		31. Dez.	23:38:08
Eiszeiten (Günz)		31. Dez.	ab 22:30
Australopithecus (Homini)		31. Dez.	abends
Sahelanthropus, Steinzeit (Pleistozän)		31. Dez.	mittags
Hominini	7	31. Dez.	vormittags
Menschenaffen	20	29. Dez.	
Primaten	60	26. Dez.	
Artensterben	66	26. Dez.	

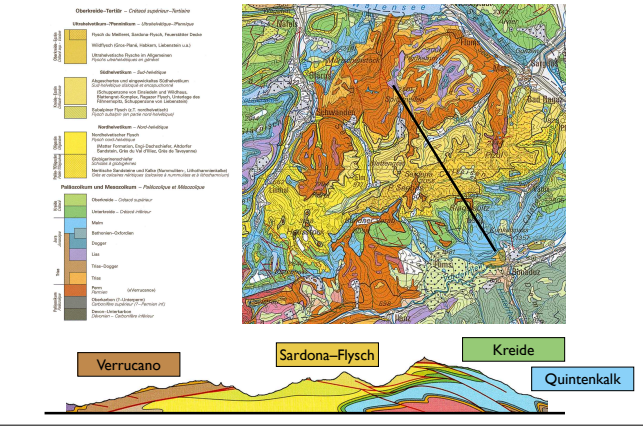
41

Tektonik
wie kommen ältere auf jüngere Schichten ?

volks-
hochschule
beider basel ein Blick auf die geologische Karte

42

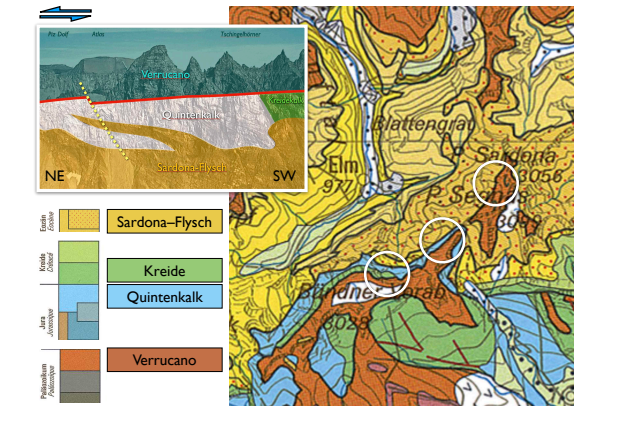
Zuerst schauen wir auf die **geologische Karte**: der braune Verrucano liegt "quer" über allen andern Einheiten, die dunkelblauen Linien markieren, wo die Glarner Hauptüberschiebungen die Topografie durchschneidet. Die dicke schwarze Linie markiert die ungefähre Lage des Profils unten.



volks-
hochschule
beider basel ... von Westen aus

43

der Verrucano ist nach N überschoben
 1 beim Martinsloch liegt der Verrucano auf Quintenkalk (in der Karte braun auf blau)
 2 etwas weiter südwestlich liegt er auf Kreidekalken (in der Karte braun auf grün)
 3 und etwas weiter nordöstlich (Piz Segnas) liegt er auf Sardonaschiefer (in der Karte braun auf gelb mit Punkten)
 Kontakt 1 und 2 sind auf der interpretierten Fotografie zu sehen, Kontakt 3 nicht.

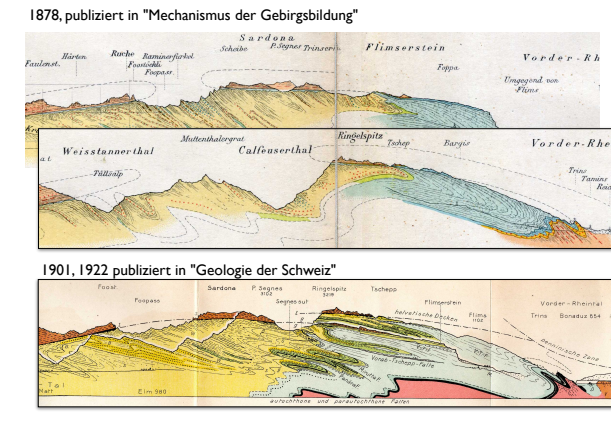


volks-
hochschule
beider basel der lange Weg zur Überschiebung

44

Arnold Escher (1807-1872), Geologe an der ETH (1856-1872). **Roderick Murchison (1792-1872)**, schottischer Geologe und Paläontologe, besucht ihn und überzeugt ihn, dass die Glarner Hauptüberschiebung eine Überschiebung sei, obwohl er das für den Moine Thrust bestreitet. Auch **Eduard Suess (1831-1914)**, österreichischer Geologe und Politiker, glaubt, dass sie eine Überschiebung sei. Dennoch erfindet Escher die berühmte Doppelfalte.

Albert Heim (1849-1937), Geologe ETH (1872-1911, mit 62 Jahren lässt er sich emeritieren) übernimmt die Doppelfalte und beschreibt sie im "Mechanismus der Gebirgsbildung" (1878). 1883 überzeugt ihn **Marcel Alexandre Bertrand (1847-1907)**, französischer Geologe, dass es eine Überschiebung ist. 1919-1922 erscheint "Geologie der Schweiz": dort ist die Gl. HA endlich als Überschiebung gezeichnet. Heim war übrigens einer der Begründer der Kontraktionstheorie der Erde, die fast 100 Jahre – bis etwa 1960 – das Standardmodell der Geotektonik war

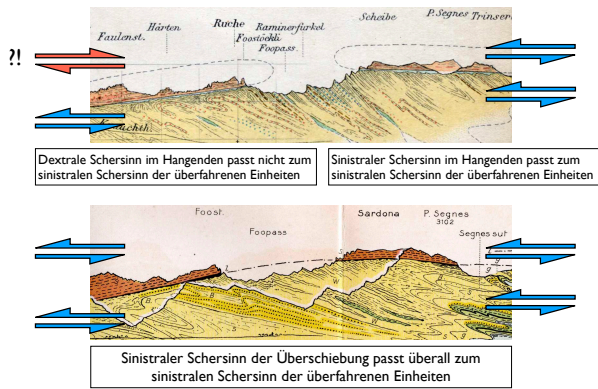


volks-
hochschule
beider basel

Doppelfalte wird Überschiebung

45

die **Verformung der helvetischen Decken** unterhalb der Überschiebung, eine **linksgerichtete** Schleppung, passt gut zu einer durchgehend N-gerichteten Überschiebungsrichtung. Bei der Doppelfalte wäre, im Nordteil, die nach S gerichtete Falte "gegen den Strich" der helvetischen Decken überschoben.



Kenntnisstand um 1920

Heims "Geologie der Schweiz"

Geosynklinaltheorie

Kontraktionstheorie

46

Wissensstand vor 100 Jahren betreffend das Helvetikum (Karte aus **Heim: Geologie der Schweiz, 1922**)

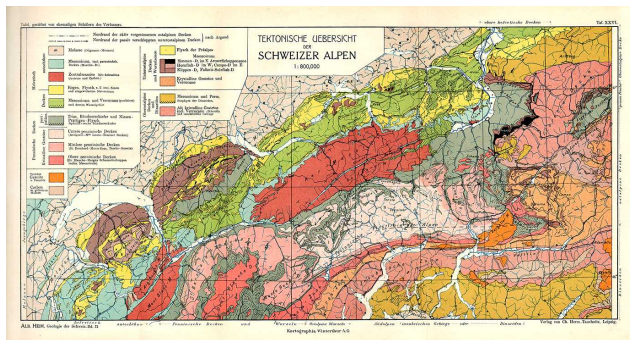
bekannt war:

- die Stratigrafie des Helvetikums (grün): Sie reichte vom Verrucano (Perm), über den Quintenkalk (Malm), bis zum Sardonafliesch (Eozän)
- die Tektonik: Faltengebirge mit Deckenbau (inklusive Glarner Hauptüberschiebung), südliche Decken sind stets auf weiter nördliche geschoben

volks-
hochschule
beider basel

so sah es aus – vor 100 Jahren

47

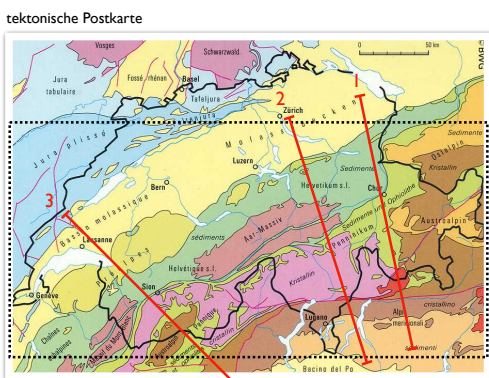


die **tektonische Postkarte** zeigt vereinfacht die tektonische Karte der Schweiz: gepunktete Linie: Ausschnitt, der auf Heims tektonischer Karte dargestellt wird rote Linien: ungefähr geschätzte Lage von Heims Profilen

volks-
hochschule
beider basel

... sehr ähnlich wie heute

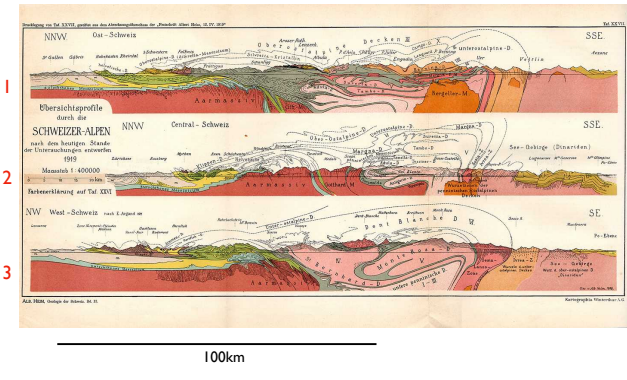
48



Profil 1919

49

Deutlich zu sehen ist, dass die **Gesamtbewegung nach Norden** ging. Decken werden von ihrer (kristallinen) Unterlage abgeschert, und nach Norden überschoben, dabei verfaultet. Heim schätzte die Verkürzung über die gesamten Alpen (inklusive Jura) auf **ca. 125 km** in Heims Profilen ist der oberste Teil der Erdkruste dargestellt – heute kann man – dank plattentektonischer Interpretation und seismischer Daten – Profile durch die gesamte Lithosphäre zeichnen.

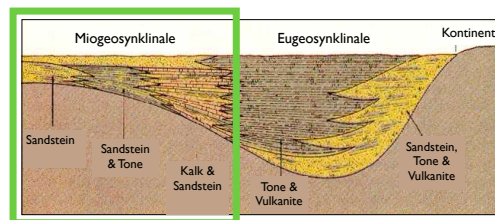


Geosynklinaltheorie

50

Geosynklinaltheorie, zwischen 1860 – 1950 allgemein akzeptierte Theorie zur Gebirgsbildung.

- Phase:** Entwicklung eines schmalen, lang gestreckten Beckens (Geosynklinale), in ENE-WSW-Richtung. Sedimentschüttungen von den kontinentalen Rändern. Absenkung und Überflutung des Beckens unter der Überlast der Sedimente. Zunehmend marine Sedimentation, inklusive Vulkanite.
- Phase:** Zusammenschub und Faltenbildung, senkrecht zur Längsachse, unter Wasser. Ursache der Stauchung sind Schollen, welche von den kontinentalen Rändern (Geantiklinalen) heruntergleiten.
- Phase:** Heraushebung aus dem Meer, Entstehung einer kontinentalen Oberfläche, sowie nachfolgend



James Dwight Dana (1813 - 1895)



James Hall (1811 - 1898)

Bereich der helvetischen Decken

Phasen der Gebirgsbildung

1. Bildung eines Troges → Ablagerung von Sedimenten
2. Zusammenschub → Faltung
3. Hebung und Erosion

Kontraktionstheorie

51

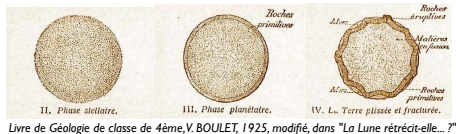
Die **Kontraktions-Theorie** basiert auf einer vorschreitenden Abkühlung und Schrumpfung des "glutflüssigen" Erdinnern. Ähnlich wie bei einem trocknenden Apfel, dessen Haut Runzeln bildet, so entstehen in der festen Erdkruste grosse Falten und Becken (Antiklinalen und Synklinalen -> Geosynklinalen). Je weiter der Prozess geht, desto mehr kollabieren die Becken, bzw. kippen die Falten in die Becken hinein und die Geosynklinale wird zusammengestaucht. Die bedeutendsten Forscher zum Thema waren der Franzose Élie de Beaumont, (1798 – 1874) der Österreicher Eduard Suess (1831–1914), der Schweizer Albert Heim (1849–1937) und der Deutsche Hans Stille (1876–1966), siehe Abschnitt Hauptvertreter der Kontraktionstheorie. (Wikipedia)

Schrumpfung der Erdkruste
Grund: Abkühlung der Erde



Albert Heim (1849 - 1937)

Abschätzung von Heim:
Verkürzung in den Alpen: 125km
≈ 0.3% des Erdumfangs
≈ 1% des Erdvolumens



Livre de Géologie de classe de 4ème, V. BOULET, 1925, modifié, dans "La Lune rétrécit-elle...?"

.. aber wie geht das überhaupt ?

52

Auch wenn es schon damals klar war, dass die Gebirgsbildung tief im Erdinnern stattfindet, und die eigentlichen Gebirge erst durch Hebung an die Oberfläche und durch die Bildung von Bergen und Tälern durch Erosion "sichtbar und begehbar" werden, waren die grossen "Dislokationen" (Verschiebungen) von relative dünnen Decken für Heim mechanisch nicht vorstellbar. Die Kontraktionstheorie als Grund für die grossen horizontalen Verkürzungen war **auch für Heim nicht restlos überzeugend**.

zur Glarner Hauptüberschiebung

Mit unserer Darstellung sind wir nun ganz in die neueste Auffassung der Alpentektonik gekommen. Es ist aber unsere Pflicht, nicht zu verschweigen, daß es noch namhafte Geologen gibt, die den einheitlichen Deckenbau der Alpen nicht anerkennen vermögen. Wenn man ihre Darlegungen liest, trifft man fast bei allen auf den mehr oder weniger bewußten Ausgangspunkt ihrer Opposition: Sie können sich die Mechanik der Deckenbildung nicht vorstellen! Aber auch uns gelingt das noch nicht! Die Tatsachen des Deckenbaues liegen so klar, daß nichts anderes übrig bleibt, als uns denselben zu fügen und das wirkliche Verstehen erst zu suchen und abzuwarten. Unter allen Umständen dürfen wir aus unserm menschlich schwachen Nichtverstehen nicht ein Argument gegen die Tatsachen machen.

zur Kontraktionstheorie

Immer wieder ist versucht worden, an dieser Theorie zu rütteln, und je nach einzelnen Entdeckungen hat man Modifikationen versucht. Gewiß, es fehlt noch manches, bis sie kritisch vollständig ausgearbeitet ist. Bis heute ist sie aber durch keine andere, in irgend einem Punkte stichhaltigere Theorie ersetzt worden. Sie ist die bisher einzige, welche ein umfassendes Verständnis für den Zusammenhang sämtlicher Dislokationserscheinungen, ihrer Trennung in Vertikal- und Horizontalbewegungen, der Erdbeben und der vulkanischen Vorgänge zugleich ermöglicht.

sichtliche Darstellung von E. Kayser in seiner „Allgemeinen Geologie“ IV. Aufl., 1912, S. 799—812.)

beide Zitate: Albert Heim "Geologie der Schweiz", 1922

weitere Beobachtungen und Überlegungen ... im Zusammenhang mit Horizontalbewegungen

volks-
hochschule
beider basel

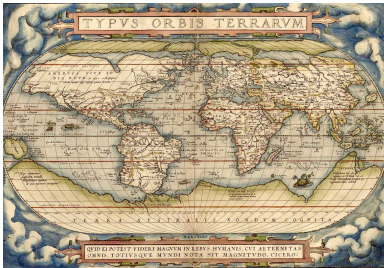
1564 wird Amerika weggerissen



Abraham Ortelius (1527 – 1598)



Theatrum Orbis Terrarum (1570)



"... die Americas sind weggerissen von Europa und Afrika ... durch Erdbeben und Fluten (...) die Spuren dieser Ruptur zeigen sich ganz klar, wenn man eine Weltkarte zur Hand nimmt und die Küsten der drei Kontinente betrachtet."

54

Abraham Ortelius (1527 – 1598)

Die Weltkarte Typus **Orbis Terrarum** erscheint 1564 (die einzige erhaltene Kopie befindet sich an der Universitätsbibliothek Basel).

Am 20. Mai 1570 erschien seine erste Ausgabe vom Theatrum Orbis Terrarum, der ersten Sammlung von Landkarten, inklusive Typus Orbis Terrarum, in Buchform.

Ortelius gilt heute auch als der erste, der aufgrund der zueinanderpassenden Umrisse vermutete, dass die Kontinente früher einmal zusammengehangen hätten und später durch „**Erdbeben und Fluten**“ zerbrochen seien, so dass dadurch einst Amerika, Afrika und Europa entstanden sind (siehe „Thesaurus Geographicus“).

volks-
hochschule
beider basel

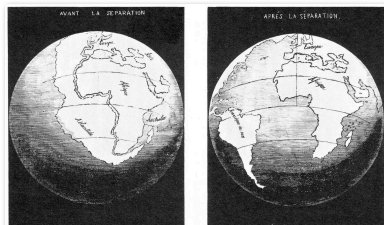
1858 führt die Sintflut zum Riss



Antonio Snider-Pellegrini (1802–1885)



La Création et ses mystères dévoilés (1858)



vorher

nachher

Die Kontinente bestanden zunächst aus Schmelze, die Sintflut schreckte sie ab. Das führte zu einem gigantischen Riss, der die beiden Americas von der "alten Welt" trennte. Grundlage für diese Theorie sind Funde identischer Fossilien auf allen drei Kontinenten.

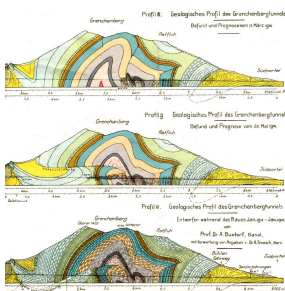
55

Antonio Snider-Pellegrini (1802–1885) publizierte La

Création et ses mystères dévoilés. He proposed that all of the continents were once connected together during the Pennsylvanian Period. He based this theory on the fact that he had found plant fossils in both Europe and the United States that were identical. He found matching fossils on all of the continents. In 1858, he made these two maps showing his version of how the American and African continents may once have fit together, then later separated. (Wikipedia)

volks-
hochschule
beider basel

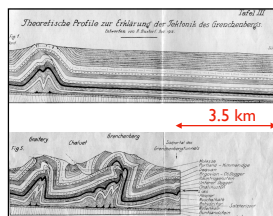
1907 die Fernschub-Hypothese



Prognosen und Befunde ... (1916)



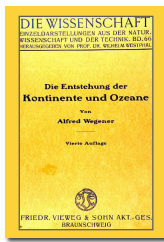
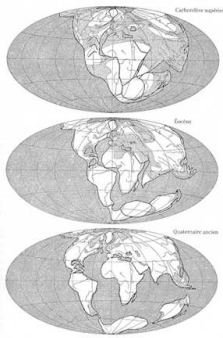
August Buxtorf (1877-1969)



56

Für **August Buxtorf (1877 – 1969)** war die Frage: woher kommt die NW-SE Verkürzung im Jura? Er nahm an, dass es die Verkürzung in den Alpen ist, welche unter dem Molassebecken hindurch (auf einem Abscherhorizont) auf die mesozoischen Schichten im Jura übertragen wird (= **Fernschub-Hypothese**). Das löste natürlich nicht die Frage, woher die Verkürzung in den Alpen kommt. Daneben warf es nebenbei die Frage auf, wie so etwas mechanisch funktionieren soll: wie kann eine etwa 2 km dicke bzw. dünne Gesteinsschicht über mehr als 100 km (horizontaler "Dislokation") hinweg eine Kompressionsspannung aushalten ohne zu knicken, Falten zu werfen oder zu zerbrechen ? Buxtorf, August: Prognosen und Befunde beim Hauensteinbasis- und Grenchenbergtunnel (1916).

1912 eine Lösung ?



Alfred Lothar Wegener
(1880 - 1930)

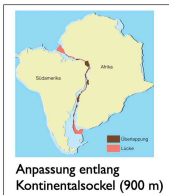
Kontinentaldrift - Hypothese

Vor etwa 200 Ma bricht der Superkontinent "Pangäa" auseinander und die Kontinente beginnen zu driften

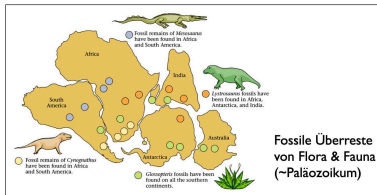
57

Alfred Lothar Wegener (1880 – 1930), Meteorologie und Polarforscher
Wegeners Hypothese von den driftenden Kontinenten "Die Entstehung der Kontinente und Ozeane" (1912) war für Heim zwar eine verlockende Erklärung für die beobachteten enormen Horizontalbewegungen in den Alpen. Aber die Vorstellung von Kontinenten, welche über ozeanische Kruste hinweg von einem Ort zum andern gleiten sollten, war mechanisch wenig überzeugend. Wie die meisten Geologen verwarf er sie deshalb.

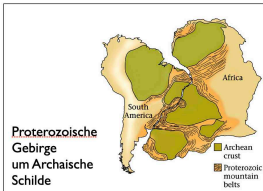
Evidenz für Pangäa



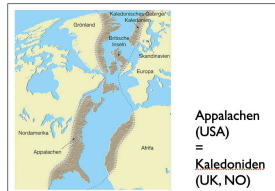
Anpassung entlang Kontinentalsockel (900 m)



Fossile Überreste von Flora & Fauna (~Paläozoikum)



Proterozoische Gebirge um Archaische Schilde



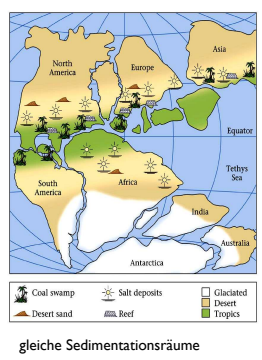
Appalachen (USA) = Kaledoniden (UK, NO)

58

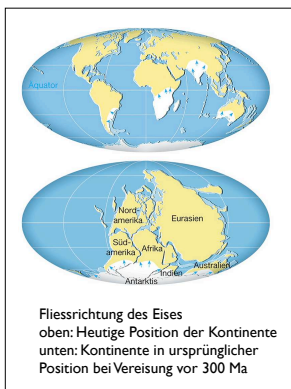
Evidenz für den Super-Kontinent Pangäa (~300 Ma)

- 1 - Passform am Kontinentalsockel
- 2 - Verbreitung von Fossilfunden von Fauna: Mesosaurus - Lystrosaurus - Cynognathus; von Flora: Glossopteris
- 3 - Verbreitung von Proterozoischen Gebirgszüge (Proterozoikum= 2500 - 550 Ma) (Atlantiköffnung < 180 Ma)
- 4 - durchgehender Gebirgszug der Kaledoniden (gebildet 550 - 250 Ma) im Norden von Afrika und Europa sowie Nordamerika und Grönland

Evidenz für Pangäa



gleiche Sedimentationsräume

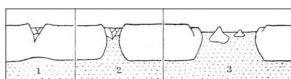
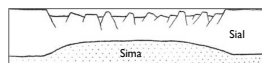
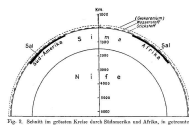


Fließrichtung des Eises
oben: Heutige Position der Kontinente
unten: Kontinente in ursprünglicher Position bei Vereisung vor 300 Ma

59

links: äquatoriale Lage im Mesozoikum für die Bildung von Kohlesümpfen, Salz Ablagerungen, Wüstensand, Riffkalke; Lage am Südpol für glaziale Sedimente.
rechts: Eis-Fließrichtung von einem einzigen Pol aus ergibt sich nur während des Mesozoikums

Wegeners mobilistisches Modell

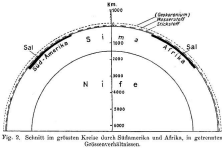


60

Wegeners Illustationen zum "continental rifting" bzw. zur Grabenbildung fassen auf guten Beobachtungen und wirken sehr modern. Aber es ist nicht klar, warum ein Kontinent auseinander brechen sollte, und wie sich die "äußere kontinentale Kruste" über die "innere, ozeanische Kruste" hinweg, oder gar durch sie hindurch bewegen sollte.

Fixismus

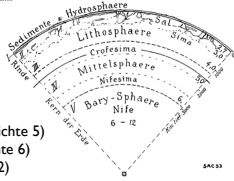
alles bleibt an seinem Platz:
Vertikalbewegungen – ja; Horizontalbewegungen – nein



- Sial (Silizium, Aluminium)
- Sima (Silizium, Magnesium)
- Nife (Nickel, Eisen)



Eduard Suess
(1831–1914)



Albert Heim
(1849–1937)

- Sial (Silizium, Aluminium)
- Sima (Silizium, Magnesium)
- Crofesima (+ Chrom, Eisen, Dichte 5)
- Nifesima (+ Nickel, Eisen, Dichte 6)
- Nife (Nickel, Eisen, Dichte 6-12)

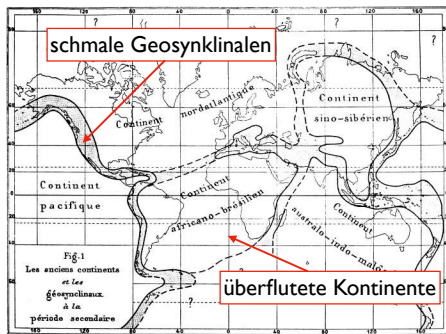
61

Eduard Suess (1831–1914) führte betreffend den Aufbau des Erdinneren die Begriffe Sial (oder Sal), Sima und Nife ein. Darauf aufbauend entwickelte **Albert Heim (1849 - 1937)** ein Modell, indem er weiter Sphären hinzufügt (auch der Begriff Lithosphäre taucht auf, ist aber nicht gleichbedeutend wie der heute verwendete). Wichtig ist in beiden Modellen, dass sie einen fixen Schalenbau darstellen und keinerlei Motor für Bewegungen vorsehen (**Fixismus**)
PS: Suess' Aussage „Der Zusammenbruch des Erdballs ist es, dem wir beiwohnen“ wurde zum Kernsatz seines geologischen Weltbildes. Sie wurde ebenso von Esoterikern wie Helena Blavatsky u.a. verwendet, um z. B. einen realen Kern der Atlantissage und anderer hypothetischer Kontinente

Rettung der Geosynklinale



Gustave Émile Haug
(1861 - 1927)

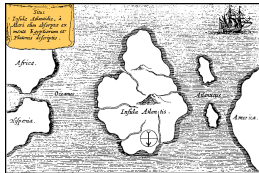


Les géosynclinaux et les aires continentales,
Bull. Soc. Géol. Fr., 3e série, 28, 1900, p.633

62

Gustave Émile Haug (1861 – 1927) war ein französischer Geologe und Paläontologe. Figure 1. Répartition, durant l'ère Secondaire, des géosynclinaux et des "aires continentales," d'après Émile Haug (1900). Nous savons maintenant que beaucoup des "aires continentales" distinguées par Haug sont en réalité des océans...
<https://www.anales.org/archives/cofrhigeo/geodynamique.html>

mythologische Kontinente



Gesüdete Kartendarstellung

Atlantis aus Athanasius
Kirchers Mundus
Subterraneus von 1665



Athanasius Kircher
(1602–1680)



Kontinent "Mu"



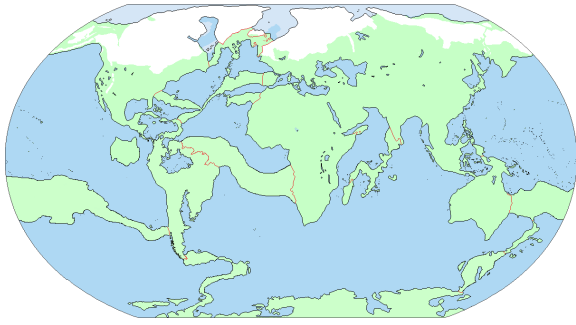
James Churchward
(1851–1936)

63

Athanasius Kircher (1602 – 1680) war ein deutscher Jesuit und Universalgelehrter **Atlantis** (altgriechisch Ἀτλαντὶς νῆσος Atlantis nésos ‚Insel des Atlas‘) ist ein mythisches Inselreich, das der antike griechische Philosoph Platon (428/427 bis 348/347 v. Chr.) in der Mitte des 4. Jahrhunderts v. Chr. als Erster erwähnte und beschrieb. Die Vorstellung vom **versunkenen Kontinent namens Mu**, geht zurück auf Charles Étienne Brasseur de Bourbourg im 19. Jahrhundert, der sich allerdings auf Platons Atlantis bezog, das er im westlichen Atlantik verortete. Verschwunden sei Mu wegen vier Perioden weltweiter Kataklysmen, die ca. 10'500 v.Chr. begonnen haben sollen (s. aztekischer Codex Chimalpopoca). Der britische Erfinder, Bauingenieur, Schriftsteller und Weltenbummler **James Churchward (1851 – 1936)** war schließlich der erste Autor, der in diversen Abhandlungen und Büchern die Idee eines pazifischen Mu präsentierte und populär machte.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Mu_\(Kontinent\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Mu_(Kontinent))

globale Landbrücken

Archhelenis



64

Hermann von Ihering nahm 1890 eine **Landbrücke** namens Archhelenis zwischen Südafrika und Südamerika an und erweiterte diese Vorstellung in seiner populären Geschichte des Pazifischen Ozean 1927 um eine Verbindung namens Archatlantis zwischen Nordafrika und Florida sowie den Antillen unter Einschluss der Azoren, Kanaren und Kap Verde. **Wirkmächtiges Landbrücken-Konzept:** 1939 war die Jahresversammlung der deutschen Geologischen Vereinigung noch unter das Leitmotto „Die Atlantis-Frage“ gestellt worden; **Hans Cloos** hatte damit das Problem angesprochen, ob im Atlantischen Ozean kontinentale Krustenfelder versunken seien oder die Wegenersche Drift-Hypothese zutreffe. Eine Mehrheit sprach sich damals noch für die Landbrücke und gegen Wegeners Hypothese aus.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Landbrücken-Hypothese>

Zusammenfassung

was wir besprochen haben:

1. Glarner Hauptüberschiebung im Feld
2. Kreislauf der Gesteine
3. Sedimentgesteine des Helvetikums
4. Altersbestimmungen
5. Tektonik rund um die Glarner Hauptüberschiebung
6. Heims "Geologie der Schweiz"
7. Geosynklinal- und Kontraktionstheorie
8. Fixisten gegen Mobilisten
9. Ungelöstes Problem Horizontalbewegungen

... Zeit für eine neue Theorie

65