

**Posten 17: Fassade des Landesmuseums****Tessiner Gneis, ein zerquetschter Zeuge der Alpenbildung und Kalktuff, ein schaumiges Oberflächengestein**

Das Landesmuseum wurde zwischen 1892 und 1896 im Stil des sogenannten Historismus mit Stilelementen des Mittelalters und des 15./16. Jahrhunderts gebaut. Unter der Natursteinfassade verbirgt sich jedoch ein Bau aus vorwiegend Backstein und Beton. Die untersten Gesteinslagen des Gebäudes, der sogenannte «Sockel», ist mit Gneis verkleidet, der aus dem Kanton Tessin stammt. Der Rest der Fassade ist mit Kalktuff verkleidet. Toreingänge und Ecksteine bestehen aus Kalkstein von der Lägern, die Fenster sind mit Sandstein eingefasst.

**Wir werden uns mit folgenden Fragen beschäftigen:**

- Wie entsteht Gneis?
- Was kann uns Gneis über die Entstehung der Alpen erzählen?
- Wie entsteht Kalktuff?

**1. Tessiner Gneis**

Der Sockel aus grauem Gneis stellt einen schönen Kontrast zur bräunlichen Kalktuff-Fassade des Landesmuseums dar (Abb. 2). Vermutlich ging es den Erbauern des Gebäudes jedoch nicht nur um die Ästhetik: Gneis ist ein sehr witterungsbeständiges Gestein, das keine Feuchtigkeit aufnimmt und deshalb besonders häufig für Gebäudesockel verwendet wurde, die bei Niederschlägen in der Nässe stehen.

**Abb. 1:** Landesmuseum von Nordwesten



**1.** erinnert Sie der Gneis an ein Gestein, das Sie bereits einmal auf dem Geotrail gesehen haben?

**2.** Können Sie beschreiben, worin sich der Gneis von diesem Gestein unterscheidet? Machen Sie eine Zeichnung.

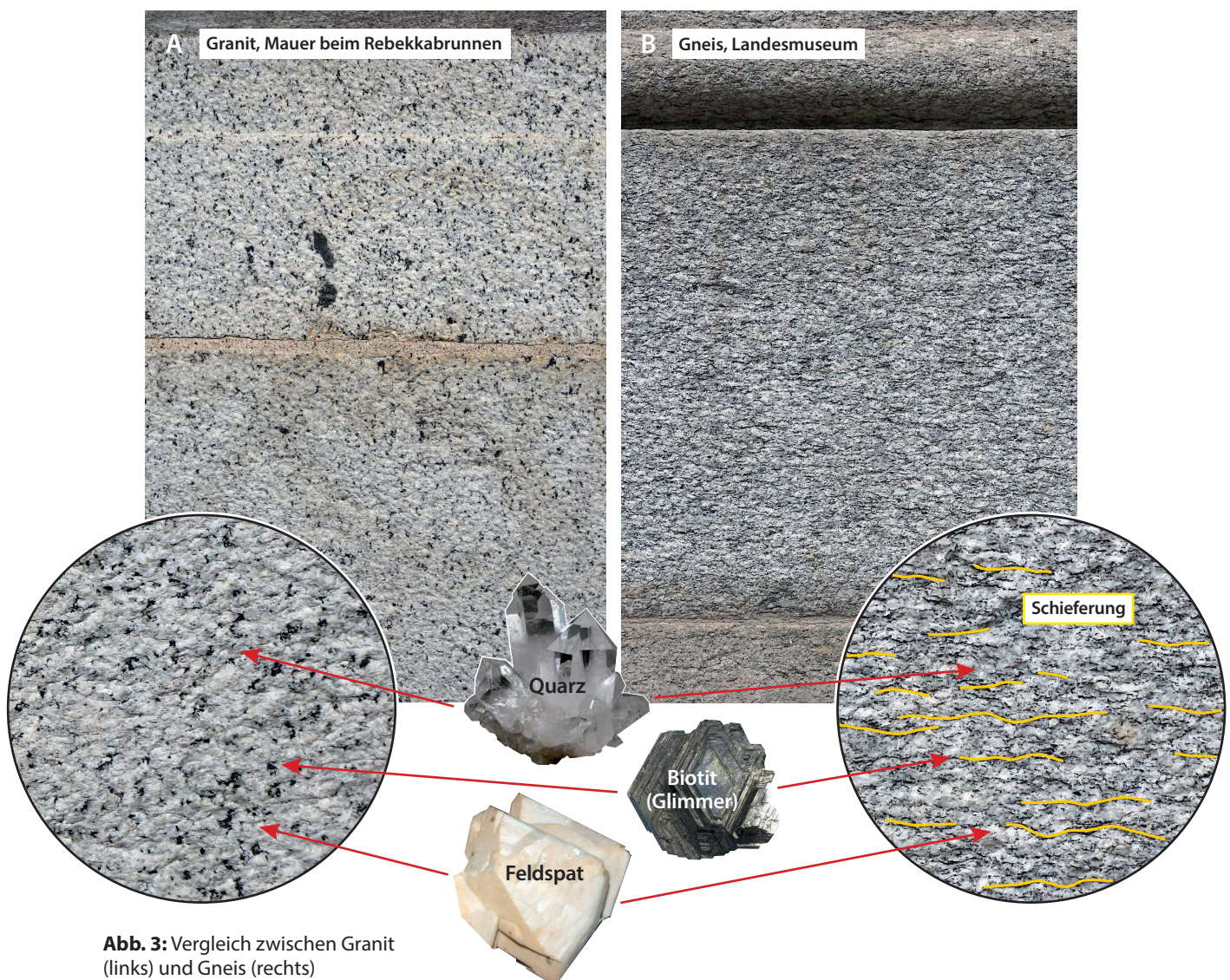
**Abb. 2:** Fassade des Landesmuseums





### Welche Geschichten erzählt uns der Gneis?

Der Gneis besteht aus weissen, durchsichtigen und schwarzen Mineralen. Wir kennen diese Minerale in ähnlicher Weise und auch in anderen Farben und Dimensionen bereits von den Graniten der Posten 1, 7 und 9. Die weissen und die durchsichtigen Minerale sind Feldspat und Quarz (diese sind oft schwer voneinander zu unterscheiden), das dunkle Mineral ist Biotit (ein Glimmer). Im Granit sind die Minerale ohne eine bevorzugte Richtung angeordnet (Abb. 3A), im Gneis hingegen sind sie abgeplattet und wie nasses Herbstlaub in Lagen angeordnet (Abb. 3B). Da Laub auf Lateinisch «folium» heisst, wird diese Anordnung der Glimmer in der Fachsprache **Foliation** genannt. Auf Deutsch ist es eine **Schieferung**.

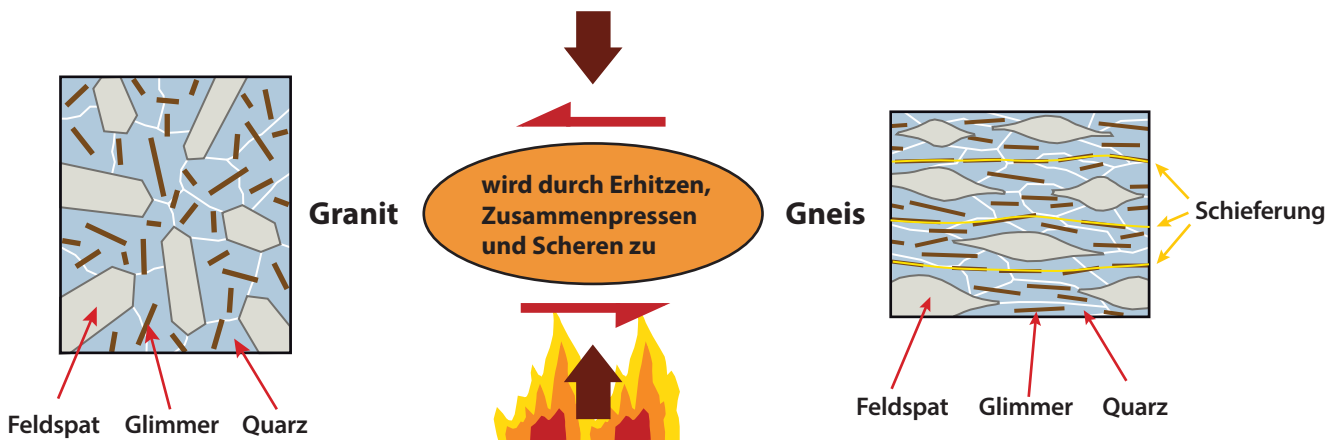


**Abb. 3:** Vergleich zwischen Granit (links) und Gneis (rechts)

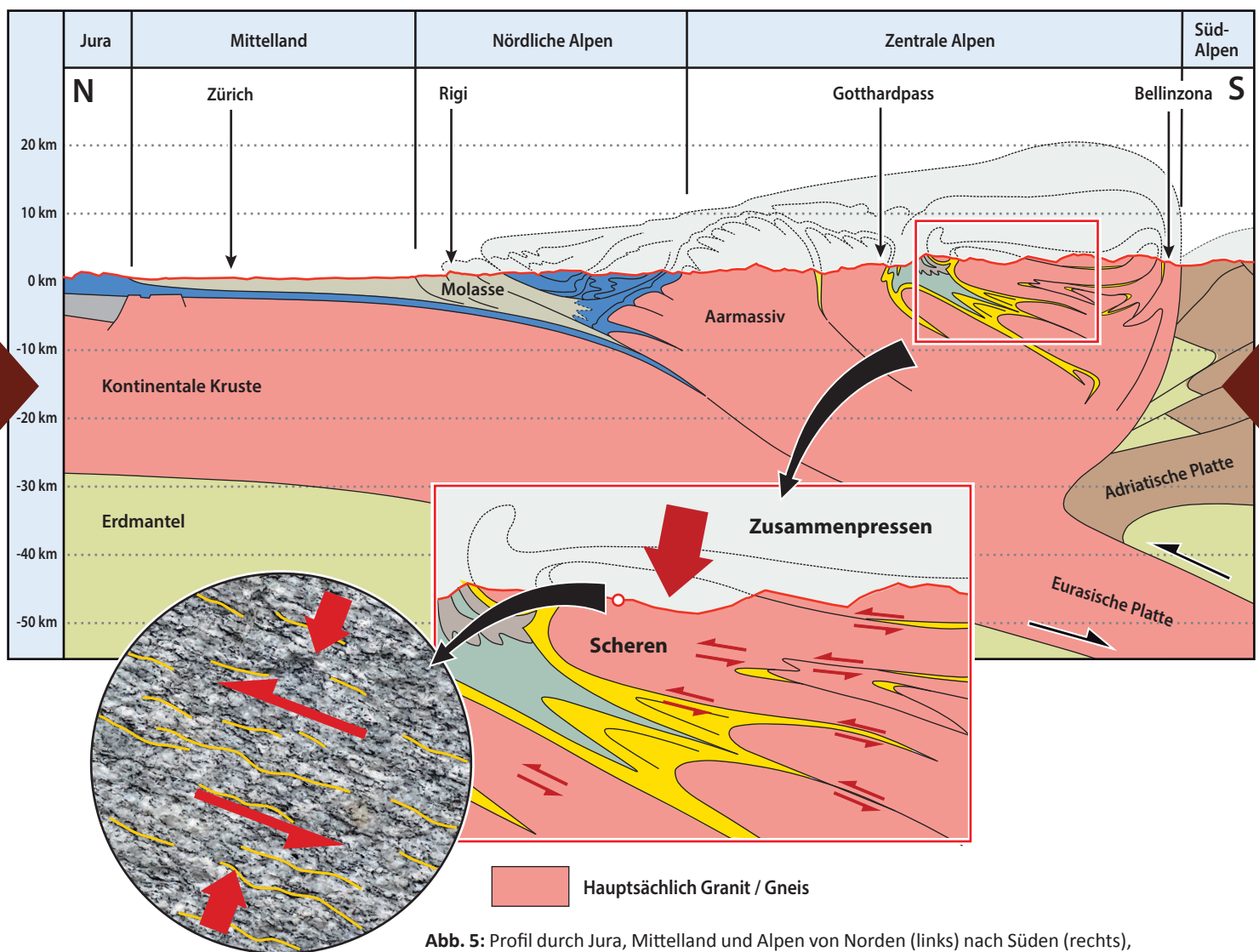
Der grosse Unterschied zwischen Granit und Gneis ist also nicht ihr Mineralbestand, sondern vielmehr Form und Anordnung der Minerale. Wenn nun aber schon dieselben Minerale vorkommen und das Gestein auch ähnlich aussieht, was liegt näher, als zu vermuten, dass die Entstehung von Gneis eng verbunden ist mit Granit?

Gneis kommt in der Natur dort vor, wo sich die Gesteine einst in grosser Tiefe befanden. Das ist, wie wir von Posten 15 und 16 her wissen, zum Beispiel in den zentralen Alpen im Kanton Tessin der Fall. Tatsächlich entstand der Tessiner Gneis aus ca. 300 Mio. Jahre altem Granit, der während der Entstehung der Alpen in der Tiefe erhitzt, zusammengepresst und zerschert wurde. Dabei wurden die Minerale des Granits verformt und eingeregelt (Abb. 4). Dadurch entstand die charakteristische Schieferung der Gneise. Das

Zusammenpressen und die Zerschierung sind das Resultat des Übereinanderstapelns und Übereinanderschiebens einzelner Krustenteile während der Entstehung der Alpen (Abb. 5). Gneise sind also, wie auch die Marmore von Posten 15 und 16, Zeugen der Entstehung von Gebirgen.



**Abb. 4:** Granit wandelt sich durch die Einwirkung von erhöhter Temperatur und Druck in Gneis um.



**Abb. 5:** Profil durch Jura, Mittelland und Alpen von Norden (links) nach Süden (rechts), (vgl. Posten 15/16, Abb. 6). Die rote Linie entspricht der heutigen Erdoberfläche. Die Tessiner Gneise entstanden durch Zusammenpressen und Scheren von Graniten in der kontinentalen Kruste in grosser Tiefe und bei Temperaturen, die ähnlich hoch waren wie bei der Entstehung des Marmors von Castione von Posten 15/16 (550-650°C).

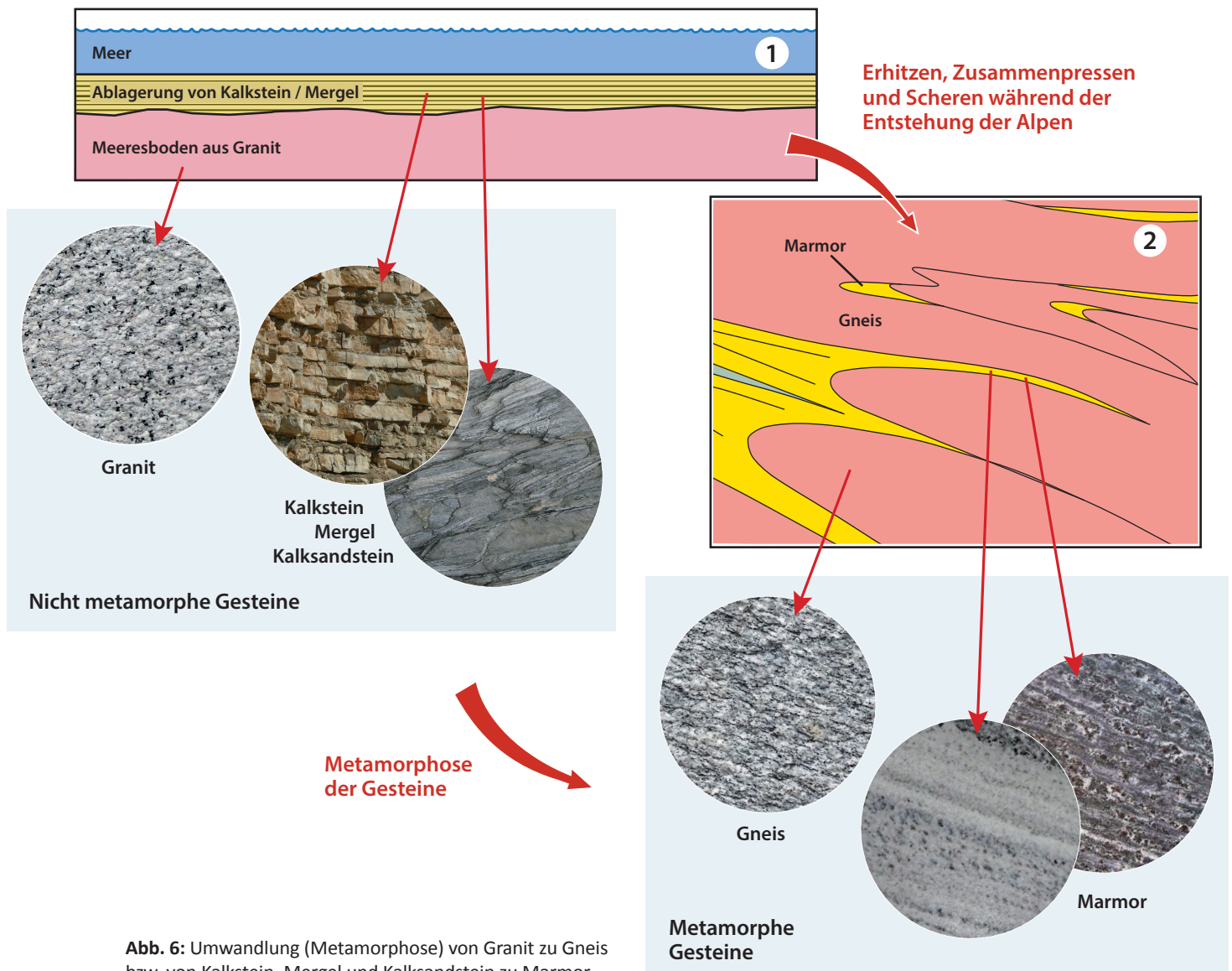


Wie Marmor, der vorwiegend aus Kalkstein entstanden ist (Posten 15/16), ist Gneis aus Granit entstanden. Er gehört also auch zu jenen Gesteinen, die eine Umwandlung mitgemacht haben und ist somit auch ein **metamorphes Gestein**.

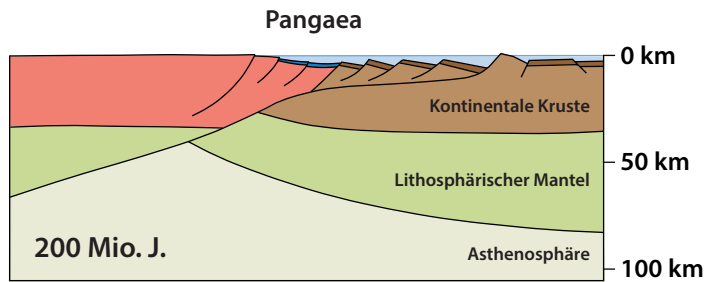


### ... und noch eine Geschichte ...

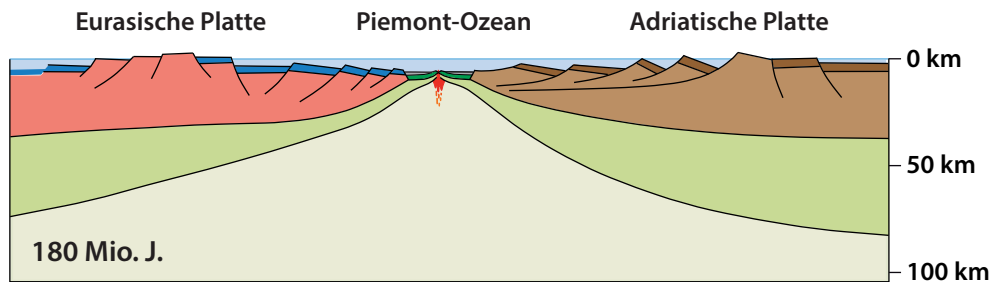
Beide Gesteine, Marmor und Gneis, kommen im Tessin nebeneinander vor. Deshalb geht die Forschung davon aus, dass ab ca. 250 Millionen Jahren, als die Europäische Platte und die Adriatische (Afrikanische) Platte auseinander zu driften begannen, am Rand der Europäischen Platte ein flaches Meer entstand, in welchem Kalk, Sand und Ton auf einem Meeresboden aus Granit abgelagert wurden (1 in Abb. 6). Dieser Meeresboden war eigentlich noch Teil der kontinentalen Kruste der Europäischen Platte (Abb. 7) und nicht Teil eines richtig tiefen Ozeans. Zusammen mit den darauf abgelagerten Sedimenten wurde dieser Meeresboden aus Granit später während der Entstehung der Alpen durch Erhitzen, Zusammenpressen und Scheren zu unserem Gneis. Kalksteine, Mergel (Gemisch aus Kalk und Ton) sowie Kalksandsteine wurden dabei zu Marmor. Marmor ist weicher als Gneis, deshalb wurde er zwischen den Gneisen zu dünnen Lagen ausgewalzt, ähnlich einem Pizzateig zwischen Küchentisch und Wallholz (2 in Abb. 6).



**Abb. 6:** Umwandlung (Metamorphose) von Granit zu Gneis bzw. von Kalkstein, Mergel und Kalksandstein zu Marmor



**200 Mio. J.:** Zwischen dem späteren Europa und Afrika beginnt sich ein Rift im Superkontinent Pangaea zu bilden. Weite Teile der Kontinente sind von einem seichten Meer bedeckt, in welchem vor allem Flachwassersedimente abgelagert werden, z. B. Kalksteine, Kalksandsteine und Mergel. Die Afrikanische Platte ist zu diesem Zeitpunkt im Übergang zur Eurasischen Platte in mehrere Mikroplatten unterteilt, wovon vor allem die **Adriatische Platte** für die Entstehung der Alpen eine zentrale Rolle spielen wird.



**180 Mio. J.:** Das Rift weitet sich aus zu einem schmalen Ozean, dem **Piemont-Ozean**, dessen maximale Breite kaum mehr als einige hundert Kilometer betragen haben dürfte, vergleichbar mit dem heutigen Roten Meer. Im Piemont-Ozean entstehen ozeanische Kruste und Tiefwassersedimente. Die Schultern des Rifts werden durch das Auseinanderziehen der Kruste in Blöcke zerrissen, die sich ins neu entstehende Meer absenken.

**Abb. 7:** Beginn des Rifting (Auseinanderbrechen) des Superkontinentes Pangaea in mehrere tektonische Platten, u. a. die Eurasische und die Afrikanische Platte, an deren Nordrand sich etliche Kleinplatten bildeten, darunter auch die Adriatische Platte. Dabei entsteht zunächst ein seichtes Meer auf der kontinentalen Kruste beider Kontinentalplatten. Erst ab ca. 180 Mio. Jahre entsteht ein Ozean (Piemont-Ozean) mit ozeanischer Kruste, die im Gegensatz zur Kontinentalen Kruste aus teilweise aufgeschmolzenem Material des Erdmantels entsteht. Ab ca. 60 Mio. Jahre werden die Eurasische und die Adriatische / Afrikanische Platte wieder zusammengeschoben, wobei die Alpen entstehen. Dabei wird die Eurasische Platte im Bereich der westlichen Alpen unter die Adriatische / Afrikanische Platte geschoben (vgl. Abb. 5).

- 3.** Inwiefern sind die Geschichten, die uns Gneis und Marmor aus dem Tessin erzählen, gleich oder ähnlich, inwiefern unterscheiden sie sich?

## 2. Kalktuff

Das löchrige, schwammige Gestein, mit welchem die Fassade des Landesmuseums verkleidet ist (Abb. 2, 8), heisst Tuff. Es gibt verschiedene Arten von Tuff, so wird z.B. ein poröses Gestein aus vulkanischen Auswurfprodukten im Millimeter- bis Zentimeterbereich als Tuff bezeichnet (Abb. 9). Der Tuff des Landesmuseums besteht hingegen aus Kalk. Um Verwechslungen mit dem vulkanischen Tuff zu vermeiden, wird in diesem Fall von **Kalktuff** oder **Quelltuff** gesprochen. Wie entsteht Kalktuff?



Abb. 8: Kalktuff an der Fassade des Landesmuseums



Abb. 9: Vulkanischer Tuff in der bis zu 3'000 Jahre alten Nekropole<sup>1</sup> von Cerveteri NE Rom

### Lösen und Ausfällen von Kalkstein

Bei der Verwitterung von Kalkstein, der im Wesentlichen aus Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) besteht, bilden sich durch die Einwirkung von Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) wasserlösliche Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )- und Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )- Ionen (Abb. 10). Das Wasser ist meteorischer Herkunft (Niederschläge), das Kohlenstoffdioxid entstammt der Atmosphäre. Zusammen reagieren sie zu Kohlensäure, die das Wasser saurer macht, also den pH-Wert des Wassers senkt. Wird der pH-Wert gesenkt, verschiebt sich das Gleichgewicht in der chemischen Gleichung in Abb. 10 nach rechts in Richtung der gelösten Ionen, die mit dem Wasser wegtransportiert werden. Dadurch wird Kalkstein aufgelöst und abgebaut (Abb. 11). Da das Wasser feinen Brüchen und Klüften im Gestein in die Tiefe folgt, entstehen Löcher und Gänge in den Kalkgebirgen, die sich zu grossen, weit verzweigten Höhlensystemen zusammenschliessen können, sogenannten **Karsthöhlen**. Wasser, das durch kalkhaltiges Gestein fliesst, weist somit immer einen erhöhten Gehalt an gelösten Kalzium- und Hydrogenkarbonat-Ionen auf. Gleich verhält es sich mit Wasser, das durch Konglomerate oder Sandsteine fliesst, denn diese werden vor allem durch Kalzitkristalle (also Kalk) in den Poren zusammengehalten (Posten 3, Abb. 10), die ebenfalls durch Kohlensäure leicht löslich sind.

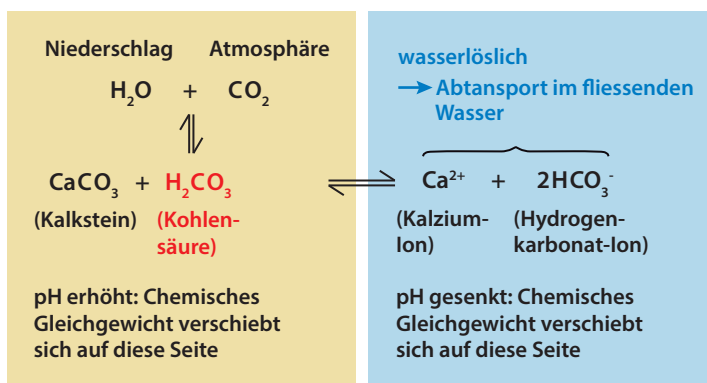


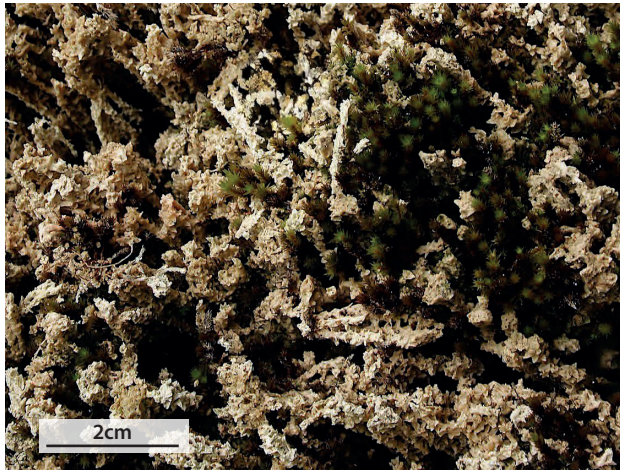
Abb. 10: Chemische Gleichung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts



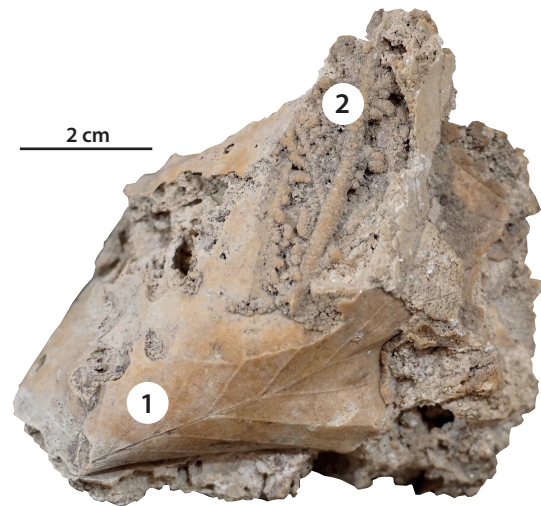
Abb. 11: Karrenfeld an der Schratzenflue (LU): Kohlensäurehaltiges Wasser schafft Rillen und erweitert Risse im Kalkgestein.

<sup>1</sup> Nekropolen, auch Nekropolis oder Totenstädte (altgriech. nekros = Toter, pólis = Stadt) sind architektonisch ähnlich einer Stadt gestaltete, oft grosse Areale mit aus dem Fels gehauenen oder aus Steinen gebauten, festen, hausähnlichen Grabstätten für Einzelpersonen oder ganze Familien. Diese Art der Bestattung lässt sich viele Tausend Jahre zurückverfolgen.





**Abb. 12:** Kalktuff-Krusten auf Moos



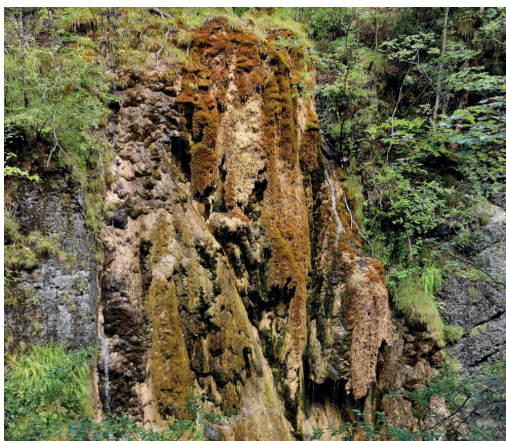
**Abb. 13:** Kalktuff mit dem Abdruck eines Buchenblattes (1) und Kalkanlagerungen um feine Ästchen (2)

Tritt solcherart an  $\text{CO}_2$  und gelösten Ionen angereichertes Wasser an einer Quelle an die Erdoberfläche, wird ihm ein Teil des  $\text{CO}_2$  entzogen, sein Kohlensäuregehalt sinkt also, wodurch sein pH-Wert steigt und sich das chemische Gleichgewicht in Abb. 10 wieder nach links verschiebt. Dadurch wandeln sich die wasserlöslichen Kalzium- und Hydrogenkarbonat-Ionen in nicht löslichen Kalkstein um, der sich an der Austrittsstelle des Wassers in Form feinsten Kristalle ablagert und mit der Zeit feine Kalkschichten bildet, die sich überlagern (Abb. 12 bis 15). Man spricht in diesem Zusammenhang von «Ausfällen» von Kalk aus dem Wasser. Das bevorzugte Vorkommen von Kalktuff an Quellen ist denn auch der Grund für seinen zweiten Namen «Quelltuff».

Weshalb aber wird dem Wasser  $\text{CO}_2$  entzogen? Dafür sind mehrere Prozesse verantwortlich:

- Kaltes Wasser kann mehr gelöstes  $\text{CO}_2$  mit sich führen als warmes Wasser. Erwärmt sich nun das Wasser, das über hunderte oder sogar tausende Meter durch den kalten Felsuntergrund floss, nach seinem Austritt an der Quelle durch Sonneneinstrahlung auf, wandelt sich ein Teil des gelösten  $\text{CO}_2$  in Gas um und tritt aus dem Wasser aus.
- An Quellen wachsen häufig Moose oder Algen. Diese betreiben Photosynthese und entziehen dem Quellwasser dadurch einen Teil seines Kohlenstoffdioxids.
- Bei hohem Druck ist die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  im Wasser grösser als bei tiefem Druck. Im Berginneren steht Wasser unter Druck (hydrostatischer Druck). Sobald das Wasser an der Quelle austritt, verringert sich dieser Druck, ein Teil des  $\text{CO}_2$  wandelt sich in Gas um und tritt aus dem Wasser aus.

Fehlen Moose oder Algen, wächst Kalktuff um ca. 0,01 mm/Jahr, bei Ausfällung über Moosen und Algen (Abb. 12) können es bis zu 20 mm/Jahr sein. Der ausgefällte Kalk legt sich als feinkristalline Kruste um alles Kleinmaterial wie Sand, Steinchen, Zweige, Blätter, Farne, Moose, oder Algen (Abb. 13). Dabei entstehen



**Abb. 14:** Kalktuff-Polster auf Moos an einem kleinen Wasserfall



**Abb. 15:** Kalktuff-Stufen an einem Bach





Abb. 16: Höllgrotten bei Baar

nach oben und vorne wachsende Gebilde oder Polster an kleinen Wasserfällen (Abb. 14) oder Geländestufen (Abb. 15). Moose und kleine Pflanzen, aber auch Herbstlaub bilden dabei ein tragendes Gerüst und werden in den Kalktuff eingeschlossen (Abb. 13).

Heute sind die Bedingungen für die Entstehung von Kalktuff hierzulande aufgrund relativ tiefer Lufttemperaturen eher ungünstig. Der rezente (heute entstehende) Kalktuff ist meist von bröseliger Konsistenz und wäre als Baumaterial unbrauchbar. Höhere Lufttemperaturen hingegen liessen in früheren Zeiten mächtige Gebilde aus Kalktuff entstehen, die in Steinbrüchen abgebaut wurden. Aufgrund seiner Porosität und Feuchtigkeit liess sich der Kalktuff gut mit Äxten und Sägen zu rechtwinkligen Blöcken verarbeiten, die aushärteten, sobald das Material trocken war, und zu sehr langlebigem Baumaterial wurden.

Der Kalktuff, der am Landesmuseum Verwendung fand, stammt aus der Gegend von Libingen bei Bütschwil im Toggenburg, wo eigens ein Steinbruch betrieben wurde. Die Blöcke wurden mit Pferde- oder Ochsespannen zum Bahnhof Bütschwil geführt und von dort aus zu Baustellen in der ganzen Schweiz transportiert, wo «eine grosse Nachfrage nach den vorzüglichen Bausteinen herrschte». Nach anhaltendem Regen im Sommer 1899 brach die vom Abbau geschwächte Felswand jedoch zusammen, zurück blieb ein Trümmerfeld, das heute nicht einmal mehr als Steinbruch erkennbar ist.

### Die Höllgrotten bei Baar

Eines der weltweit beeindruckendsten Gebilde aus Kalktuff, das dank eines umsichtigen Steinbruchbetreibers vor dem Abbau verschont werden konnte, befindet sich im Lorzetobel bei Baar: die Höllgrotten. Besonders saures Quellwasser (also mit tiefem pH), das in einem Moorgebiet seinen Ursprung hatte, baute zwischen 8'500 und 5'500 Jahren vor heute einen riesigen Quelltuffberg im Lorzetobel auf. Der Tuffstock wurde von der Lorze unterspült, wodurch sich Höhlungen bildeten. An einer Stelle kam es zum Einsturz, das herabsackende Gestein schloss einen Hohlraum ein, in dem sich ein unterirdischer See bildete. Dadurch entstanden innerhalb des Quelltuffs die heutigen Höhlen (Abb. 16).

### Sinterterrassen, Stalaktiten und Stalagmiten

Eine massive Form der Kalkabscheidung ohne Einwirkung von Vegetation ist Kalksinter. Dieser entsteht hauptsächlich in Karsthöhlen, wo kalkreiches Wasser von der Höhlendecke tropft und der ausgeschiedene Kalk sehr langsam wachsende Zapfen, sogenannte **Stalagmiten** und **Stalaktiten** bildet (Abb. 17).

Tritt aussergewöhnlich kalkreiches Wasser an die Oberfläche, können sich **Sinterterrassen** bilden (Abb. 18). Damit dermassen viel Kalk im Wasser gelöst werden kann, muss die Konzentration von Kohlensäure im Wasser besonders hoch sein. Dies ist nur möglich, wenn zusätzliche Kohlensäure zugeführt wird, z. B. durch vulkanische Aktivität im Untergrund, denn vulkanische Gase sind oft sehr reich an  $\text{CO}_2$ .



Abb. 17: Stalaktiten (1) und Stalagmiten (2) in der Obir-Karsthöhle in Österreich



Abb. 18: Kalksinter-Terrassen bei Pamukkale in der Türkei. In einem Liter des 58°C warmen Wassers sind bis zu 2,2 g Kalk gelöst, die tägliche Menge an ausgeschiedenem Kalk könnte demnach maximal 48 Tonnen erreichen, ist aber markant geringer.

