

# Geologische Schifffahrt auf dem Vierwaldstättersee

Walter Wildi & Jörg Uttinger  
2019



<https://www.erlebnis-geologie.ch/geoevent/geologische-schifffahrt-auf-dem-vierwaldstaettersee-d-e-f/>

# Geologische Schifffahrt auf dem Vierwaldstättersee

Walter Wildi & Jörg Uttinger

2019

<https://www.erlebnis-geologie.ch/geoevent/geologische-schifffahrt-auf-dem-vierwaldstaettersee-d-e-f/>

## Zusammenfassung

Der vorliegende Exkursionsführer führt auf einer Dampfschifffahrt durch einen geologischen Schnitt von Luzern bis Flüelen, das heisst vom Alpenrand bis an die Basis der sogenannten «Helvetischen Decken».

Die Einführung präsentiert die Erdgeschichte des Alpenraumes vom Oberen Paläozoikum (ab etwa 315 Millionen Jahren) durch das Mesozoikum und die Öffnung des Alpenmeeres bis zur Auffaltung der Alpen und ihrer Erosion durch die Gletscher.

Das Mesozoikum (250 bis 65 Mio Jahre) entspricht der Periode der Helvetischen Karbonatplattform, verbunden (ab dem Jura) mit einem weltweit hohen Meeresspiegel. Die Alpenfaltung startete in der Kreide (ab etwa 100 Mio Jahren); sie manifestierte sich aber im nördlichen Teil des Alpenmeeres erst ab dem Eozän (etwa 40 Mio Jahre) mit der Ablagerung von Flyschgesteinen, im Oligozän und durch das Miozän, gefolgt durch die Jurafaltung im Pliozän.

Im Oligozän und Miozän (34 bis 7 Millionen Jahre) bildeten sich am Nordrand der Alpen und im Alpenvorland die mächtigen Molasseablagerungen aus dem Erosionsmaterial der aufsteigenden Bergketten. Die heutige Topographie verdanken die Alpen mit ihren tief eingegrabenen Täler in erster Linie der Aktion der Gletscher der Eiszeiten im Verlauf der letzten etwa 800'000 Jahre des Pleistozäns, vor Beginn des Holozäns, der Nacheiszeit der letzten 10'000 Jahre.

Die Schifffahrt startet in Luzern, an der geologischen Grenze zwischen der Mittelländischen und der Subalpinen Molasse. Sodann führt sie der Rigi entlang durch deren mächtige, nach Süden einfallende Scholle von Subalpiner Molasse und dringt bei Vitznau in das spektakuläre Deckengebirge des Helvetikums ein. Auf dem Urnersee quert man erst die Drusberg- und dann die Axen-Decke. Die Fahrt endet in Flüelen, in der wiederum viel sanfteren Landschaft der Sedimentbedeckung des Aaremassivs.

Walter Wildi, Département F.A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Université de Genève, Uni Carl Vogt - 2ème étage, 66 boulevard Carl-Vogt, CH-1211 Genève 4. Privatadresse: Chemin des Marais 23, 1218 Le Grand Saconnex. [walter.wildi@unige.ch](mailto:walter.wildi@unige.ch)

Jörg Uttinger, Weidhuobli 3, 6430 Schwyz, [joerg.uttinger@bluewin.ch](mailto:joerg.uttinger@bluewin.ch)

## «Es lächelt der See, er ladet zum Bade»\*

Für romantische Menschen, Maler und Schriftsteller steht der Vierwaldstättersee im Zentrum einer malerischen und eindrucksvollen Berglandschaft. Der See ist Sportplatz für Segler und Planschbecken für Kinder. Für Berufsfischer bedeutet er Arbeitsplatz und Auskommen. Ein Geograph wird darin einen Transportweg erkennen. Der See ist aber auch ein Ökosystem und Lebensraum für Pflanzen und Tiere. Für einen Geologen endlich trägt der Alpensee die unverkennbare Signatur vergangener Eiszeiten, das heisst der grössten Klimawechsel der Erdgeschichte.

Mit dem vorliegenden Exkursionsführer möchten wir den Vierwaldstättersee auf eine besondere Weise erfahren, nämlich als Zugang für einen Blick in die tiefe Geologie der Alpen. Hierzu schlagen wir vor, einen geologischen Schnitt von Luzern bis Flüelen, das heisst vom Alpenrand bis an die Basis der sogenannten Helvetischen Decken auf einer Dampfschiffahrt zu erleben.

Diese «Erlebnisreise» ist nicht ganz neu: Bereits im Geologischen Führer der Schweiz aus dem Jahr 1934 wird die Dampfschiffahrt beschrieben. Allerdings ging sie seither etwas vergessen. Wir möchten sie hier entstauben und neu für sie werben.

Am besten plant man die Reise an einem sonnigen Tag, im Frühjahr, Sommer oder Herbst. Aber die Schifffahrtsgesellschaft Vierwaldstättersee bietet während dem ganzen Jahr, also auch im Winter, Fahrten zwischen Luzern und Flüelen an.

\* *Friedrich Schiller 1804: «Wilhelm Tell», erster Aufzug, erste Szene*



Abbildung 1: Tellsprung im Föhnsturm (Tellskapelle)

### Eckdaten zum Vierwaldstättersee

Der Vierwaldstättersee ist ein Alpenrandsee mit einer eigenartigen, einem Salamander gleichenden Form. Der Seespiegel liegt 434 m über Meer; seine Fläche beträgt 14 km<sup>2</sup>, sein Volumen 12 km<sup>3</sup> und seine maximale Tiefe 214 m im Gersauer Becken.

Die Oberflächentemperatur des Wassers schwankt in Funktion der Jahreszeit zwischen etwas über dem Gefrierpunkt im Winter und etwa 22 °C im Sommer. In der Tiefe des Seebeckens liegen die Temperaturen um 5 bis 6 °C. Die Aufenthaltszeit des Wassers beträgt im Schnitt 3.4 Jahren.

Die wichtigsten Zuflüsse sind die Reuss, die Engelberger Aa, die Sarner Aa und die Muota. Der Abfluss erfolgt durch die Reuss in Luzern. Die Zentralschweizer Kantone Luzern, Schwyz, Uri und Nidwalden teilen sich den Anstoss an den See.

Die verschiedenen Becken des verzweigten Sees tragen lokale Namen: Luzernersee, Küssnachersee, Alpnachersee, Stanser Trichter, Chrüztrichter, Vitznauer Bucht, Gersauer See, Buochser Bucht, Urnersee.



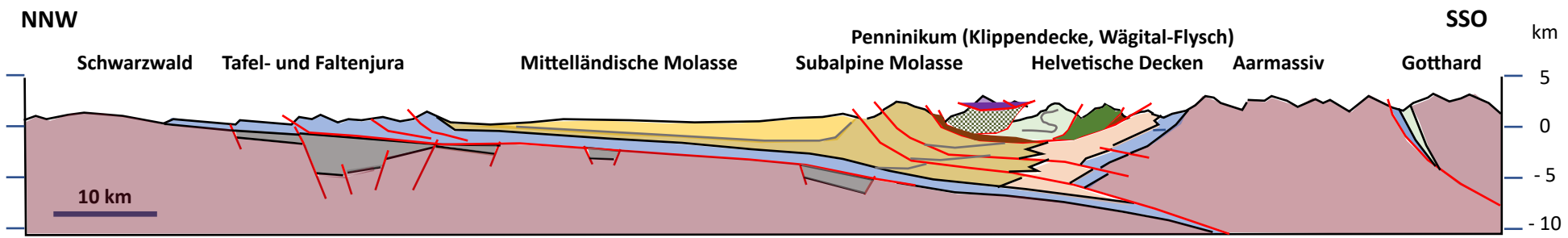
# Ein Abriss der Erdgeschichte vom Alpenmeer zur Alpenfaltung, den Eiszeiten und zur heutigen Zeit

Die geologische Schiffsreise durch die Geologie am Nordrand der Alpen erfordert einige Kenntnisse der wichtigsten Etappen der Erdgeschichte. Wir beschränken uns hier auf dieses Basiswissen. Detailliertere Informationen finden sich im ausgezeichneten Buchkapitel von Beat Keller (2007):

[https://www.researchgate.net/profile/Beat\\_Keller4/publication/282979520\\_So\\_entstand\\_der\\_Vierwaldstattersee/links/5625357908aeabddac91c86a/So-entstand-der-Vierwaldstaettersee.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Beat_Keller4/publication/282979520_So_entstand_der_Vierwaldstattersee/links/5625357908aeabddac91c86a/So-entstand-der-Vierwaldstaettersee.pdf)



**Abbildung 2:** Vereinfachte geologische Karte der Schweiz (© swisstopo)



Vom stabilen Europa zum aufgeschobenen Aare- und Gotthardmassiv

- Mesozoische Sedimente (Trias, Jura) des europäischen Kontinentes
- Permo-Karbon Tröge
- Europäische kontinentale Kruste, Aare- und Gotthardmassiv

- Mittelländische und Subalpine Molasse (Miozän und Mittleres-Oberes Oligozän)
- Sog. «Nordhelvetischer Flysch», Oligozän

Panorama im Osten des Vierwaldstättersees Abb. 13

- Helvetische Decken: Drusberg-Decke
- Axen- und Gitsch-Decke

- Penninikum: Klippen-Decke
- Wägital-Flysch

- Diverse «Wildflysche»: gemischte Gesteinsformationen an der Basis der alpinen Decken

**Abbildung 3:** Geologisches Profil vom Schwarzwald zum Gotthardmassiv ([www.nagra.ch](http://www.nagra.ch), ergänzt)

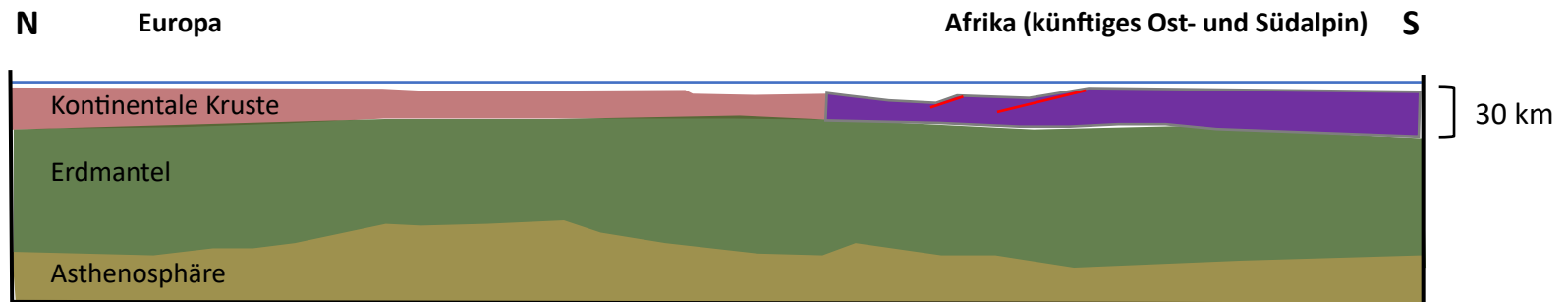
Das **Alter unseres Planeten** beträgt rund 4.6 Mia Jahre. Die ältesten Gesteine im geologischen Querschnitt vom Schwarzwald im nördlichen Alpenvorland zum alpinen Gotthardmassiv sind allerdings bedeutend jünger (Abb. 2, 3). Es handelt sich im wesentlichen um granitische Gesteine die aus Gesteinsmagmen während zwei Orogenesen (Gebirgsbildungen) während dem **Erdaltertum (Paläozoikum)** entstanden (Tabelle 1), nämlich während der sogenannten „Kaledonischen“ (ca. 450 – 420 Mio Jahre) und der „Herzynischen“ Orogenese (360 - 270 Mio Jahre). Die Granite sind umgeben von Umwandlungsgesteinen (sog. *metamorphen* Gesteinen), v.a. von Gneisen, welche entweder während den erwähnten Orogenesen entstanden, oder eventuell auch älter sind.

Gegen Ende des Paläozoikums durchzogen die variszischen Gebirge ganz West- und Zentraleuropa von West nach Ost. Diese Gebirgsketten wurden im späten Karbon und im Perm unter dem Einfluss der Verwitterung abgetragen. Als Zeugen dieser Abtragung (oder Erosion) findet man mit Schutt gefüllte Täler und tiefe Gräben im kristallinen Grundgebirge, sogenannte „Permokarbon-Tröge“. Diese können neben Sandsteinen, Konglomeraten und Tonen auch Schichten mit viel organischem Material und selbst Kohleflöze führen. Solche Gesteine finden sich beispielsweise am Tödi im Kanton Glarus und im Untergrund des Faltenjuras der Nordschweiz (Abb. 3).

Die Gesteine des Grundgebirges bilden den tiefen geologischen Untergrund vom Schwarzwald im Norden durch das Mittelland und die Alpenfront bis zu den Massiven im Süden. Im Aare- und Gotthardmassiv wurden diese Schollen der Erdkruste während der späten Alpenfaltung im Neogen gegen Norden auf das europäisches Vorland aufgeschoben (Abb. 3, Tabelle 1).

Zu Beginn der **Trias** (251 Mio Jahren) war das Relief weitgehend durch die Erosion der Gebirge abgeflacht. Eurasien und Afrika gehörten demselben Riesenkontinent Pangäa an. Ein erster Meereseinbruch erfolgte in der Oberen Trias in den Ostalpen (Abb. 4). Auf dem europäischen Kontinent lagerten sich währenddessen bei heissem Wüstenklima Sandsteine, Salz, Gips und (während der Mittleren Trias) Muschelkalk und Dolomite in einem seichten, mit dem Norden verbundenen „germanischen“ Meer ab.

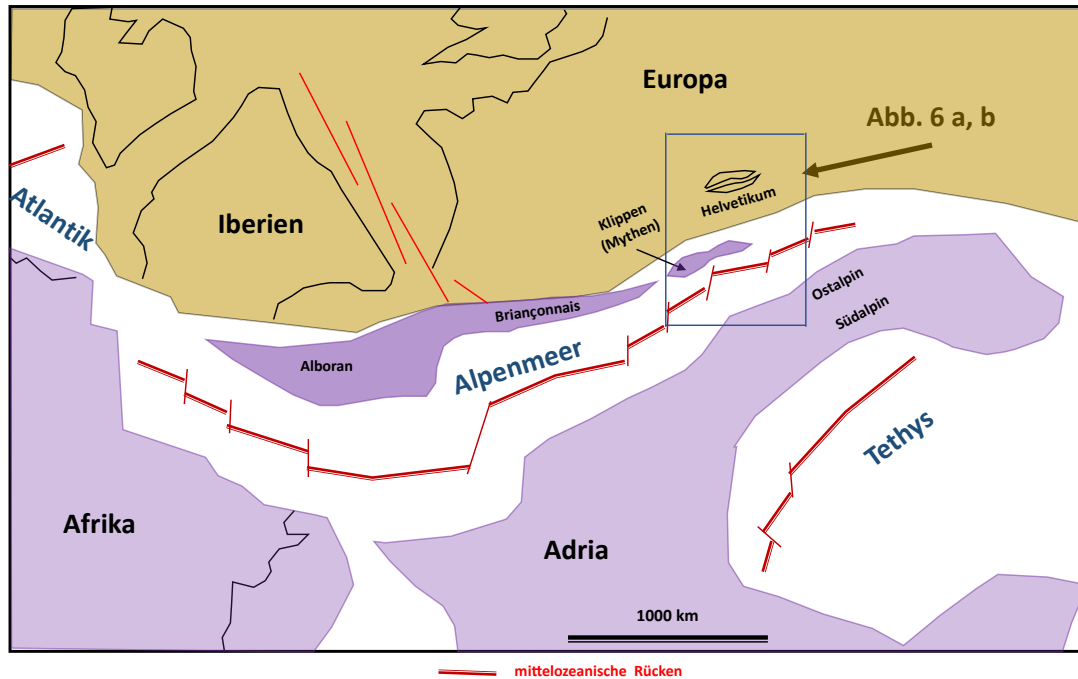
Zu Beginn der **Jura** genannten Periode, ab 201 Mio Jahren begann ein lange währender, langsamer Anstieg der Weltmeere. Dabei wurde der europäische Kontinent weitgehend überflutet, und Flachmeersedimente (v.a. Kalke und Mergel) lagerten sich ab. Im **Lias** (201 – 174 Mio Jahre) blieb das Gebiet um das Aaremassiv allerdings noch trocken und kontinental („Alemannischer Kontinent“).



**Abbildung 4:** Mittlere Trias, schematischer geologischer Schnitt durch Erdkruste und –mantel von Europa nach Afrika.

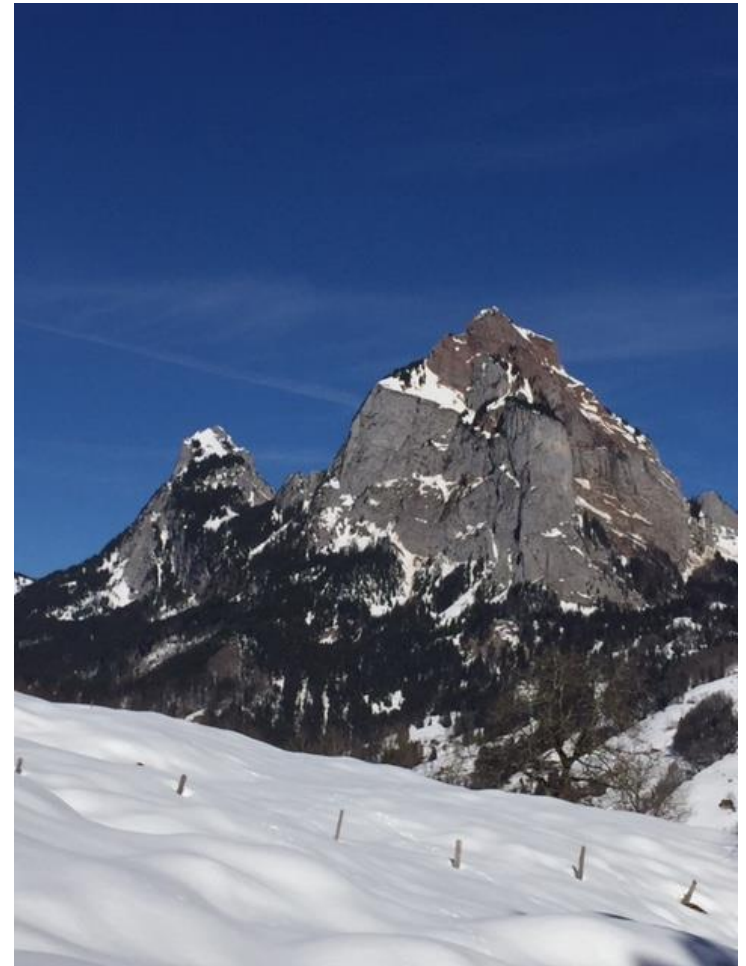
**Tabelle 1: Geologische Zeittabelle zur Erdgeschichte in der Zentralschweiz**

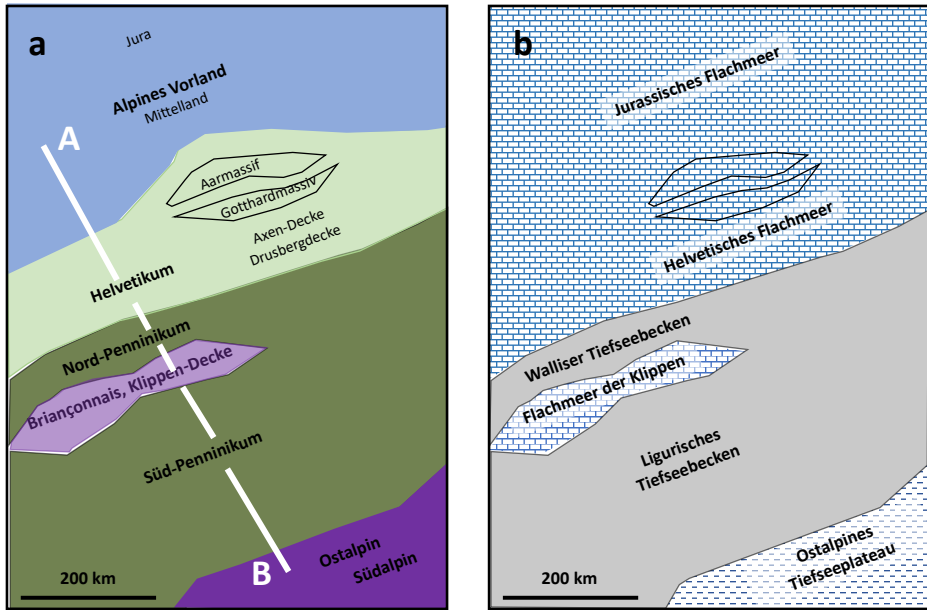
| Zeit-<br>alter               | Periode  | Epoche                       | Zeitmarken<br>(Millionen Jahre)  | Erdgeschichtliche Ereignisse   |                 |
|------------------------------|----------|------------------------------|--|--|-----------------|
| Känozoikum<br>Erdneuzeit     | Quartär  | Holozän (Nacheiszeit)        | - 0.01   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15'000 Jahre: Permanente menschliche Besiedelung</li> <li>• Wechselweise kaltes (Eiszeiten) und warmes Klima (Zwischeneiszeiten). Gletschererosion der Alpentäler.</li> </ul>   |                 |
|                              |          | Pleistozän                   | Würmeiszeit  |  | - 0.12          |
|                              |          |                              | Risseiszeit  |  | - 0.3 – 0.13 ?  |
|                              |          |                              | Mindeleiszeit  |  | - 0.46 – 0.40 ? |
|                              |          |                              | Günzeiszeit  |  | - 0.80 – 0.60 ? |
|                              | Neogen   | Pliozän                      | - 2.6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auffaltung des Juragebirges.</li> </ul>   |                 |
|                              |          | Miozän                       | - 5  |  |                 |
| Oligozän                     |          | - 23                         |  |  |                 |
| Paläogen                     | Eozän    | - 34                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ablagerung von Meeres- und Süsswassermolassen aus dem Erosionsschutt der Alpen (Subalpine und Mittelländische Molasse).</li> <li>• Nordhelvetischer Flysch.</li> <li>• Anfang der Alpenfaltung im nördlichen Alpenmeer</li> </ul> |  |                 |
|                              | Paläozän | - 56                         |  |  |                 |
|                              |          | - 65                         |  |  |                 |
| Mesozoikum<br>Erdmittelalter | Kreide   | Oberkreide                   | - 100  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberkreide: Tiefseeablagerungen, Zeugen der ersten Alpenfaltung im Penninikum (Schlieren- u. Wägital-Flysch).</li> <li>• Unterkreide, Alpines Vorland, nördliches Helvetikum: keine Sedimentbildungen bekannt. Südliches Helvetikum (Drusberg-Decke), Wechsellagerung von Kalken und Mergeln in einem Schelfmeer mit wechselnder Tiefe.</li> <li>• Jura, Nordalpines Vorland, Helvetikum und Briançonnais (Klippen): Warmes, untiefes Schelfmeer; Bildung von Kalk- und Mergelgesteinen; Fossilien: Muscheln, Ammoniten, Seelilien, Korallen. Öffnung des Alpenmeeres, Tiefseesedimente im Nord- und Süd-Penninikum sowie im Ostalpin.</li> <li>• Trias: Wüstenhaftes Klima, Ablagerung von Gips und Salz in Sebkhas (Salzwüsten); flaches Muschelkalkmeer.</li> <li>• Perm und Karbon: Aufreissen tiefer tektonischer Gräben (Permokarbon-Tröge), Abtragung der herzynischen Gebirgsketten; Perm: Bildung von roten Ablagerungen (Flüsse und Schwemmebenen). Karbon: Ablagerung von organischem Material (Kohleflöze).</li> <li>• Herzynische Gebirgsbildung.</li> </ul> |                 |
|                              |          | Unterkreide                  | - 145  |  |                 |
|                              | Jura     | Malm                         | - 164  |  |                 |
|                              |          | Dogger                       | - 174  |  |                 |
|                              |          | Lias                         | - 201  |  |                 |
|                              | Trias    | Keuper                       | - 235  |  |                 |
|                              |          | Muschelkalk<br>Buntsandstein | - 243<br>- 251   |  |                 |
| Paläozoikum<br>Erdaltertum   | Perm     | - 299                        |  |  |                 |
|                              | Karbon   | - 359                        |  |  |                 |



**Abbildung 5 a:** Paläogeographie der Kontinente und Meere im Malm, vor 150 Millionen Jahren.

**b:** Der Grosse Mythen gehört der Klippendecke an. Diese stammt von einer seichten Schwelle im nördlichen Teil des Alpenmeeres, dem sogenannten « Briançonnais ». Die massiven, grauen Kalke an der Basis der Bergpyramide wurden im Malm im seichten Meer abgelagert. Darüber liegen die roten « Couches Rouges » aus der Kreide (Foto J.U.)

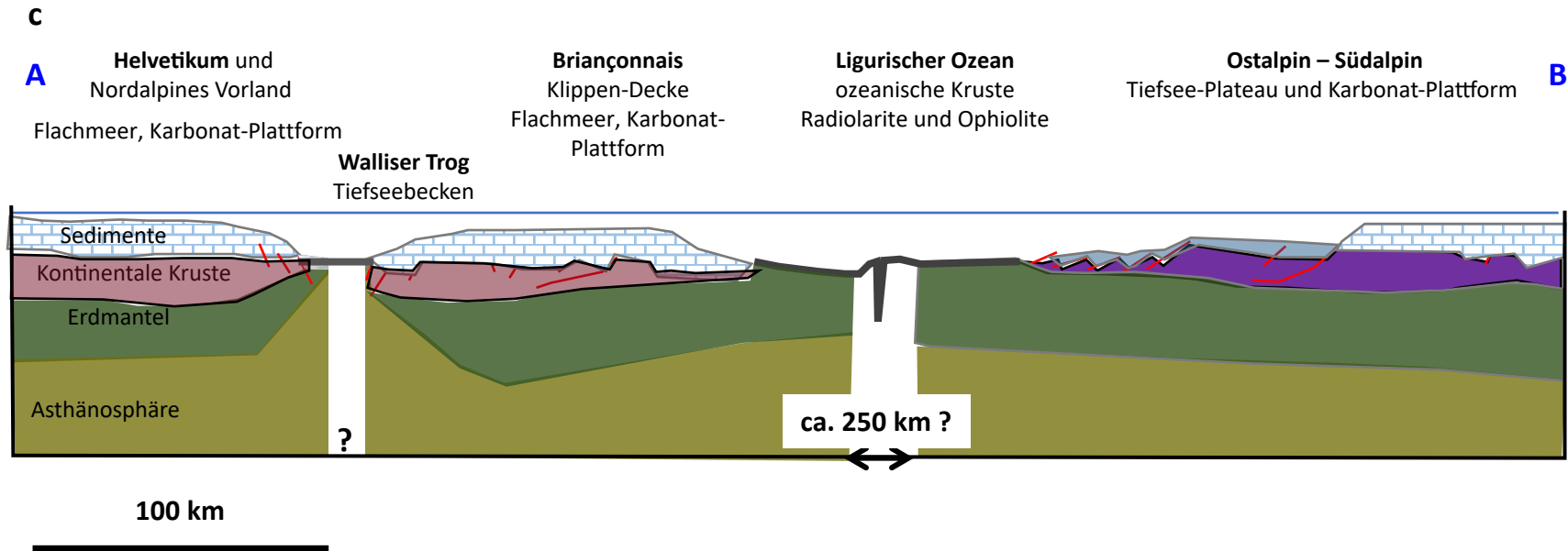




**Abbildung 6 a:** Paläogeographische Rekonstruktion der Position der geologischen Einheiten vom Jura im Norden zu den Südalpen während dem Malm (vor 150 Mio Jahren).

**b:** Ablagerungen des Alpenmeeres.

**c:** A – B Schematischer Schnitt durch das Alpenmeer der westlichen Zentralalpen während dem Malm.

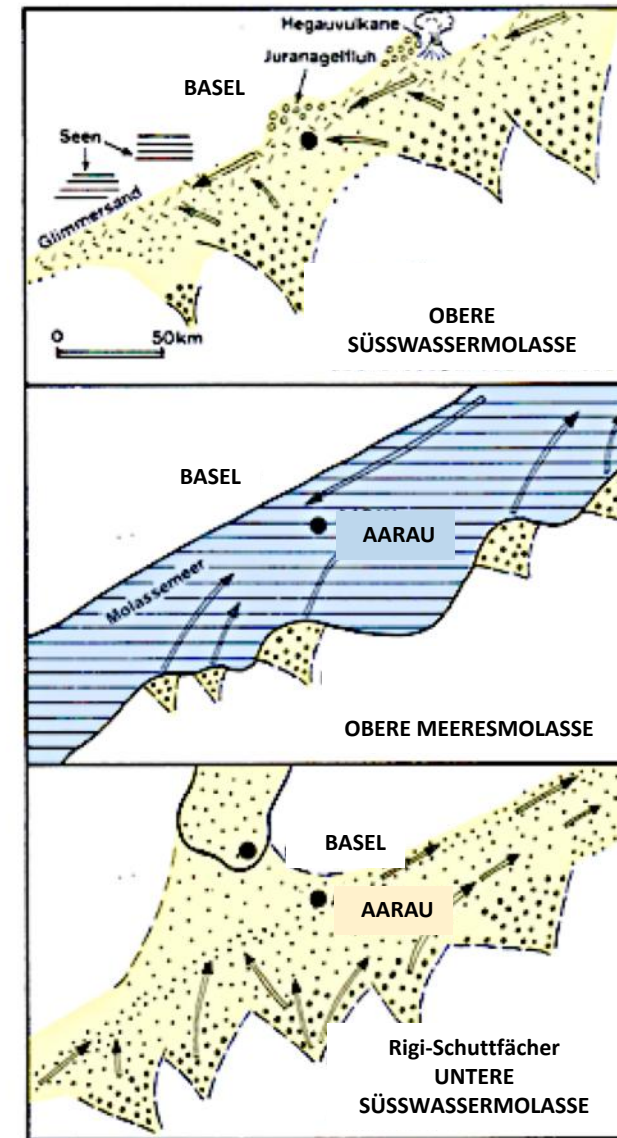




Im Mittleren und Oberen Jura (**Dogger und Malm**, von 174 bis 145 Mio Jahren) drifteten Europa und Afrika auseinander. Dazwischen entstand das Alpenmeer mit dem tiefen Walliser Becken (Nord-Penninikum) und dem Ligurischen Ozean (Süd-Penninikum, Abb. 5, 6). Während dieser Periode bildeten sich alle paläogeographischen Räume aus, welche heute im alpinen Deckenstapel durch ihre Gesteinsformationen vertreten sind. Im Nordalpinen Vorland, im Helvetikum, auf der Meeresplattform des „Briançonnais“ und in den Südalpen lagerten sich Kalke und Mergel ab. Aus der Zusammensetzung der Sedimente abgeleitete Wassertiefen erklären sich durch sogenannte „eustatische“, d.h. weltweite Meeresschwankungen, provoziert durch Klimaschwankungen und Vulkanismus auf den mittelozeanischen Rücken, sowie durch die Subsidenz des Meeresgrundes. Tiefwassersedimente, Radiolarite und selbst vulkanische ozeanische Gesteine (sogenannte Ophiolite) finden sich in den tiefen penninischen Meeresbecken, v.a. im Ligurischen Ozean.

Während der **Kreide** (145 bis 66 oder 65 Mio Jahre) erlebte die Erde die höchsten Meeresstände seit dem Paläozoikum. Im Nordalpinen Vorland, über dem Aarmassiv und in den nördlichsten Bereichen des Helvetikums (Abb. 6 und 15 finden sich allerdings keine Sedimente dieser Periode, entweder weil sie nicht abgelagert, oder aber weil sie nach ihrer Ablagerung wieder erodiert wurden. Im südlichen Helvetikum handelt es sich um zyklische mergelige und kalkige Plattformsedimente, welche von wechselnden Meerestiefen zeugen. Erste Spuren des sich durch die Annäherung von Afrika und Europa wieder verengenden Alpenmeeres, finden sich ab der Basis der Oberkreide im Walliser Trog und dem Ligurischen Ozean. Es handelt sich um sogenannte Flysche, d.h. um sandige und tonige Tiefseesedimente welche das auf tektonisch emporgehobenen Inselbögen abgetragene und ins Tiefmeer verschwemmte Material enthalten. Im Querschnitt des Vierwaldstättersees treffen wir diese Sedimente in einer tektonisch weit nach Norden verfrachteten Decke im Wägital-Flysch (Abb. 3, 13) und dem Schlieren-Flysch an.

Die Ablagerung von Flysch ging in den tiefen Becken während dem **Paläozän und Eozän** (65 -34 Mio Jahre) weiter; ebenso die Ablagerung von Plattformsedimenten in geringeren Wassertiefen im Helvetikum.



**Abbildung 7:** Paläogeographie des Molassebeckens vom mittleren Oligozän (Untere Süswassermolasse) bis zum späten Miozän (Obere Süswassermolasse, nach Trümpy 1980).

Der weit im Norden gelegene Jura lag über dem Wasser und die Verwitterung führte bei tropischem Klima zur Bildung von Bolus, d.h. von Eisenoxyden in knolliger Form.

Im obersten Eozän und dem untersten Oligozän schritt der Deckenbau der Alpen im Eiltempo voran. Dies führte in einem schmalen Meeresarm zur Ablagerung des sogenannten Nordhelvetischen Flysches, den letzten Sedimentbildungen im Alpenraum.

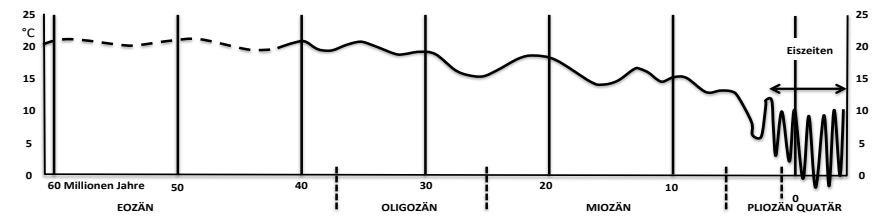
Ab dem frühen **Oligozän** (kurz nach 34 Mio Jahren) migrierte die Sedimentation ins Alpenvorland, etwa ins Gebiet vom Norden des Aaremassivs bis ins südliche Mittelland, wo sich in einem schmalen Ost-West orientierten Meeresarm die sogenannte Untere Meeresmolasse bildete. Dieser Meeresarm wurde aber rasch aufgefüllt; der Meeresspiegel senkte sich ausserdem ab, und die mächtigen Schuttfächer der Unteren Süsswassermolasse vom Mt. Pélerin zum Napf, der Rigi und dem Hörnli bauten sich auf (Abb. 7).

Im **Miozän**, v.a. ab dem sogenannten Burdigalian (ab 20.5 Mio Jahren) schritt die Alpenfaltung weiter nach Norden voran. Die Schuttkegel der Unteren Süsswassermolasse wurden in sich verschuppt und nach Norden überschoben. Das Meer stieg erneut an und überflutete das Gebiet vom mittleren Mittelland bis zum Jura. Diese Obere Meeresmolasse erstreckt sich vom Wiener Becken über das schweizerische Mittelland bis zum Mittelmeer. Nach dem Rückzug des Meeres bildeten sich nochmals Schuttkegel die sich auf der Höhe der Zentralschweiz vom Nordrand der Subalpinen Molasse bis ins Mittelland hinaus erstreckten. Ein Flusssystem aus den Ostalpen lieferte Glimmersand bis in den Tafeljura.

Kurz vor Ende des Miozäns, vor etwa 7 Mio Jahren, war die Sedimentation im Alpenvorland abgeschlossen. Dies weist darauf hin, dass das Relief bereits so ausgeprägt war, dass die Flüsse das erodierte Material aus den Alpen direkt ins Mittelmeer transportierten.

Als letztes grosses Ereignis der Alpenfaltung wurde im Pliozän der Faltenjura gebildet.

Das Relief der Alpen, mit seinen hohen Berggipfeln und tief eingegrabenen Tälern entstand in der Folge einer Klimakrise, den **Eiszeiten** (Abb. 8, 9).

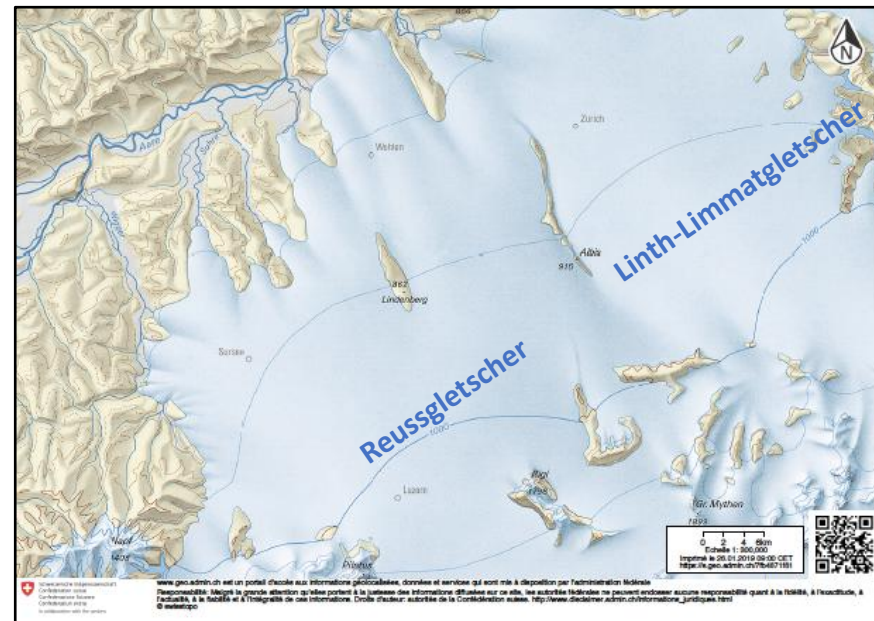


**Abbildung 8** oben: Entwicklung der mittleren Erdtemperaturen im Verlauf der letzten 60 Mio Jahre; Mitte: Luzern bei subtropischem Klima vor 20 Mio Jahren. Unten: Luzern während der letzten Eiszeit (Gletschergarten Luzern, Oelbild von Ernst Hodel, nach einem Entwurf des Geologen Albert Heim).

Die drei Abbildungen stellen den Landschaftswechsel als Folge der grossen Klimawechsel dar.

Die Vereisungen setzten vor zwei Millionen Jahren ein, hinterliessen aber im Alpenraum vorerst kaum heute noch erkennbare Spuren. Ab etwa 800'000 Jahren vor der heutigen Zeit ereigneten sich sodann vier längere Kaltzeiten mit Gletschervorstössen bis ins Mittelland und selbst in den Jura. Jede dieser Eiszeiten kannte mehrere Fluktuationen der Gletscherzungen. Seit der Publikation des Pionierwerks von Penck und Brückner im Jahr 1909 werden diese Eiszeiten in Anlehnung an ihre Typuslokalitäten im bayrischen Alpenvorland als **Günz-, Mindel-, Riss- und Würmeiszeit** bezeichnet.

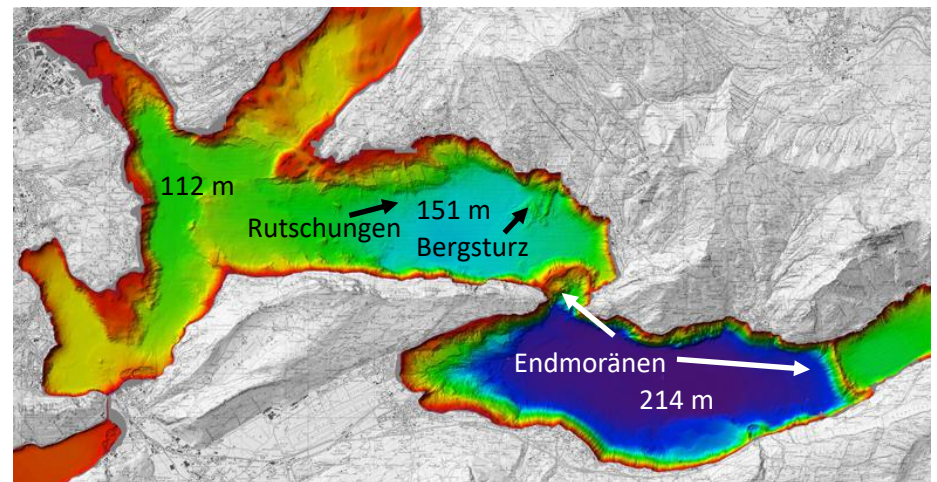
Der heutige tiefe Taleinschnitt des Reusstals und seiner Zuflüsse und das Seebecken des Vierwaldstättersees wurden in der Würmeiszeit so stark ausgehobelt wie wir sie heute kennen. Der Ablauf dieser letzten Kaltzeit kann auf der nördlichen Hemisphäre wie folgt beschrieben werden:



**Abbildung 9:** Maximale Ausdehnung des Reussgletschers während der letzten Eiszeit (© swisstopo).

- Ab 122'000 Jahren wuchsen die Eiskappen an den Polen und in den Gebirgen stark an.
- Nach einer langen Periode von Gletscherschwankungen wurde eine erste maximale Ausdehnung der Gletscher um 70'000 BP\* Jahre erreicht. Sie dauerte bis zu 60'000 BP.
- Die Geschichte ging weiter mit schnellen Schwankungen, aber kleineren Eismengen. Um 35'000 – 30'000 BP begann die zweite Periode maximaler Eisausdehnung. Sie dauerte bis 23'000 oder 22'000 Jahre und ein letzter Vorstoss ist mit 20'000 Jahren datiert. Die maximale Ausdehnung des Reuss- und des angrenzenden Linth-Limmatgletschers ist in Abb. 9 dargestellt. Der Gletscherstand war damals etwas höher, als im Bild Abb. 8 (unten) dargestellt.

Wie die bathymetrische (Tiefen-)Karte (Abb. 10) zeigt, hinterliess der Reussgletscher bei seinem Rückzug bei Vitznau und Gersau ausgeprägte Endmoränen. Nach dem Gletscherrückzug ereigneten sich im See bis in



**Abbildung 10:** Bathymetrische Karte (Wassertiefen) des Vierwaldstättersees ([http://www.geo.unibe.ch/research/quaternary\\_geology\\_and\\_paleoclimatology/index\\_eng.html](http://www.geo.unibe.ch/research/quaternary_geology_and_paleoclimatology/index_eng.html)).

\* BP: Alter bestimmt durch den Gehalt der im Sediment enthaltenen organischen Materie an radioaktivem Kohlen-14.



die heutige Zeit immer wieder Bergstürze und Rutschungen, z.T. ausgelöst durch Erdbeben und begleitet von Tsunamis (Hilbe et al. 2011).

Vor etwas mehr als 10'000 Jahren standen die Gletscher im Alpenraum wieder etwa dort, wo wir sie heute kennen. Der Vierwaldstättersee hatte etwa dieselbe Ausdehnung wie heute. Einzig die Flussdeltas stiessen seither noch etwas weiter in den See vor.

## Der geologischer Rahmen des Vierwaldstättersees

### Von der Deckentheorie zur Paläogeographie

Die „**Deckentheorie**“ wurde an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert entwickelt. Geologen hatten beobachtet, dass in den Alpen - und in andern Gebirgen - ältere Gesteinsschichten mit scharfem Kontakt über jüngeren Schichten liegen. Dies konnten sie nur damit erklären, dass die älteren Schichten bei der Gebirgsbildung mechanisch in diese Position geschoben worden waren. Die geologische Kartierung wies darauf hin, dass diese Überschiebungen Gesteinsschollen von mehreren Kilometern Ausdehnung und hunderten von Metern Mächtigkeit, also eigentliche „**Decken**“, betraf. Das seither entstandene geologische Bild der Alpen zeigt, dass das ganze Gebirge durch diese Decken-Architektur gekennzeichnet ist: Bei der Kollision zwischen Europa und Afrika wurden in den Alpen Sedimentschichte und mächtige Schollen der oberen Erdkruste durch den Druck von ihrem Substrat seitlich abgeschert und entweder nach Norden auf das europäische, oder nach Süden auf das adriatische (bzw. afrikanische) Vorland überschoben.

Das geologische Profil der Abb. 3 zeigt diesen Deckenbau im Querschnitt des Vierwaldstättersees. Will man die Sedimente und die Gesteine der kristallinen Erdkruste in diesem Profil in ihre ursprüngliche geographische Position bringen, so reicht es an sich, dass man die Decken in ihre Position im Süden zurückverschiebt. Auf diese Weise erhält man eine „**paläogeographische Karte**“, wie in Abb. 6 dargestellt. Dass in dieser Karte die Abfolge der paläogeographischen Räume von Norden nach Süden allerdings nicht einfach der vertikalen

Abfolge der geologischen Einheiten in Abb. 3 entspricht, erklärt sich durch Komplikationen in der Abwicklung der tektonischen Ereignisse bei der Alpenfaltung, auf die wir hier nicht eingehen wollen.

Verbindet man die geologischen Einheiten im Profil der Abb. 3 mit den paläogeographischen Räumen in Abb. 6 so ergibt sich folgende Korrelation:

| <u>Geologische Einheit</u>   | <u>Paläogeographischer Raum</u>      |
|--|--------------------------------------|
| • Schwarzwald, Jura und<br>Mittelländische Molasse   | Nordalpines Vorland                  |
| • Subalpine Molasse  |                                      |
| • Aar- u. ev. Gotthardmassiv<br>Helvetische Decken (Gitschen-,<br>Axen und Drusberg-Decke) | Helvetikum                           |
| • Fehlt? Ev. Wildflysche?<br>ev. Wägital-Flysch?   | Nord-Penninikum, Walliser Trog       |
| • Klippen-Decke  | Mittleres Penninikum, „Briançonnais“ |
| • Ev. Wägital-Flysch?  | Süd-Penninikum, Ligurischer Ozean    |
| • Fehlt  | Ostalpin, Südalpin                   |

In diesem geologischen Querschnitt sind die exakten paläogeographischen Positionen des Gotthardmassivs und des Wägital-Flyschs noch umstritten.

Die detaillierte Beschreibung des geologischen Profils erfolgt im nächsten Kapitel, im Rahmen der Dampfschiffahrt von Luzern nach Flüelen.





**Abbildung 11:** Dampfschiff flotte Vierwaldstättersee

### Die Dampferflotte

Neben fünfzehn Motorschiffen betreibt die Schifffahrtsgesellschaft des Vierwaldstättersees in der warmen Jahreszeit fünf historische Dampfschiffe (<https://www.lakelucerne.ch/schiffsmiete/flotte/>):

DS Stadt Luzern: Das grösste Schiff für maximal 1100 Personen. Die Maschine wurde durch die Gebrüder Sulzer (Winterthur) gebaut; Jungfernfahrt im Jahr 1928.

DS Schiller: Dieser klassische Raddampfer mit Jugendstil-Salon fasst im Maximum 900 Personen. Auch seine Maschine stammt von Sulzer; Jungfernfahrt im Mai 1906.

DS Uri: Es ist das älteste Schiff, mit einem maximalen Fassungsvermögen von 800 Passagieren; seine Jungfernfahrt fand im Jahr 1901 statt.

DS Unterwalden: Das Schiff steht unter Denkmalschutz. Im Kursbetrieb nimmt es maximal 700 Passagiere in Empfang. Es wurde durch Escher Wyss gebaut und ging im Jahr 1902 auf Jungfernfahrt.

DS Gallia: Es handelt sich um den schnellsten Raddampfer auf europäischen Seen (31.5 km/h). Das Schiff wurde durch Escher Wyss (Zürich) gebaut und wird seit dem Jahr 1913 betrieben. Es transportiert bis 900 Passagiere.

### Naturmuseen in Luzern

Vor der geologischen Schifffahrt empfiehlt sich ein Besuch im Gletschergarten von Luzern:

 <https://gletschergarten.ch/>

Ein weiteres Museum nahe dem Stadtzentrum dessen Besuch sich lohnt, ist das **Natur-Museum Luzern**. Es bietet namentlich permanente Ausstellungen mit einer Einführung in die Geologie der Zentralschweiz und die Paläontologie an.

<http://www.naturmuseum.ch/>

### Geologische Schifffahrt auf dem Vierwaldstättersee

Die Schifffahrt führt von Luzern nach Flüelen. Der Fahrplan und weitere Informationen finden sich auf folgender Internet-Seite: <https://www.lakelucerne.ch/fahrplan-preise/fahrplan/>

Im Folgenden sind die Schifffahrtstrecken gemäss Abb. 12 nummeriert.

Die Abb. 12 präsentiert den geographischen Rahmen. Zur Mitverfolgung der geologischen Schifffahrt stellt die Abb. 13 b die geographische Verteilung der verschiedenen tektonischen Einheiten dar. Die Abb. 13 a zeigt ein zusammengesetztes geologisches Profil im Osten des Vierwaldstättersees. Die Nummern 1 – 11 entsprechen den Streckenabschnitten der Dampfschifffahrt zwischen den Anliegestellen. Die Abb. 14 bildet die geologischen Profile beidseits des Urnersees nach Buxtorf (1934) ab, und die Abb. 15 zeigt die Schichtabfolge in den Helvetischen Decken.



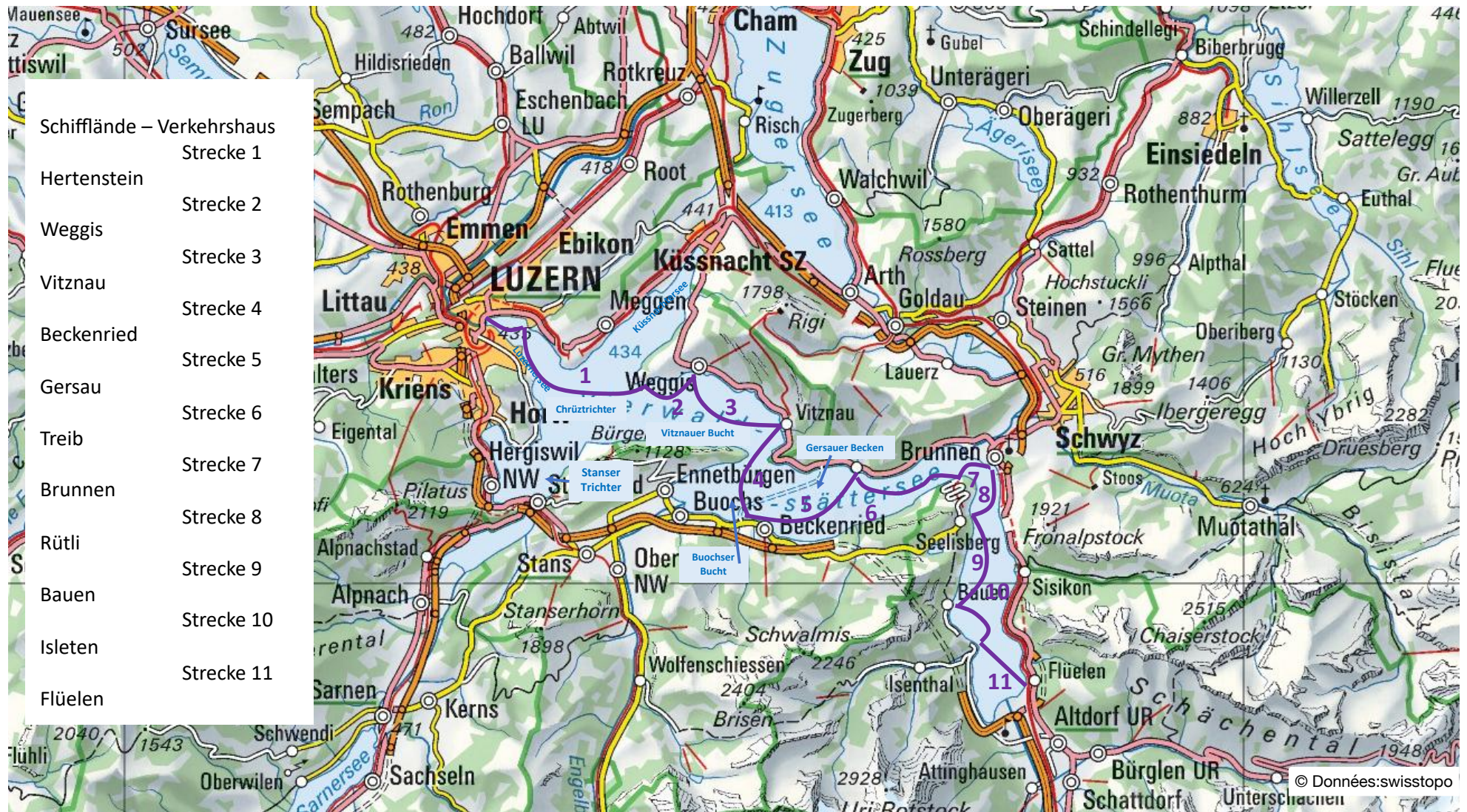


Abbildung 12: Vierwaldstättersee, geographischer Rahmen und Etappen der Schifffahrt von Luzern nach Flüelen (© swisstopo)



## (1) Schifflände Luzern – Verkehrshaus – Hertenstein

Die Fahrt über den «Chrüztrichter» und den Küssnachersee führt durch das alpine Vorland, mit Nordost – Südwest orientierten Hügelrücken, unter denen sich die verfaltete Molasse abzeichnet (Abb. 13 a, b). Die Aufschiebung der Subalpinen Molasse auf die verfaltete Molasse verläuft am Fuss des Nordwest- Abhanges der Rigi.

Ob der Name **Rigi** auf die lateinische «Regina» (die Königin der Berge) zurückzuführen ist (Wikipedia: Albrecht von Bonstetten im Jahr 1479), oder auf die als «Riginen» bezeichneten Gras- und Felsbänder, sei dahingestellt. Beide Erklärungen sind plausibel.

Bereits aus Distanz betrachtet erscheint die Rigi als enorme, gegen Südosten geneigte Gebirgsscholle (Gipfelhöhe: 1798 m) mit herausstehenden Gesteinsbänken. Diese bestehen aus groben Konglomeraten (sogenannte «Nagelfluh») und aus Sandsteinbänken. Diese Gesteinsbänke entstanden durch die Zementierung der Kiese und Sande welche im Oligozän, vor 30 Millionen Jahren durch die Gebirgsströme auf den riesigen Schuttkegeln im Vorland der Alpen abgelagert wurden.

## (2 – 3) Hertenstein – Weggis – Vitznau

Auf dieser Strecke führt die Schifffahrt dem Fuss der Rigi entlang. Der Blick auf die Bergflanke zeigt die gegen Südosten einfallenden Bänder von Wiesen und Wald, mit hier und dort hervorstehenden Konglomeratbänken (Abb. 16 b,c,d). Das vom Schiff aus sichtbare gegenüberliegende Südufer zeigt ein ganz anderes Bild; die Geologie beidseits des Seebeckens ist nicht symmetrisch.

Im Süden erhebt sich der **Bürgenstock** (Höhe: 1128 m) mit seinen steil zum See abfallenden Felspartien (Abb. 16 e). Dieser Berg gehört bereits zur sogenannten «Randkette» der Helvetischen Decken, also zur Front dieser charakteristischen alpinen Decke. Die weiss erscheinenden

Kalkstein-Formationen verlaufen vermeintlich horizontal. Im Raum betrachtet fallen sie allerdings gegen Südosten, also gegen die vom See aus nicht sichtbare Ebene der Engelberger Aa ein. Die Fortsetzung dieser Deckenfront ist in Richtung Westen am **Pilatus** sichtbar. Hier sind die Schichten in der Gipfelpartie verfaltete (Abb. 16 a). Der Pilatus ist ein eindrücklicher, weitherum dominierender Berg. Gemäss einer mittelalterlichen Sage liegt der römische Präfekt Pontius Pilatus hier begraben.

## (4 - 5) Vitznau – Beckenried - Gersau

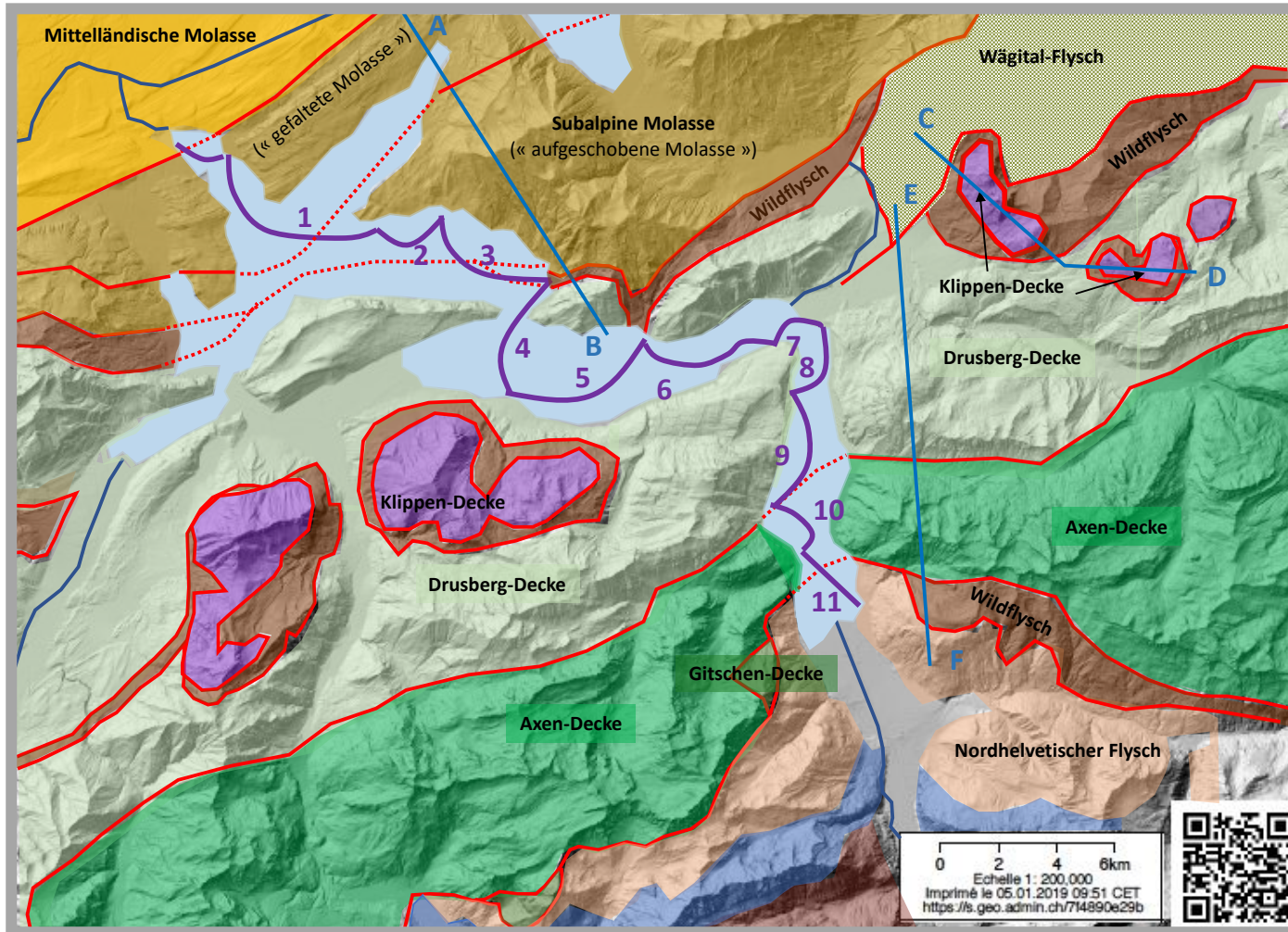
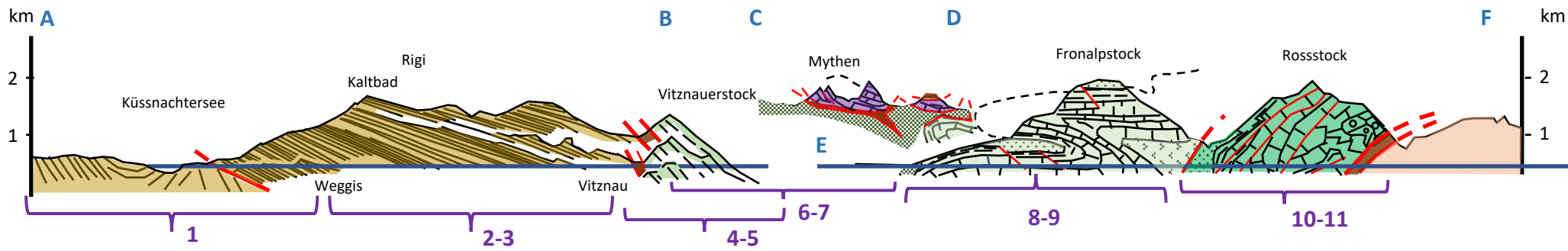
Auf dieser Fahrstrecke durchquert man nun auch auf dem nördlichen Ufer die Basisüberschiebung der Helvetischen Decken (Abb. 14). Die höhere dieser Decken, die Drusberg-Decke, ist auf eine geringmächtige Wildflysch-Formation, einer chaotischen Mischung von Gesteinsblöcken in einer mergelig-tonigen Matrix aufgeschoben. Die Schichtabfolge dieser Decke ist in Abb. 15, in zwei Kolonnen dargestellt. Die Abfolge am Vitznauerstock entspricht jener der Randkette in Abb. 13.

Die Rückfahrt ans nördliche Ufer führt nochmals in die Zone des Wildflysches. Dies erklärt sich durch eine tektonische Versetzung der Randkette (Abb. 16 g).

## (6 – 7) Gersau – Treib – Brunnen

Die Fahrt verläuft nun ganz im Innern der Helvetischen Decken. Kurz nach der Abfahrt von Gersau entdeckt man allerdings in Richtung Nordosten, über dem Dorfe Brunnen, die zwei charakteristischen Pyramiden des Kleinen (links) und des Grossen Mythen (rechts, Abb. 17 a). Diese

Auf dem Bürgenstock findet sich ein interessanter Lernpfad, der sogenannte **Felsenweg**. Er wurde in die nach Norden abfallende Felspartie gebaut und gibt Einblick in Natur und Landschaft.  
<http://lernpfad-felsenweg.ch/>



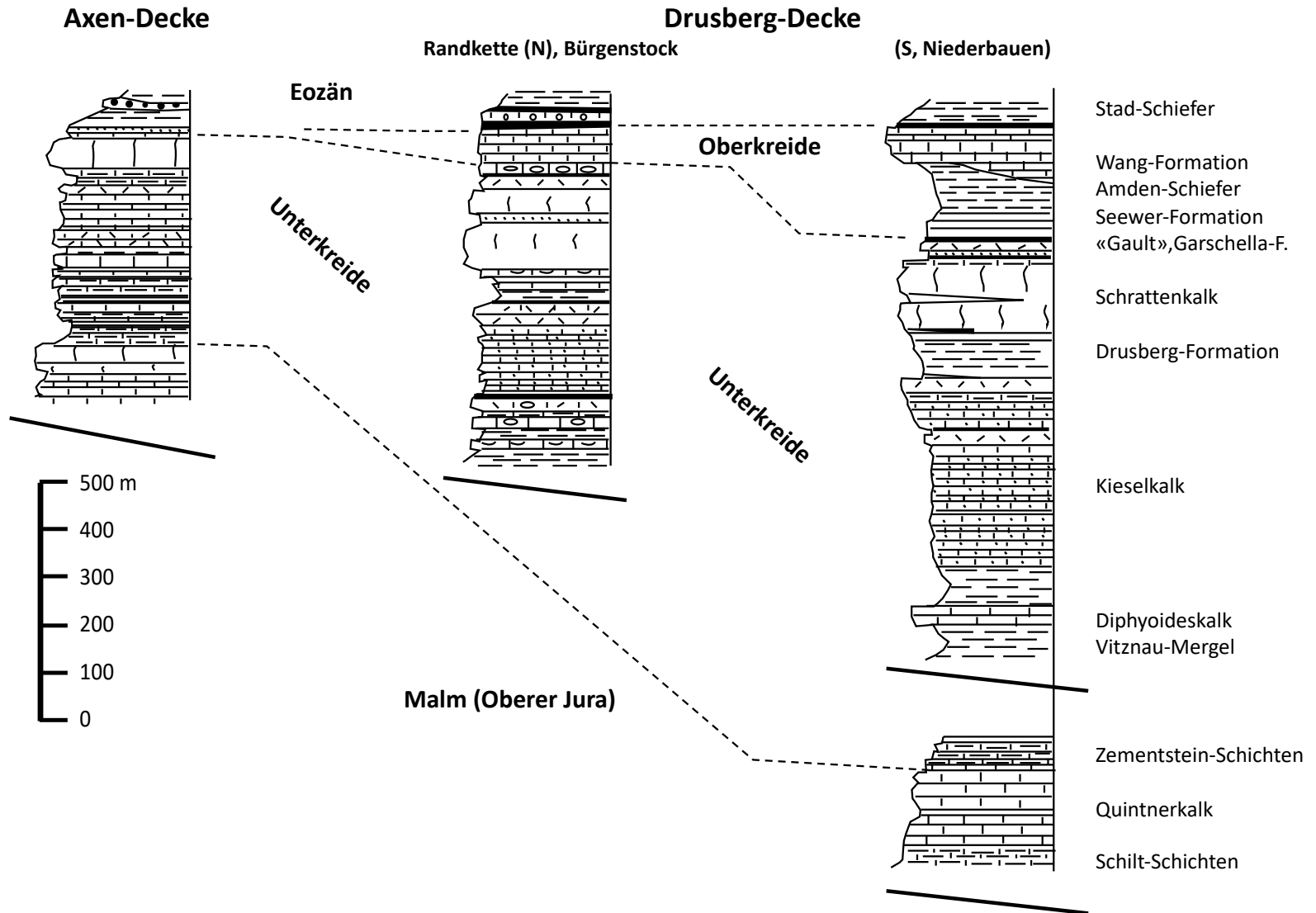
**Abbildung 13 a:** Zusammengesetztes geologisches Profil im Osten des Seebeckens.

**b:** Tektonische Karte des Vierwaldstättersees; 1-11 Etappen der Dampfschiffahrt.

Referenzen: Tektonische Karte der Schweiz 1:500'000 auf swissALTI3D (swiss©20 ) übertragen; Helvetikum: Pfiffner (2011, vereinfacht), Mythen: Felber (1984), Rigi: Buxtorf (1914).

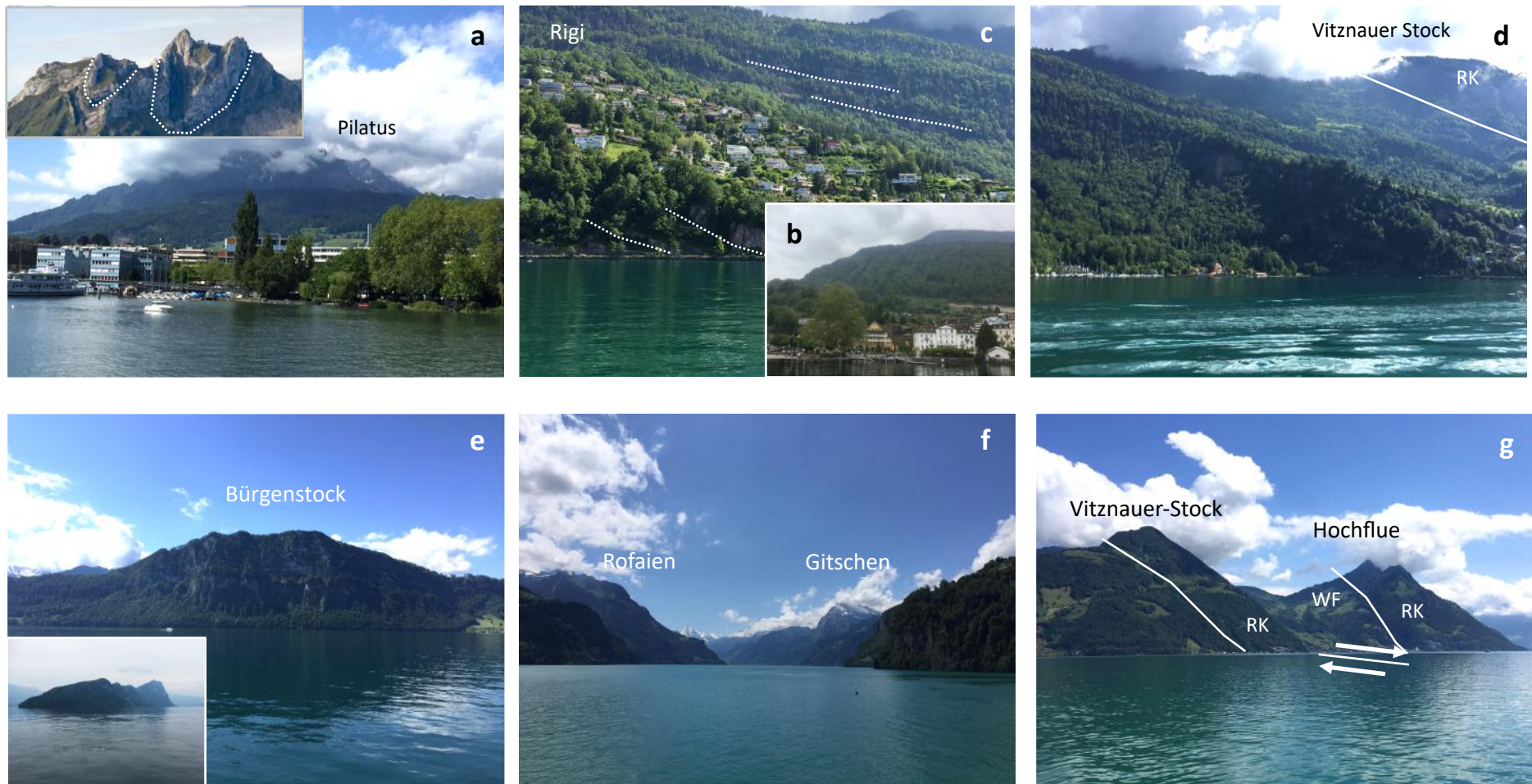




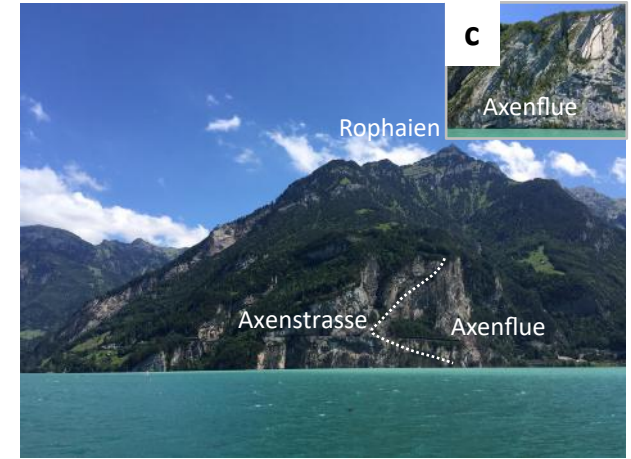
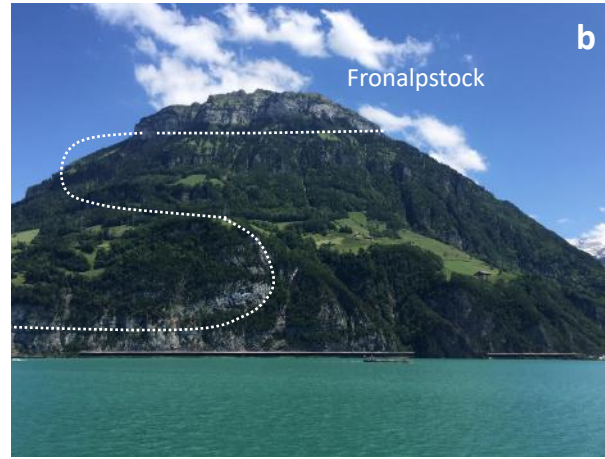


**Abbildung 15:** Stratigraphie (Schichtabfolge und geologisches Alter) der Helvetischen Decken beidseits des Vierwaldstättersees (nach Trümpy 1980, Fig. 19)





**Abbildung 16:** Fotoreise von Luzern nach Gersau (Fotos J.U.): a: Pilatus mit seinem Wolkenhut (und den Gipfelfalten bei klarem Wetter, weiss unterstrichen). b: Weggis am Fuss der Rigi; c: Mächtige Konglomeratschichten («Nagelfluh», weiss unterstrichen) der Subalpinen Molasse bei Vitznau. Die Schichten sind gegen Südosten geneigt. d: Hauptüberschiebung (weisse Linie) der Randkette (RK) der Helvetischen Decken am Vitznauer Stock. e: Bürgenstock, oben: Nordwand, links: Blick von Osten. f: Einfahrt ins Gersauer Becken zwischen Vitznau und Gersau. g: Gersauer Bucht und tektonisch versetzte Randkette (RK); weiche Morphologie im Wildflysch (WF)



**Abbildung 17:** Fotoreise von Gersau nach Flüelen (Fotos J.U.): a: Kleiner (links) und Grosser Mythen (rechts) über dem Dorf Brunnen, Blick über den See gegen Nordosten. b: Fronalpstock (Drusberg-Decke), Blick gegen Osten. c: Axenflue und Gipfel des Rophaien (Axen-Decke), Blick gegen Osten. d: Schillerstein am Eingang (orographisch linkes Ufer) zum Urnersee. Inschrift: «Dem Sänger Tells F. Schiller, die Urkantone 1859». e: Tellskapelle. f: Linkes Ufer des Urnersees mit Oberbauenstock und Niederbauen-Chulm Drusberg-Decke); Blick gegen Nordwesten. g: Flüelen, Blick gegen Süden ins untere Reusstal zum Bristenstock



gehören der sogenannten Klippen-Decke an, welche man mit der Decke der «Préalpes Médiannes» in der Westschweiz korreliert. Die Klippen entstammen der sogenannten «Briançonnais-Schwelle», einem Hochgebiet mitten im penninischen Raum des Alpenmeeres, wo sich in der Trias und während der Periode des Jura erst Dolomitgesteine und dann Kalkgesteine im flachen Wasser bildeten (Abb. 5b). Über den Flachwasser-Kalken des Malm, folgen sodann direkt rote Mergel (sogenannte «Couches Rouges»), welche von einer etwas tieferen Meeresplattform zeugen.

Das Gelände am Fuss der Mythen weist eine weichere Morphologie auf. Hier findet man in Bachtobeln und an steilen Geländepartien Sandsteine wechselnd mit Tongesteinen, den sogenannten Wägital-Flysch, ebenfalls penninischer Herkunft (Abb. 6).

#### **(8 - 9) Brunnen – Rütli - Bauen**

Auf dieser Strecke fährt man in den in Abb. 14 dargestellten, Nord-Süd orientierten Urnersee ein. Gleich über dem Seespiegel liegen die Gesteinsschichten flach. Darüber entwickeln sich am Fronalp- und Hauserstock im Osten, bzw. am Nieder- und am Oberbauenstock im Westen des Seebeckens eindruckliche liegende Falten, in welchen schon auf Distanz alle Gesteinsformationen der Helvetischen Decken erkennbar sind (Abb. 17 b,f).

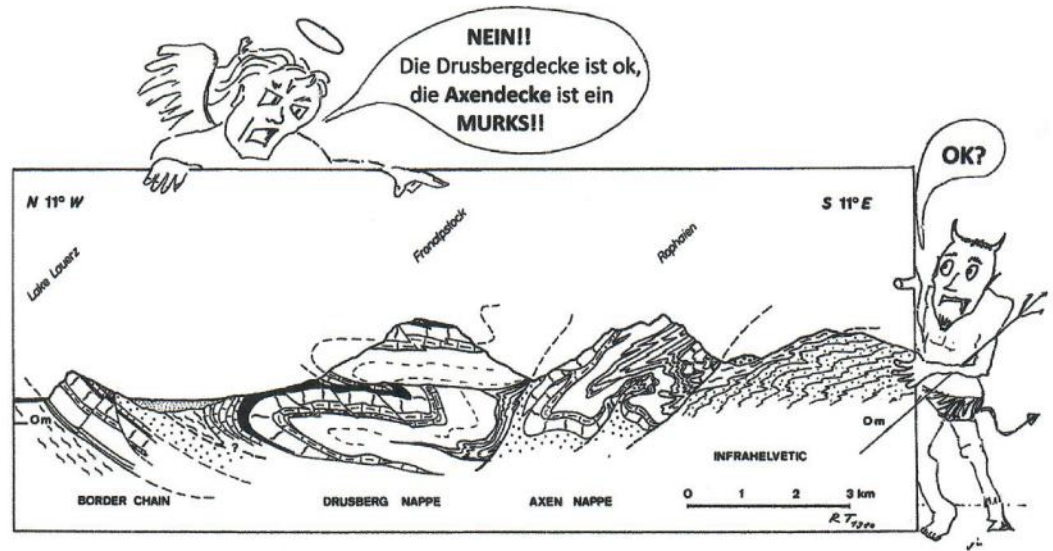
#### **(10 – 11) Bauen - Isleten – Flüelen**

Auf dieser letzten Fahrstrecke geht die Reise durch die komplexe geologische Struktur des Nord- und des Südlappens der Axen-Decke. Auf der Teilstrecke erkennt man auf dem gegenüberliegenden Ufer die Tellskapelle, auf verwitterungsfestem Kieselkalk Gebaut (Abb. 17 c, e).

Bei der Endstation Flüelen sind die Geländeformen wieder weicher. Hier erreicht man den sogenannten Nordhelvetischen Flysch (Abb. 17 g).

## **Bibliographie**

- Buxtorf A. 1914: Profile zur geologischen Vierwaldstättersee-Karte, 1:50'000. Geologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Luzern
- Buxtorf, A. 1934: Vierwaldstätter See. Exkursion 53. Geologischer Führer der Schweiz, Fasc. 10, 701-715, Schweiz. Geol. Gesellschaft.
- Felber, P.J. 1984: Der Dogger der Zentralschweizer Klippen. PhD thesis ETH Zürich, Diss. ETH Nr. 7506.
- Hilbe, M., Anselmetti, F.S., Eilertsen, R. S., Hansen, L. & Wildi, W. 2011: Subaqueous morphology of Lake Lucerne (Central Switzerland): implications for mass movements and glacial history. Swiss J. Geosci. 104/ 3, 425-443.
- Keller, B. 2007: So entstand der Vierwaldstättersee. In: Vierwaldstättersee. Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Menschen. Brunner Verlag, Kriens / Luzern, 31-53.
- Penck, A. & Brückner, E. 1901 -1909: Die Alpen im Eiszeitalter. C.H. Tauchnitz, Leipzig , 1199 S. in drei Bänden.
- Pfiffner, O.A. 2011: Explanatory Notes to the Structural Map of the Helvetic Zone of the Swiss Alps, including Vorarlberg (Austria) and Haute Savoie (France). Geological Special Map 128, Text and 10 plates. Swiss Geological Survey, swisstopo.
- Spillmann, P. 2011: Geologie des Kantons Uri. Natf. Ges. Kt. Uri, 2. Aufl.
- Trümpy, R. 1980: Geology of Switzerland, a guide-book; Wepf Verlag, Basel.
- Winkler, W., Wildi, W., Stuijvenberg, J. Van & Caron, Ch. 1985: Wägital-Flysch et autres flyschs penniques en Suisse Centrale : stratigraphie, sédimentologie et comparaisons. Eclogae Geologicae Helvetiae, 78/1, 1-22.



J. Uttinger

