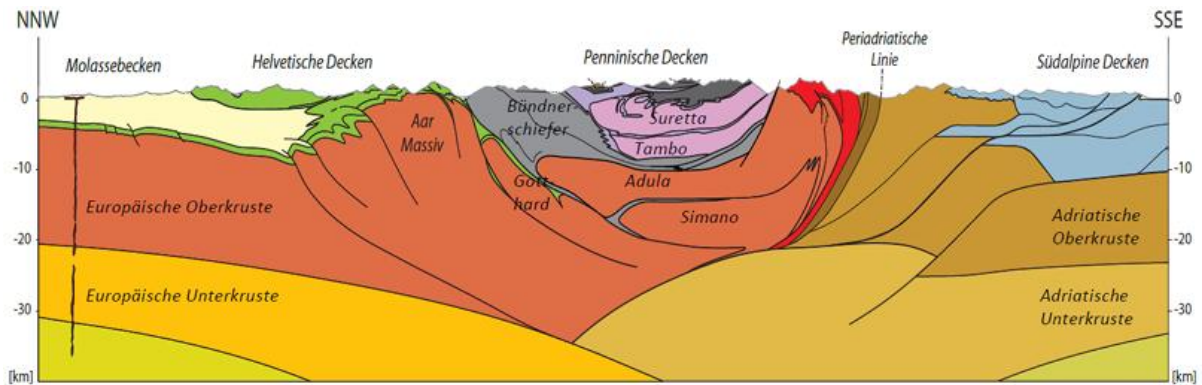


# Alpen 3: Tektonische Einheiten des Alpenraums

## Zentralmassive und «Dickhaut-Decken» (thick-skinned tectonics)

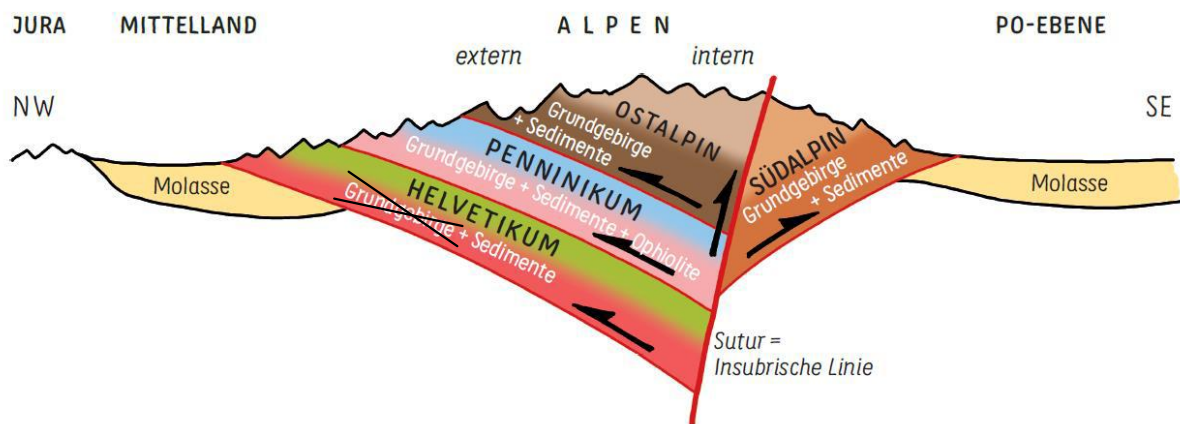
Dickhaut-Decken bestehen aus mehreren km mächtigen Paketen von kristallinem Grundgebirgsgestein (Granit und Gneis) der mittleren Erdkruste, z.B. das Aarmassiv, die Gotthard-Decke und die Monte-Rosa-Decke.



Das Aarmassiv wurde von der unteren Kruste abgeschert und 10-30 km weit überschoben. Zusätzlich wurde es an mehreren steilen Aufschiebungen dachziegelartig verdickt. Dickhaut-Decken sind durch Erosion der Dünnhaut-Decken, welche darüber lagen und Hebung sichtbar geworden.

## Dünnhaut-Decken (thin-skinned tectonics) und Kombinationsdecken (basement-involved thin-skinned tectonics)

Dünnhaut-Decken bestehen aus 100m bis wenige km mächtigen Sedimentgesteinspaketen der obersten Erdkruste, welche von ihrer Unterlage abgeschert, verschoben und meist intensiv verfaultet wurden z.B. Helvetische Decken oder das Jura Gebirge. Kombinations-Decken bestehen aus kristallinem Grundgebirge und darüber abgelagerten Sedimentgesteinen z.B. viele penninische Decken und ostalpine Decken.



Quelle: Wie Berge entstehen und vergehen, Jürg Meyer

## Helvetische Decken:

Die helvetischen Decken bestehen aus Flachwassersedimenten (Kalk und Mergel) des Schelfgebiets des Kontinents Europa. Das Helvetikum bildet ein geschlossenes Gebiet am Alpennordrand z.B. am nördlichen Rand des Aarmassivs.

Die Churfürsten dokumentieren, wie verschiedene Decken des Helvetikums übereinander geschoben wurden.

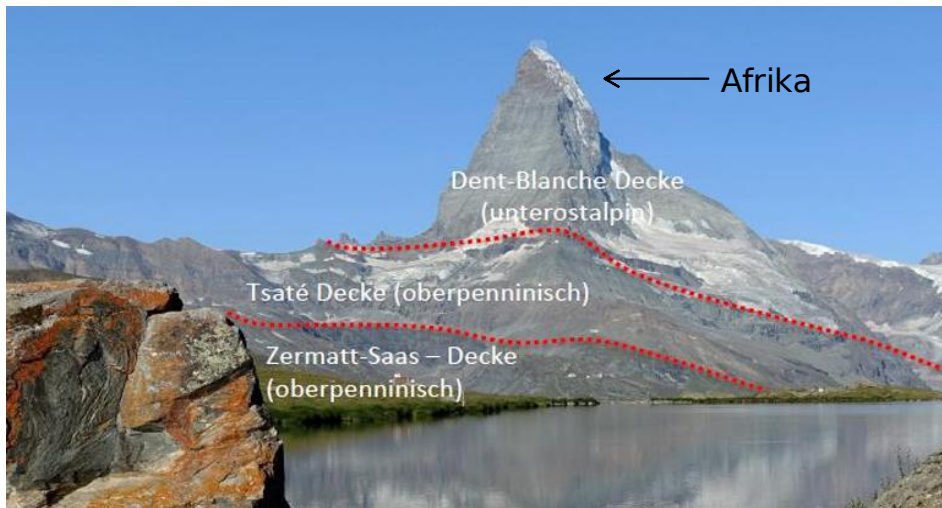


## Penninische Decken:

Die penninischen Decken stammen aus dem Walliser Becken, der Briancon-Schwelle und dem Piemont Ozean. Sie bestehen hauptsächlich aus Bündner Schiefer (Ton- und Kalkschiefer) können aber auch Radiolarit, Brekzien, Basalt und Serpentin enthalten. Es handelt sich um Tiefseesedimente. Ausnahme: Flachwassersedimente der Briancon-Schwelle. Kristallines Grundgebirge wurde mitgerissen und in die Decken z.B. als Gneiskerne eingebaut.



Die Mythen bestehen aus Penninikum auf helvetischem Flysch. Quelle: Jürg Meyer



Quelle: Jürg Meyer

### **Ostalpine Decken:**

Die ostalpinen Decken bestehen aus Flachwassersedimenten (vorwiegend Kalk und Dolomit) sowie mitgerissenem Grundgebirge (Gneis und Granit). Sie stammen aus dem Schelfgebiet der Adriatischen Platte. Die ostalpinen Decken bilden die höchste tektonische Einheit der Alpen. Sie kommen vor allem in Graubünden und Österreich vor. Im Wallis und Tessin ist das Ostalpin bis auf wenige geologische Klippen abgetragen worden.

### **Südalpine Decken:**

Die südalpinen Decken liegen südlich der insubrischen Linie, also südliches Tessin bis zur Poebene. Sie bestehen aus Flachwassersedimenten wie Kalk und Dolomit und wurden auf dem adriatischen Schelfgebiet abgelagert sowie aus subalpinem Grundgebirge (Granit, Gneise und Vulkanite z.B. roter Luganer Porphy).



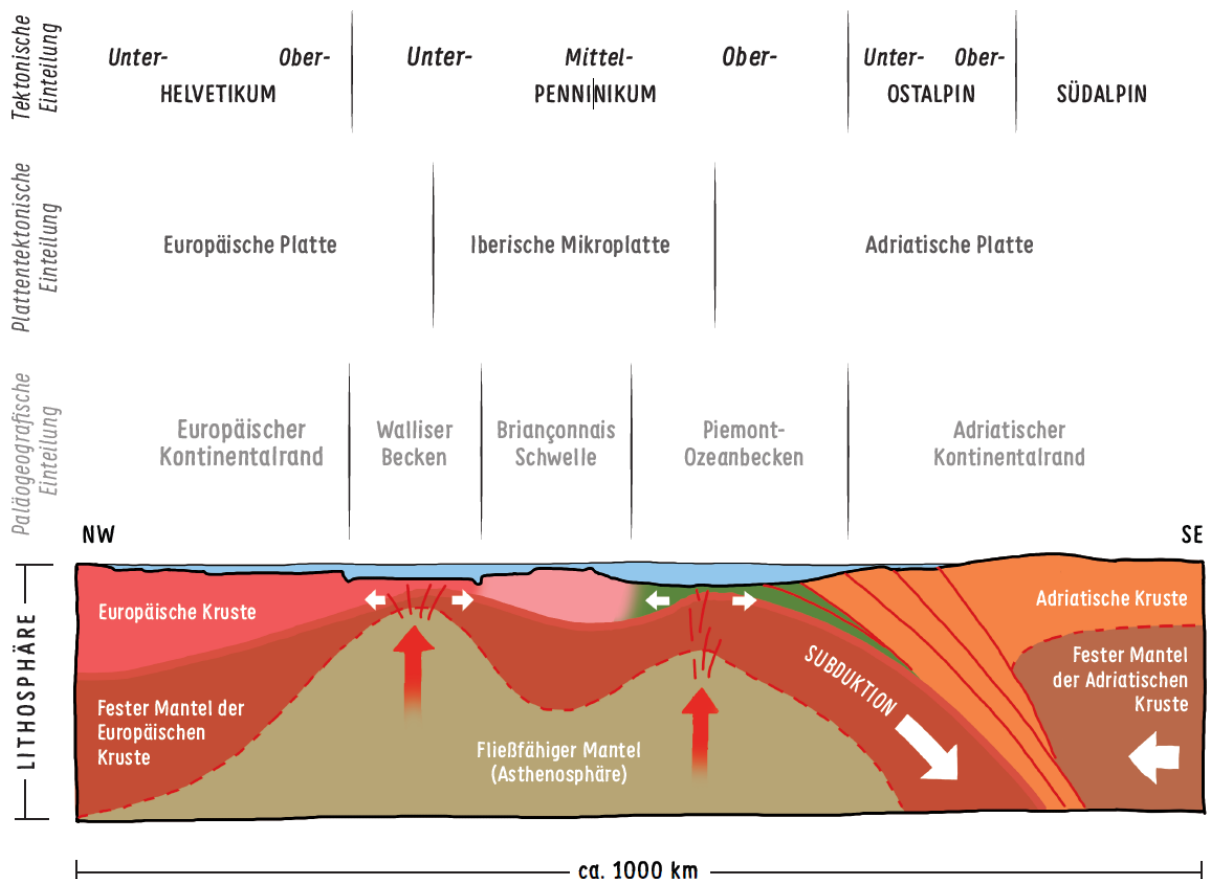
Monte Tamaro aus Ceneri-Gneis, Quelle: Jürg Meyer

# Alpen 1

Vor 210 Millionen Jahren zerbrach der Superkontinent **Pangäa**, es entstanden die heutigen Kontinente z.B. Europa im Norden und Afrika im Süden. Durch divergierende Plattenränder bildete sich dazwischen ein Meer namens **Tethys**. Im Schelfbereich von Europa lagerten sich im flachen Meer **Kalk, Ton, Sand (Quarz), Salz, Gips**. Diese mesozoischen Sedimente bilden später das **Helvetikum**, das mittelländische Mesozoikum und **Jura**.

Das **Penninikum** besteht aus dem Walliser Trog, der Briancon-Schwelle und dem südlichen **Piemont** Becken. Im Tiefseebereich lagerten sich **Tiefseesedimente** z.B. **Ton** oder **Radiolarite** ab.

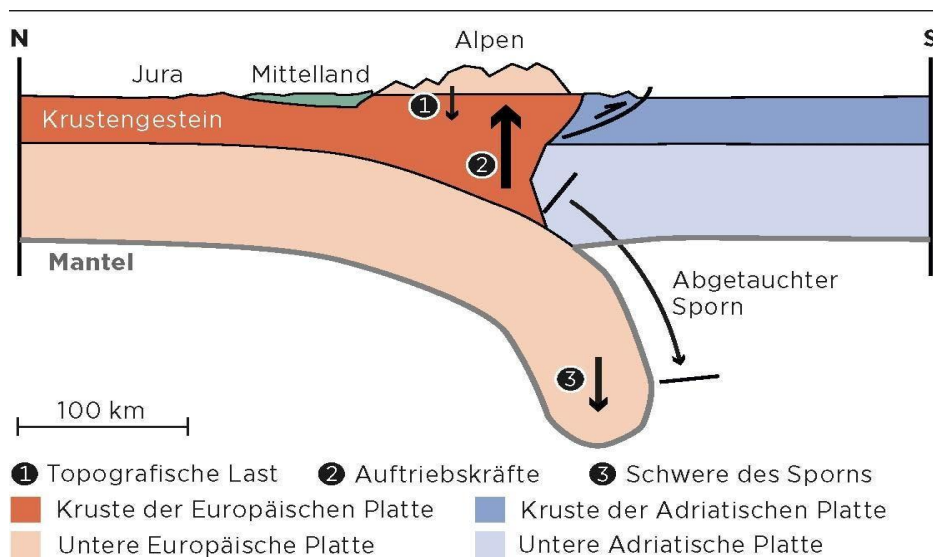
Im Schelfgebiet der Afrikanischen Platte lagen die Ablagerungsräume des **Ostalpins** und **Südalpins**. Bei diesen hier abgelagerten Flachwassersedimenten handelt es sich um: **Kalk (allerwichtigste, vorwiegend), Dolomit, üblichen (Ton, Salz, Sand)**



Quelle: Wie Berge entstehen und vergehen, Jürg Meyer

## HA Lesen Alpen 1, 2, 3

Vor 100 Millionen Jahren änderten sich die Konvektionsströme und die Adriatische und Afrikanische Platte bewegte sich in Richtung Europäische Platte. Die ozeanische Platte wurde unter das Ostalpin und Südalpin der Adriatischen und Afrikanischen Platte durch Plattenzug subduziert. Mehr oder weniger grosse Späne der Ozeankruste wurden als Decken abgeschert und in die Kontinentalkollision einbezogen. Deshalb findet man in Kollisionsgebirgen Reste der Ozeankruste (Ophiolithe). Die Hauptphase der **..Kontinentkollision**..... erfolgte vor 50 -35 Mio. Jahren. Bei der Kollision der beiden kontinentalen Platten schob sich das Ostalpin bis 100 Km über das Penninikum der Europäischen Platte. Dabei wurde das Penninikum in der Tiefe **stark verfaultet** ..... und zu metamorphem Gestein umgewandelt. Das Ostalpin wurde intensiv verfaultet, aber nur schwach metamorphisiert. Das **..Helvetikum**.. wurde während der Gebirgsbildung stark verfaultet und in wenigen Bereichen umgewandelt und nach Norden verschoben. Die subduzierte Ozeanplatte riss ab und verschwand im Mantel, nachdem auch ein Teil der kontinentalen Platte, welche weniger elastische ist, subduziert wurde. Dies führte zu einer isostatischen Hebungsphase. Der frühere Ozean Tethys verschwand bis auf wenige Resten. Die höchsten Decken des Penninikums und Ostalpins wurden durch Urflüsse (z.B. Ur-Rhein) erodiert und im Mittelland als **..Molasse**..... abgelagert.



Quelle: Jürg Meyer

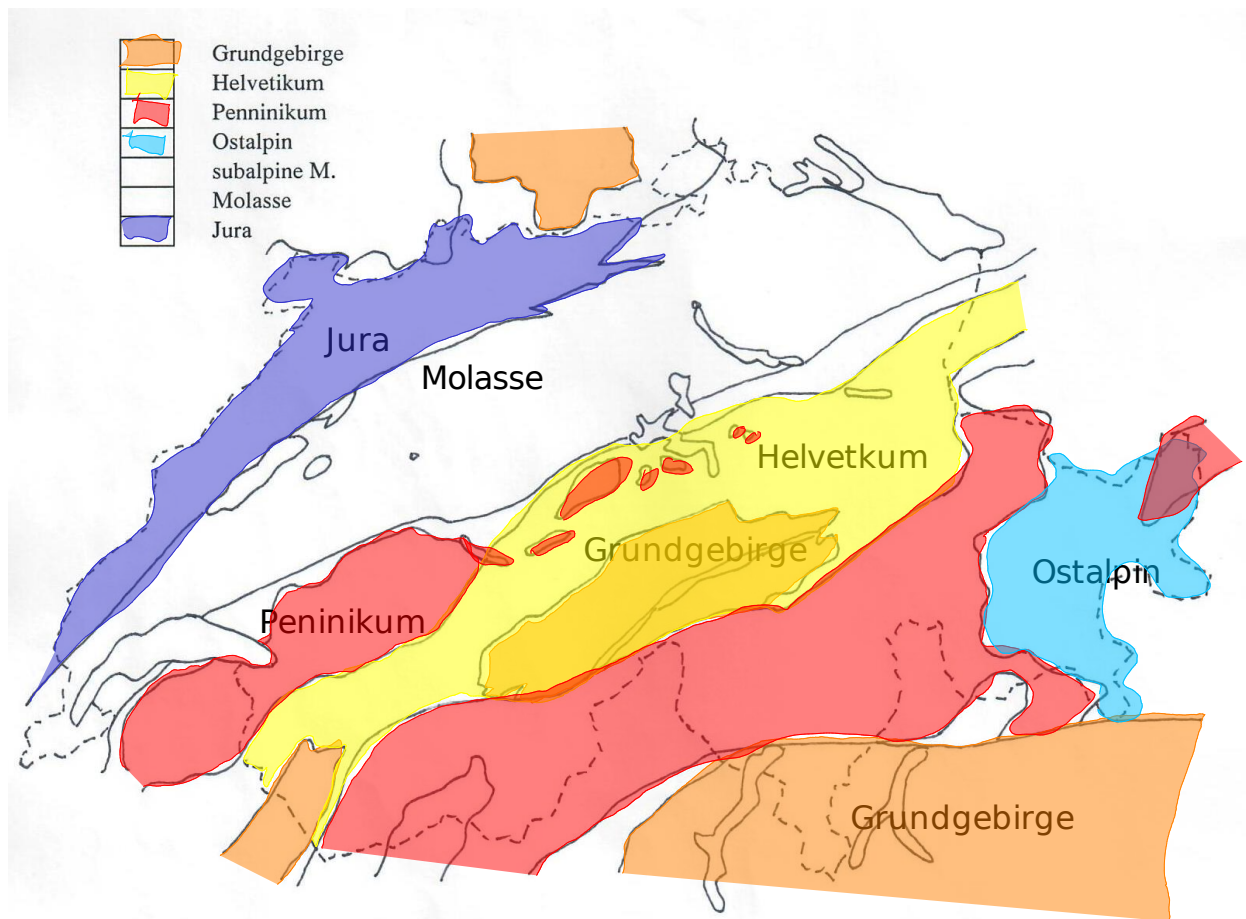
### nördlichsten mesozoischen Sedimente

Erst vor 10 bis 3 Millionen Jahren wurden die ..... gegen Nordwesten geschoben und zum Juragebirge aufgefaltet.

## Alpen 2: Tektonische Übersicht der Schweiz

Der Alpenraum wird in Helvetikum, Penninikum, Zentralmassive, Ostalpin und Südalpin unterteilt. Wichtigstes Bauelement der Alpen sind Decken. Dies sind von den Erdplatten bei der Kontinentalkollision abgeschürfte Gesteinspakete, vergleichbar mit Spänen, die mit einem Hobel von einer Holzplatte abgeschabt werden. Kollisionsgebirge wie die Alpen oder der Himalaya bestehen aus übereinander geschobenen und gefalteten Gesteinsdecken. Was heute im Deckenstapel höher liegt, war in der Tethys südlicher gelagert. So liegen die penninischen Decken über den helvetischen und unter den ostalpinen Decken, da die Adriatische und Afrikanische Platte sich gegen Norden bewegten.

Quelle: Wie Berge entstehen und vergehen, Jürg Meyer



### Geologische Klippe:

Höhere Einheit des Deckenstapels, welcher heute nur noch als isoliertes Relikt vorliegt (Bsp Pré alpes, Dent-Blanche-Decke (Matterhorn))



### Geologisches Fenster:

Einblick in eine tiefere tektonische Einheit, das Fenster ist durch Erosion entstanden (Bsp Unterengadinerfenster)

# Die Alpen

## Ausdehnung:

Meer, Gletscher auf Matterhorn  
Gletscher für Form verantwortlich

- Nizza bis Wien....., bogenförmig, 1000 km lang

## Aussehen:

- Hochgebirge, tief eingeschnittene Täler, markante Gipfel (z.B. Dom, Matterhorn)
- stark vergletschert, Firnfelder

## Veränderungen:

- grosse Höhendifferenzen....., viel Niederschlag..... und grosse Einstrahlung bewirken eine starke Verwitterung.

Weshalb werden die Alpen nicht ständig niedriger?

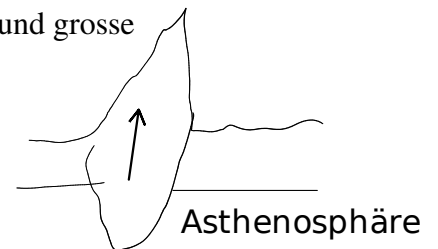
1. Isostasie:

Die Erdrinde befindet sich im Gleichgewicht  
zwischen Auftrieb- und Gewichtskraft

(Sobald Gestein abgetragen wird, hebt sich das Gebirge, wegen der geringeren Dichte.)

asiatische & afrikanische Platte

2. Die Verschiebung des Kontinents Afrika gegen Norden hat noch nicht aufgehört.



## Entstehungszeit:

- Am Ende der Kreidezeit und im Tertiär (vor 100 – 15 Mio. Jahre)  
Hauptprozesse  
(1mm / Jahr)

## Entstehung:

- Ein alter Grosskontinent zerbrach, und ein alpiner Ozean bildete sich.
- Die afrikanische und die adriatische Platte bewegten sich nach Norden in Richtung Europa.
- Die Platten stiessen aufeinander, eine Subduktion der europäischen Ozeankruste unter die adriatische Platte erfolgte, Kruste wurde verdickt, in der Tiefe verfaltet und wegen der Isostasie herausgehoben, da die ozeanische Lithosphäre in der Subduktionszone abbriss.

Nicht aufgefaltet, sondern untergefaltet, dann gehoben

## Glaziale Ablagerungen:

### Moräne:

Gletschereis führt viele Gesteinstrümmer mit sich. An den Seiten bildet sich Gehängeschutt der als Seitenmoräne mitgetragen wird. Wo sich zwei Gletscher vereinen, vermengen sich die zwei Seitenmoränen zu einer Mittelmoräne.

Der Gletscher zermahlt am Boden auch Gesteine; das Gesteinsmehl wird vom Gletscherfluss weggeführt. An der Gletscherzunge, wo das Eis schmilzt, wird der gesamte Schutt abgelagert und bildet einen meist sichelförmigen Wall, die End- oder Stirn moräne. Nach dem der Gletscher geschmolzen ist, bleibt eine Mischung von unsortierten Gesteinen zurück. Diese Ablagerung nennt man Grundmoränen.

### Findlinge:

Diese oft tonnenschweren Blöcke wurden im Eis transportiert und schliesslich abgelagert, als das Eis schmolz. Sie werden auch als Erratiker bezeichnet.

## Eiszeitliche Wirkungen in unserer Gegend

- *Endmoräne:* Hurden
- *Seitenmoräne:* Schindellegi
- *Drumlin:* Menzingen (Grundmoränenmaterial wird in Fliessrichtung des Gletschers zu einem Hügel aufgetürmt.)
- *Rundhöcker:* Rüti (Vom Gletscher abgeschliffener Fels)
- *Hängetal:* Amden (Oft kommt es an Hängetälern zur Bildung eines Wasserfalls.)
- *Findlinge:* Der rote Verrucano (Permkonglomerat) ist ein Leitgestein des Linthgletschers. Der Puntegliasgranit ist ein Leitgestein des Rheingletschers. Putalias-Gestein
- *U-Tal:* Durch langsames Fliessen formen Gletscher grosse Täler zur typischen U-Form aus. Vallis, die Rhone

Gletscher macht nie V-Tal, immer U-Tal

Fluss macht V-Tal oder Schlucht



# Gletscher als Bildhauer der Landschaft

## Erosion und Akkumulation in erdgeschichtlichen Zyklen

Die Schweiz verdankt ihre aussergewöhnliche Vielfalt an Landschaftstypen und Landschaftsformen einerseits den grossräumigen geologischen und tektonischen Verhältnissen (z.B. Deckenbau der Alpen, Molasserelief des Mittellandes, Faltenstränge des Jurabogens). Andererseits sind es aber in erster Linie die eiszeitlichen Prozesse, welche für die Entstehung und individuelle Ausprägung der heutigen Oberflächenformen entscheidend verantwortlich sind.

Drumlin «Ottiker Büel» bei Gossau, ZH (Foto: Max Maisch)

### Landschaft Schweiz als Abbild des Klimageschehens

Ein Blick auf eine Klimakurve der letzten rund 1 Milliarde Jahre macht deutlich, dass die Temperaturen im Verlaufe der Erdgeschichte immer wieder stark geschwankt haben (Abb. 5.1). Noch in der Molassezeit im Tertiär (65-2.4 Mio Jahre vor heute) herrschten im Gebiet des heutigen Mittellandes warme, subtropische Verhältnisse vor. Die alpinen Urflüsse transportierten gewaltige Schuttmengen ins Vorland hinaus. Diese entstammten dem jungen Alpengebirge, das im Süden gerade in mächtigen Schüben aufgefaltet wurde.

Auf riesigen Schwemmfächern wurden Geröll-, Kies- und Sandmassen abgelagert und nach und nach verfestigt. Diese Gesteine (Nagelfluhbänke, Sandsteinformationen und Mergelschichten) bilden heute z.B. auch im Gebiet des Luzerner Gletschergartens den Felsuntergrund (vgl. Kapitel 6: «Gletschergarten Luzern – Wo die Eiszeit noch lebt»).

Für die Modellierung der heutigen Oberflächenformen war und ist das Eiszeitalter (Quartär: ca. 2.4 Mio Jahre bis heute) von entscheidender Bedeutung. In diesem Zeitalter wurde nach einem dramatischen Temperatursturz das tertiäre Ausgangsrelief in mehreren Kalt/Warm-Zyklen periodisch überformt und nachhaltig geprägt. Gletscher vermögen – ganz ähnlich wie auch das Medium Wasser – Landschaftsformen abzutragen, teilweise sogar zu zerstören (glaziale Erosion, sog. Abrasion), wie auch wieder neue zu bilden und durch Anlagerung von Schuttmaterial aufzuschütten (glaziale Akkumulation).

So sind Gletscher massgeblich für die erosive Ausgestaltung typischer, im Querschnitt parabelförmiger Trogtäler (sog. U-Täler) und die «Erniedrigung» von Passlandschaften verantwortlich (z.B. Grimselpass). Andererseits verdankt das Mittelland seine sanft gewellten Oberflächenformen und letztlich auch seine fruchtbaren Böden weitgehend der akkumulativen Wirkung der eiszeitlichen Gletscherströme (z.B. Ablagerung von Grundmoränendecken, Abb. 5.2).

### Globale Mitteltemperaturen im Verlaufe der Erdgeschichte

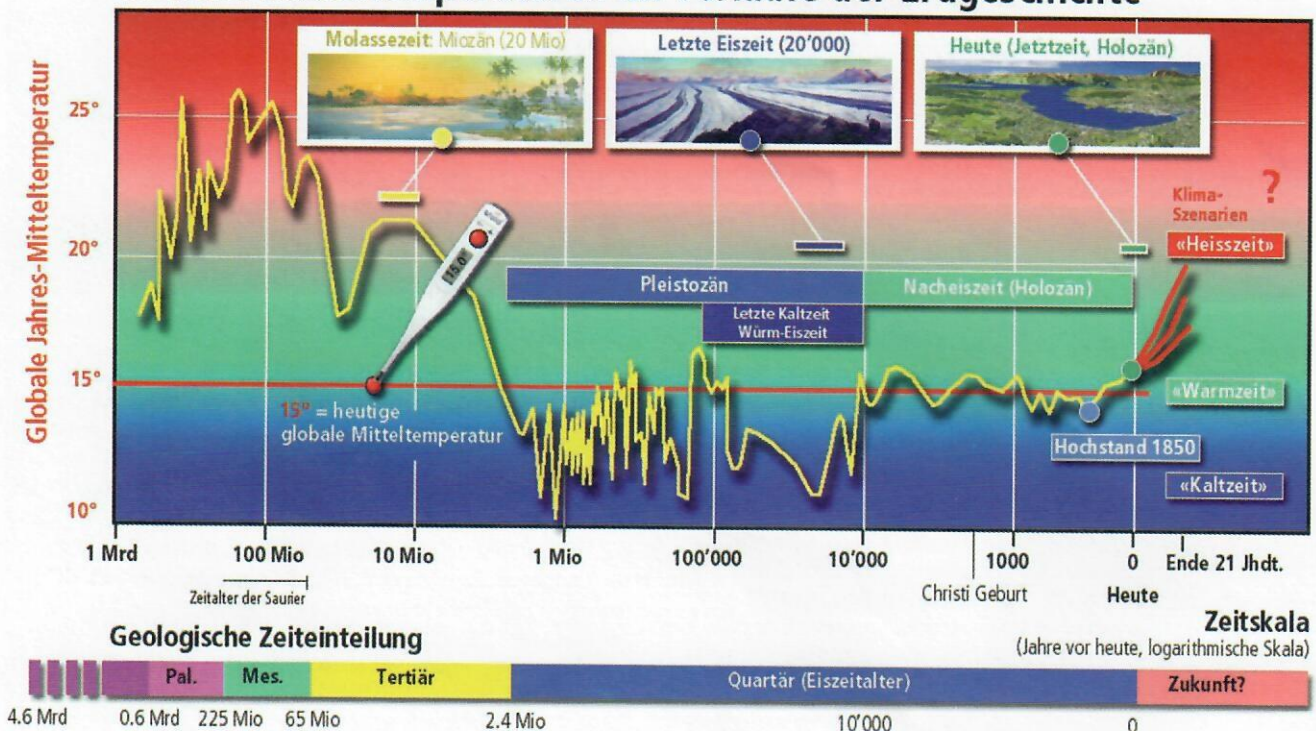


Abb. 5.1 Klimaänderungen (Temperaturkurve) während den verschiedenen Abschnitten der Erdgeschichte im Zeitraum der letzten 1 Mrd Jahre. Die horizontale rote Bezugslinie entspricht der heutigen globalen Mitteltemperatur von 15° C. (Grafik: Max Maisch)



**Abb. 5.2** Die Schweiz zur letzten Eiszeit (sog. Würm-Eiszeit) im Gebiet der Zentralschweiz. Ausschnitt aus der Karte von H. Jäckli (Atlas der Schweiz; swisstopo, BA für Landestopographie).

### AUFGABEN – FRAGEN

- Kennzeichne mit Pfeilen die Richtung der verschiedenen Gletscherströme aus dem Alpenraum!
- Wie dick war der Eispanzer über Luzern (oder Zürich)?
- Markiere diejenigen Stellen, wo sich die Eiszeitgletscher an Geländehindernissen (Bergketten) aufgetrennt (sog. Diffluenzen), wo sie sich vereinigt haben (Konfluenzen) und wo sie über Pässe zusammenhingen (Transfluenzen)! **Tipp:** Verwende dazu eine topographische Karte!

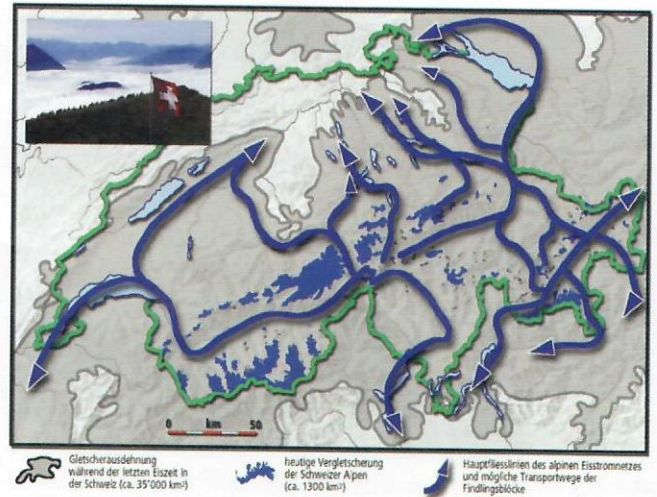


### Fussabdrücke der «Eisgiganten»

Der Zeitabschnitt des Eiszeitalters ist geprägt durch einschneidende Klimawechsel mit mehrmaligen, beidseits der Alpen bis weit in die Vorlandgebiete (Mittelland, Südalpenrand) reichenden Gletschervorstössen. Die klassische Vorstellung vier grosser Eiszeitzyklen (nach süddeutschen Flussnamen bisher als «Günz», «Mindel», «Riss» und «Würm» bezeichnet) gilt heute als überholt. Nach neueren Befunden zur Eiszeitforschung ist das Quartär sowohl im globalen (Erde) wie auch im regionalen Bezugsrahmen (z.B. Alpenraum) durch eine wesentlich grössere Anzahl (evtl. 20-30) Warm/Kaltzyklen gekennzeichnet.

Die Spuren der älteren, auf über 780'000 Jahre alt geschätzten Vereisungen, in der Schweiz summarisch als «Deckenschotter-Vergletscherungen» bezeichnet, sind heute nur noch an isolierten Stellen und fragmentarisch erhalten. Innerhalb der jüngeren Kaltzeitzyklen wird von einer «Grössten Vergletscherung» (mit maximaler Reichweite) und von «Grossen Vereisungen» (mit Reichweiten bis mind. ins Alpenvorland) gesprochen. Die maximale Vereisung ist dabei, entgegen der früheren Zuordnung zur zweitletzten Vereisung, der «Riss-Eiszeit», wohl deutlich älter einzustufen (ca. vor 200'000 bis 300'000 Jahren).

Die letzte grosse Kaltzeit, gemeinhin als «Würm-Eiszeit» (ca. 110'000 bis 11'500 Jahre) bezeichnet, ist anhand der deutlichen Geländeformen am besten erfassbar. Moränenwälle, Drumlins, Eisrandterrassen, Schmelzwasserrinnen, Schotterkörper (gelegentlich von Schieferkohleschichten durchsetzt) und Findlinge (sog. «Erratiker» oder Leitgesteine) sind die Schlüsselbefunde für die Rekonstruktion der damaligen Eisausdehnung. Im Zeitraum vor rund 22'000-25'000 Jahren (sog. LGM = Last Glacial Maximum) war die Schweiz zu 80-90% von Gletschern bedeckt und erhielt dadurch ihr charakteristisches Gepräge (**Abb. 5.3**).



**Abb. 5.3** Karte zur letzten Eiszeit in der Schweiz mit den Zugbahnen der wichtigsten Findlinge. (Grafik: Max Maisch)

Den verschiedenen Einzugsgebieten des Alpenraums (Flussgebiete von Rhein, Reuss, Aare, Rhone, Ticino, Inn) entströmten damals riesige Gletschersysteme. Diese hingen über Passfurchen (sog. Transfluenzen, z.B. am Grimselpass) weiträumig zusammen. Durch Vereinigung benachbarter Zuflüsse (Konfluenzen, z.B. bei Ziegelbrücke: Rhein-/Linth Gletscher) und durch Aufspalten an Talgabelungen (Diffluenzen, z.B. bei Sargans) baute sich sukzessive ein stark verästeltes Eisstromnetz auf.

Im Bereich der Endlagen entwickelten sich klassische Zungenbeckenlandschaften (Moränenwallserien, Seenwannen). Letzteilzeitlich unvergletscherte Gebiete (z.B. Napf- und Hörnli-Bergland, Lindenberg, Teile des Jura, Raum Basel) unterlagen damals vorwiegend fluvialen (verstärkte Talbildung, Aufschotterungen) oder periglazialen (z.B. Permafrostbildungen) und äolischen Prozessen (z.B. Einwehung von Löss-Staub aus vegetationslosen Gebieten).

### Moränenwälle

Während den verschiedenen Vorstössen der letzten Eiszeit lagerten die Gletscher am Zungenende (Endmoränen, Schotterfluren) und entlang des Eisrandes (Ufermoränen) in grossen Mengen markante Schuttformationen ab.



**Abb. 5.4** Eiszeitlicher Moränenwall des sog. «Zürich-Stadiums» am Abhang des Etzels (bei Schindellegi, SZ). (Foto: Max Maisch)

So bildete der Linth/Rheingletscher auf der linken Talseite bei Schindellegi typische Moränenwallserien aus (**Abb. 5.4**). Eines der deutlichsten und längsten Wallsysteme (das sog. «Zürich-Stadium» vor ca. 20'000 Jahren) setzt an den Hängen des Etzels an und lässt sich weiter talabwärts über die Gebiete Hirzel, Horgener Berg, Wollishofen bis in die Altstadt Zürichs verfolgen (Endmoräne beim Lindenhof). Die Stauwirkung des Gletschers drängte hier die aus dem Hochtal von Einsiedeln stammende Sihl seitlich an den Hang der Höhrnenkette. Ab hier musste sie sich in einer randglazialen Schmelzwasserrinne zwischen dem Eisrand und der Albiskette durch das heutige Sihltal einen neuen Weg bahnen.

### Schotterfelder (Kiesgruben)

In den Schutttablagerungen des Mittellandes ist die eiszeitliche Landschaftsgeschichte zum Teil sehr anschaulich erhalten geblieben.



**Abb. 5.5** Kiesgrube Gossau (ZH) mit Deltaschüttung (untere Schichten) und dunklem Schieferkohlehorizont aus einem im Mittelland eisfreien Zeitabschnitt zwischen 55'000 und 33'000 Jahren vor heute (Grube im Zustand vor 2000). (Foto: Max Maisch)

ben. Kiesgrubenaufschlüsse bilden deshalb wertvolle Archive für die Eiszeit- und Klimaforschung (z.B. Kiesgrube Gossau, ZH, **Abb. 5.5**). In Wechsellagerung mit kaltzeitlichen Deltaschotter- und Moränenablagerungen kommen hier verschiedene Schieferkohlehorizonte vor. Das sind zusammengepresste Torf- und Holzreste, welche als organische Bildungen gletscherfreie, d.h. wärmere Zeitabschnitte innerhalb der letzten Kaltzeit (Würm-Eiszeit) anzeigen (sog. Interstadiale). Ihre Entstehung erfolgte hier im Zeitraum zwischen 55'000-33'000 Jahren und im Zeitraum vor 29'000 Jahren (Radiokarbondatierungen, <sup>14</sup>C-Methode). Anschliessend wurde diese Stelle vom letzten Eisvorstoss der Würm-Kaltzeit überfahren und mit einer Grundmoränenschicht überdeckt.

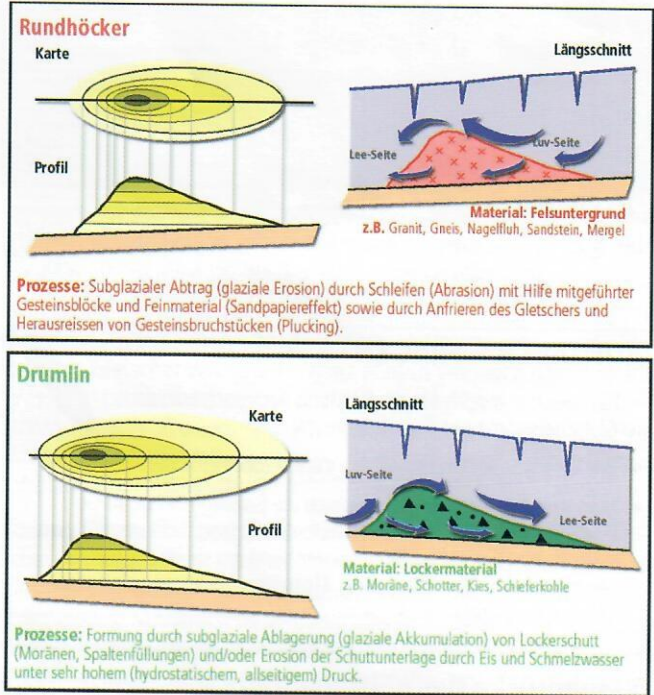
**Drumlins**

Drumlins (irischer Begriff für längliche Hügelrücken) sind typische Leitformen letzteiszeitlicher Zungenbeckenlandschaften und treten meist in umfangreichen Scharen auf. Es sind stromlinienförmig, wie Kompassnadeln im Kraftfeld des eiszeitlichen Gletscherstroms eingeregelt. Hügelformen aus eiszeitlichem Lockermaterial (Grundmoräne, Schotter, z.T. mit Schieferkohle). Im oberen Glattal (Zürcher Oberland) gibt es rund 150 derartige Formen (z.B. Ottiker Büel bei Gossau). Die Herausbildung der Drumlins erfolgte unter dem Gletscher, wo die vorherrschende Eisbewegung und die erosive Wirkung der oft unter hohem Druck stehenden Schmelzwässer die wichtigsten Formungskomponenten darstellen (**Abb 5.6** und **Abb. 5.7**).

**Erratiker**

Die Eiszeitgletscher haben aus ihren Einzugsgebieten grosse Schuttmengen transportiert und im Vorland abgelagert. Findlinge, auch erratische Blöcke (oder Erratiker) genannt (lat. errare = irren, verirren) sind gletschertransportierte Gesteine, die an Orten gefunden werden, wo sie geologisch nicht hingehören. Ihre Herkunft

liegt oft weit im Alpeninnern, in den Einzugsgebieten der Eiszeitgletscher. Leitgesteine, deren geologisches Herkunftsgebiet man genau kennt, verraten uns ihren Transportweg auf dem Rücken der Gletscher. Anfangs des 19. Jahrhunderts glaubte man noch, die Findlinge seien Zeugen einer riesigen Überschwemmung, der «biblischen Sintflut». Ein typisches Leitgestein des Linth/Rheingletschers ist der «rote Ackerstein» aus dem Glarnerland und dem Walenseegebiet. Er wird auch als «Verrucano» (Warzenstein) oder «Sernifit» (Sernftal) bezeichnet. Geologisch stammt er aus der Permzeit (ca. 250 Mio Jahre, Paläozoikum oder Erdaltertum).



**Abb. 5.6** Form, Inhalt und Entstehungsweise von Rundhöckern und Drumlins. (Grafik: Max Maisch)

**AUFGABEN – FRAGEN**

- Beschreibe diese beiden Landschaftsformen anhand der Kartenskizze und ihres Längsprofils!
- Welches sind die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Drumlins und Rundhöckern?
- Betrachte eine Karte des Zürcher Oberlandes im Gebiet zwischen Hinwil, Wetzikon, Pfäffikon und Uster: Was fällt dir bei der Anordnung der vielen Hügel auf?
- Aus welcher Richtung floss das Eis des Linth-/Rheingletschers?

**BEOBACHTUNGEN – AUFTRÄGE**

- Notiere, wo, in welchen Umgebungen und für welche Zwecke in deinem Wohnort (Schulort) überall grosse Gesteinsblöcke finden kannst! Verzeichne diese in einem Ortsplan!



- Finde heraus, ob einzelne Blöcke einen besonderen Namen tragen (z.B. «Erdmannlistein») und ob sie mit geheimnisvollen Geschichten verknüpft sind (z.B. «Pflugstein» von Herrliberg, Bild)!



- Schätze die Grösse ab und bestimme das Gewicht dieser Findlingsblöcke! Welche Gesteinsart (z.B. nach Farbe, Form, Grösse etc.) kommt am häufigsten vor? (im Bild ein roter «Verrucano»).



**Abb. 5.7** Der «Ottiker Büel» (bei Gossau, ZH) zählt zu den am schönsten geformten Drumlins im Zürcher Oberland. (Foto: Max Maisch)

## Haltepunkte der ausgehenden Eiszeit

Mit der generellen Erwärmung des Klimas am Ende der letzten Kaltzeit schwanden die alpinen Gletschersysteme etappenweise von ihren Maximallagen und schliesslich endgültig aus dem Alpenvorland zurück. Im Zeitraum des Spätglazials (ca. 20'000 - 11'500 Jahre vor heute) gaben die abschmelzenden Gletscher diejenigen Gebiete wieder frei, welche später und bis heute dem Menschen als Grundlage für seinen Siedlungs-, Wirtschafts- und Verkehrsraum dienen. Hinter den wärmzeitlichen Endlagen und Hauptstadien können alpeneinwärts nachfolgende Gletscherstände identifiziert werden, z.B. das sog. «Hurden-Stadium» des Linth/Rheingletschers (vor ca. 18'000 bis 19'000 Jahren). Weitere «Rückzugsstadien» markieren kurzfristige Abkühlungsphasen im generellen Er-



Abb. 5.8 Bildabfolge «Luzern am Ende der letzten Eiszeit». Ausgangsbild: E. Hodel (1926-1927), (Original im Gletschergarten Luzern. (Digitale Bildkompositionen: Max Maisch)

### AUFGABE

- Finde die Unterschiede zwischen den einzelnen Bilddarstellungen und beschreibe, wie sich die Landschaft um Luzern in den letzten 20'000 Jahren verändert und entwickelt hat!



wärmungstrend des Erdklimas und repräsentieren damit sekundäre Erholungsphasen der Alpengletscher.

Unter und neben den rückschmelzenden Eismassen kamen dynamische, zunächst von Schmelzwasserbächen geprägte Pionierlandschaften zum Vorschein. In den von den Gletschern übertieften Felswannen bildeten sich die Vorformen der heutigen, später durch Zuschüttung und Verlandung stark geschrumpften Alpenrandseen. In den Talsohlen akkumulierten die Schmelzwasserbäche ausgedehnte Schotterfelder (Alluvionen), welche heute als Rohstoffquelle (Kiesabbau) und Trinkwasserreservoir genutzt werden. Durch den abrupten Klimaumschwung und die Änderung der Lebensraumbedingungen verschwanden die eiszeittypischen Tierarten durch Auswandern (z.B. Ren) oder Aussterben (z.B. Mammut). Auch die Wiederbesiedlung der eisfrei werdenden Areale durch die Vegetation (Pionierpflanzen, Wiederbewaldung) wird wichtiges Element der biotischen Natur- und Landschaftsentwicklung (vgl. Bildserie **Abb. 5.8**).

Auf ihrem Rückweg in die alpinen Hochlagen lagerten die Gletscher weitere Moränenwallserien ab. Als Abfolgen betrachtet ermöglichen sie eine Gliederung des spätglazialen Klima- und Gletschergeschehens in charakteristische stadiale Zeitperioden. Ganz markant tritt in den Alpen die Vorstossphase der «Jüngeren Dryaszeit» (sog. «Egesen-Stadium») in Erscheinung (Zeitraum vor 12'700 - 11'500 Jahren). Mit dem Rückgang der Gletscher auf holozäne, nacheiszeitliche Grössenordnung endete der Zeitabschnitt des Spätglazials. Seither schwanken die Alpengletscher auf höherem Temperaturpegel und bei erstaunlich geringer Schwankungsbreite ( $\pm 1^\circ \text{C}$ ) nur noch innerhalb eng begrenzter Ausdehnungen, zwischen den Moränen von 1850/60 und ca. heutiger Grösse.

## Hochalpine Landschaftsformen

### Schliffgrenzen und Trogtäler

In den alpinen Hochgebirgslandschaften hat sich während den Eiszeiten und später im Verlaufe der Nacheiszeit (letzte 11'500 Jahre) ein ausserordentlich vielfältiger Formenschatz herausgebildet. Die grossräumige Wirkung des Gletschereises auf den Felsuntergrund (glaziale Erosion = Abrasion) ist am eindrucklichsten an den Schliffgrenzen und den typisch parabelförmigen Trogtälern zu erkennen. Die Schliffgrenze markiert die Linie zwischen den eiszeitlichen noch gletscherbedeckten und daher rundlich und «weich» geformten Talhängen und den heute schroff gezackten «harten» Berggräten (Bsp. Crasta Mora, **Abb. 5.9**). Diese ragten damals über die Eisoberfläche und waren einer extrem starken Frostverwitterung ausgesetzt.

Trogtäler (oft auch U-Täler genannt) weisen an den Gebirgshängen zahlreiche Kare, vom Gletscher in den Fels einerodierte Hohlformen mit steilen Rückwänden auf. Hängetäler, die abgesetzt mit



Abb. 5.9 Schliffgrenze an der Crasta Mora auf 2700 m an der Mündung des Val Bever ins Oberengadin. (Foto: Max Maisch)

# Gletscher als Bildhauer der Landschaft

1. Wie heisst die letzte grosse Kaltzeit? Wie lange dauerte sie? Wann erreichte sie die maximale Ausdehnung? Wie viele Eiszeiten gab es im Quartär (letzte 2.6 Mio. J.)? Nenne die letzten fünf Eiszeiten in der Schweiz.

Günz (Möhl), Mindel (Habsburg / Hagenholz), Riss (Beringen) .....  
Würm (Birrfeld // 110 000 - 11 500 (BP) .....  
25000 - 22 000 (BP). mindestens 15 im Quartär .....

2. Seit wann ist das Schweizer Mittelland eisfrei? Eiszeiten: Präzession, Änderung der Umlaufellipse  
Bis vor 12 000 BP .....

3. Erkläre die akkumulative Wirkung der eiszeitlichen Gletscher im Mittelland? Begründe.  
- sanft gewellte Oberflächenformen, Gletscher tragen das Land ab, wellig .....  
- fruchtbare Böden, Wasser, Schotter (Schmelzwasser), Grundwasserströme und Grundmoränenmaterial (Fläche / Ströme), Typische Hügellandschaft .....  
- Zürichsee .....

4. Wie fliesst die Sihl? Wie müsste sie fliessen? Begründe.  
Vom Hochtal in Einsiedeln verdrängt zum Hang der Höhrnenkette .....  
Wurde vom Gletscher verdrängt (Linth-Rhein-Glätscher) .....  
Paralell zum Zürichsee, Uetliberg (Albiskette) - Hang-Höhrnen .....  
Neues Bachbett in der glazialen Schmelzwasserrinne .....

Zwischen den Eiszeiten gabe es organisches Material, dieses wurde dann von Gletschern auf einen Haufen getragen und  
5. Weshalb sind Schotterfelder oft wertvoll für die Eiszeit- und Klimaforschung? Begründe.  
mit Schotter überschüttet, daran kann man ablesen wie lange her .....  
die Eiszeit war, denn es bildete sich Kohle aus den organischen .....  
Resten // Kiesgruben Aufschlüsse in den Schotterfeldern sind Archive .....  
des Mittellandes, Schieferkohlehorizonte in Kieswänden sind aus Torf .....  
und Holzresten entstanden und belegen eine gletscherfreie, wärmere Zeit .....  
in der Sträucher und Bäume wuchsen, innerhalb der Birrfeldeiszeit .....  
Mit der C14-M kann das Alter der Planze und das Interstadial bestimmt w.

6. Erkläre die <sup>14</sup>C-Methode (Radiokarbonmethode).  
Stickstoff wird durch Kosmische Strahlung zu C14, Tiere und Pflanzen .....  
aufgenommen, wenn diese den Stoffwechsel einstellen, bleibt dieses .....  
vorhanden, wenn man die Menge dann misst kann man das Alter bestimmen .....  
Halblebenszeit von C14, Endochronologie // C14 -> N14 (HL: 5730y +/- 40y) .....  
Sobald ein Lebewesen stirbt nimmt es kein C mehr auf, aus dem Verhältnis .....  
C14 / C12 kann man das Alter des organischen Materials bestimmen.

7. Wie entstand die Schliftgrenze? Worüber gibt sie Auskunft? Wo ist sie gut sichtbar?  
Die Berge unter der Eisoberfläche waren von thermischer Erosion .....  
geschützt, die darüber nicht, deshalb splitterten sie. Daran kann .....  
man ablesen, wie hoch die Eisoberfläche war. ....

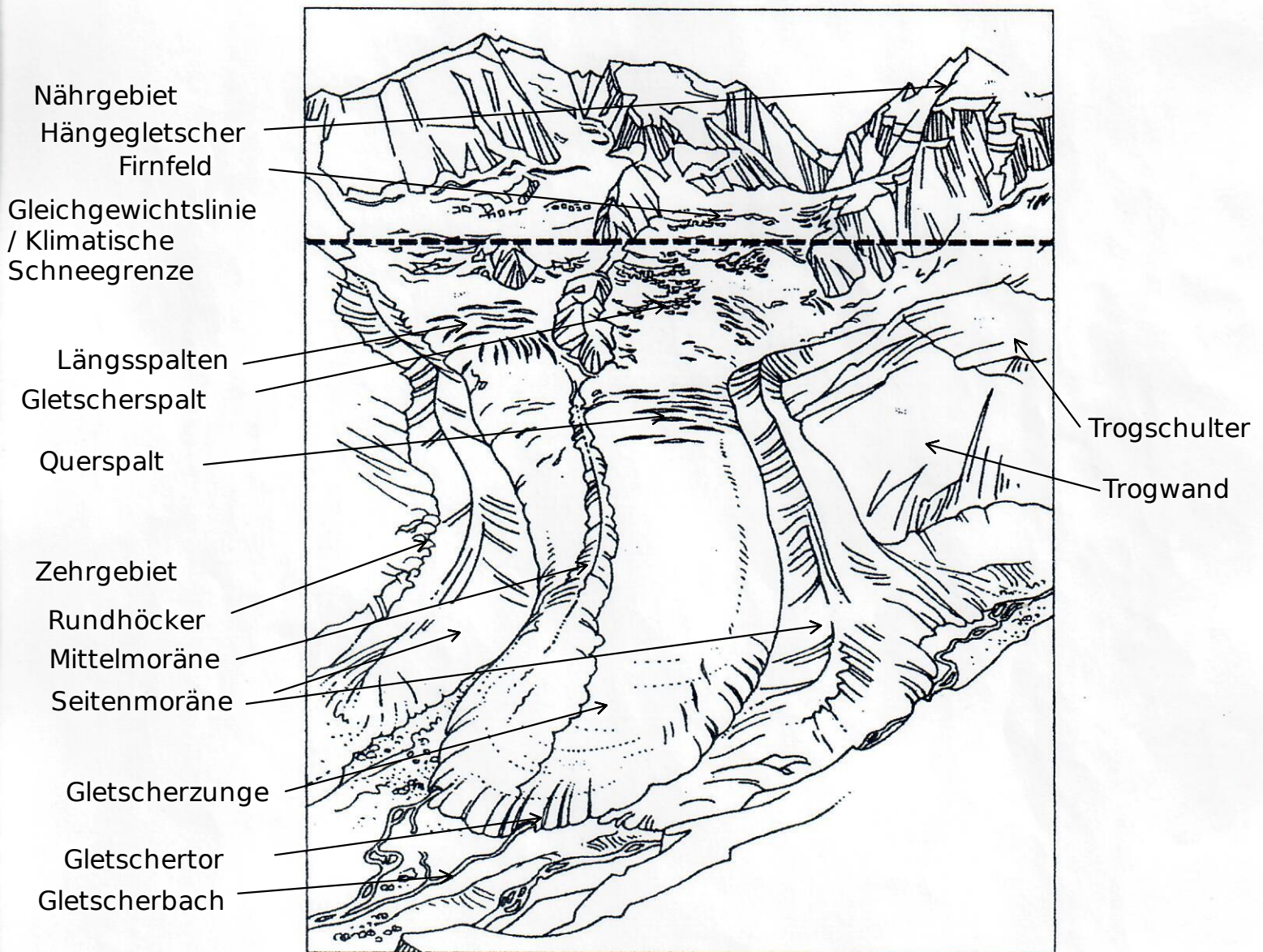
Die Schliftgrenze ist die Linie zwischen den vom Gletscher .....  
abgeschliffenen Talhängen und den durch Frostsprengung und .....  
-Verwitterung gezackten Bergränder, die damals über die Eisflächen .....  
ragten. Sie gibt Auskunft über die Mächtigkeit des Gletschers.  
(Trogtäle im U-Tal)

# Gletscher

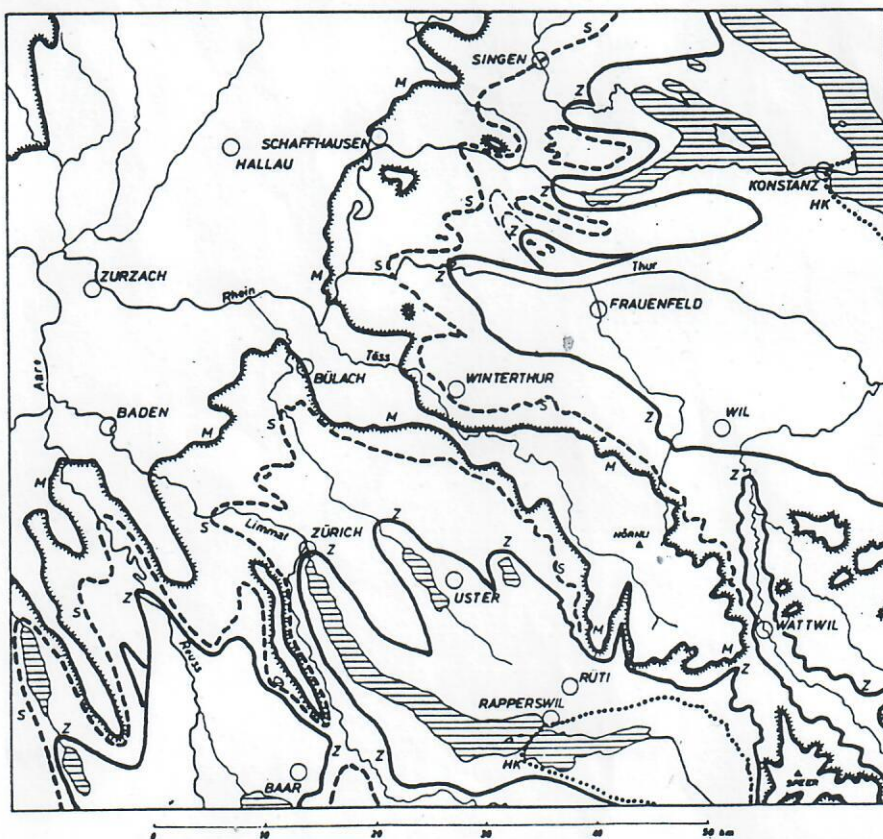
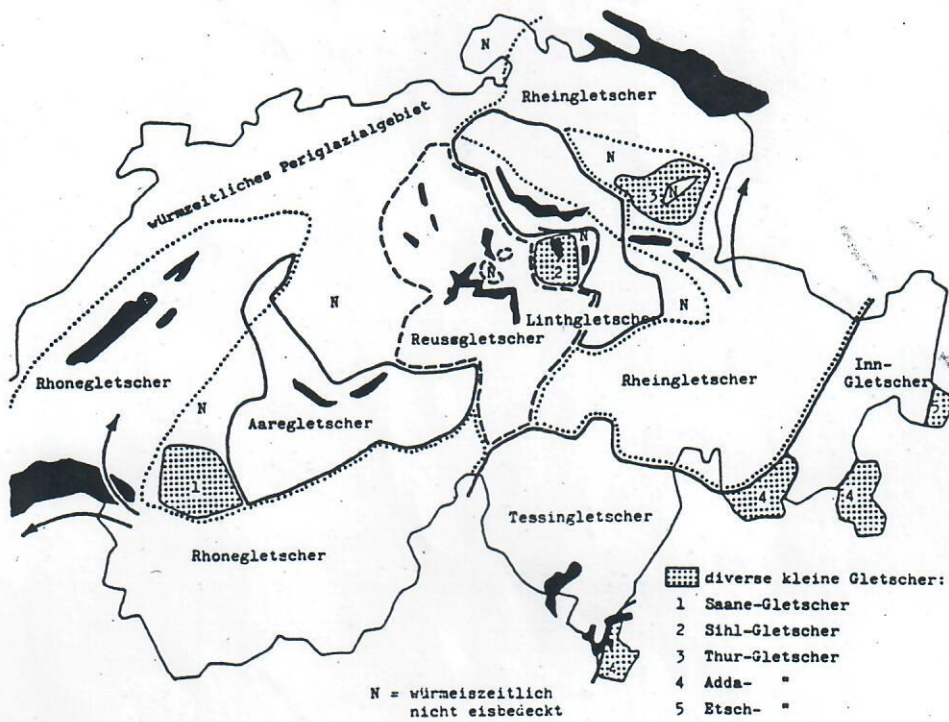
Die Schneegrenze, über der sich die Region des "ewigen'Schnees" ausdehnt, liegt in verschiedenen Alpengebieten nicht gleich hoch:

Säntisgruppe	2500 m
Tessin (Süden)	2900 m
Monte Rosa-Gruppe	3300 m

Ueber der Schneegrenze liegt das Nährgebiet der Gletscher. Der hier zunehmende Schneevorrat verwandelt sich allmählich in Firnschnee und schliesslich in Firneis und Gletschereis. In der Tiefe des Firns wird das Eis unter gewaltigen Druckkräften weich und verformbar: der Gletscher beginnt langsam talwärts zu gleiten, gelangt in wärmere Zonen (Zehrgebiet) und schmilzt ab.



# Die Ausdehnung der letzten grossen Vereisung (Würm) in der Schweiz



Skizze der Würmvergletscherung in der Gegend des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete.  
 M Maximalstand der Vergletscherung, S Schlierenstadium, Z Zürichstadium, HK Hurden-Konstanzer-Stadium.

HOFMANN

# Permafrost

Definition: Wenn der Untergrund während mindestens einem Jahr kälter als  $0^{\circ}\text{C}$  ist, spricht man von Permafrost.

Im Sommer taut die oberste Bodenschicht einige Dezimeter bis wenige Meter auf. Die Mächtigkeit der darunterliegenden Permafrostschicht beträgt in den Alpen teilweise über 100 Meter.

## Verbreitung:

Rund 5% der Fläche der Schweiz weist Permafrost auf. Lufttemperatur, Strahlung, Oberflächenbeschaffenheit und Schneebedeckung sind für die Permafrostverbreitung bedeutend. Die Schneebedeckung spielt eine entscheidende Rolle. Im Winter isoliert sie und verhindert weitere Permafrostbildung, im Sommer verlangsamt sie das Auftauen und Permafrost kann sich besser halten.

Windgeschützte Tallagen und Mulden weisen meistens grössere isolierende Schneehöhen auf als windexponierte Bergkämme. Deshalb findet man Permafrost in Gipfel- und Gratlagen bereits auf geringerer Meereshöhe, als in Senken und Tälern. In schattigen Lagen kann der Permafrost bis weit unter die Waldgrenze reichen. An Nordhängen muss oberhalb von ca. 2400 bis 2600m ü. Meer grundsätzlich mit Permafrost gerechnet werden.

In Hangfusslagen tritt Permafrost oberhalb 2050 bis 2600m ü. Meer auf.

## Wie erkennt man Permafrost?

### a) Oberflächenphänomene:

Blockgletscher, deformierte Gletschermoränen und ganzjährige Eisflecken verraten den an der Oberfläche unsichtbaren Permafrost.

### b) Geophysikalische Methoden:

Durch Sprengung erzeugte Schallwellen breiten sich in gefrorenem Schutt schneller als in ungefrorenem Schutt, aber langsamer als in Fels aus.

### c) Geoelektrik:

Untergrundeis verändert die elektrischen Widerstände.



#### d) Basis-Temperatur der Schneedecke (BTS)

Man misst die Temperatur unter einer mindestens 80 cm mächtigen Schneedecke im Hochwinter (vor Eintreten der Schneeschmelze d.h. Feb/März).

Liegt die Basis-Temperatur der Schneedecke tiefer als  $-3^{\circ}\text{C}$ , handelt es sich um Permafrost, bei Werten über  $-2^{\circ}\text{C}$  ist Permafrost abwesend oder inaktiv.

Dazwischen liegt der Unsicherheitsbereich der Methode.

Direkt kann Permafrost nur durch Grabungen oder Bohrungen zugänglich gemacht werden.

#### Permafrost als Klimaindikator

Da es immer noch Menschen gibt, die erst bereit sind, ihr Verhalten zu ändern, wenn ihnen Beweise für eine Klimaveränderung vorgelegt werden können, ist es entscheidend, dass möglichst rasch weitere Indikatoren aufgestellt und überwacht werden.

Der Permafrost ist ein relativ neuer Indikator, der nicht so einfach zu deuten ist wie Gletscher. Sein Vorteil: Permafrost ist flächenmässig viel verbreiteter als Gletschereis.

Veränderungen der Permafrostbedingungen als Folge der atmosphärischen Erwärmung (z.B. Treibhauseffekt) treten auf. Bei einer Zunahme der mittleren Lufttemperatur um  $1^{\circ}\text{C}$  würde im nächsten halben Jahrhundert die Permafrostgrenze um 150 bis 200 m ansteigen.

Lokal, z.B. in Zonen, die vom Gletscher freigegeben werden, sind auch Permafrostneubildungen möglich.

Fehler, welche durch schneearme Winter entstehen können, müssen berücksichtigt werden. Weniger Schnee bedeutet eine geringere Isolationsdecke über dem Boden. Die Ausstrahlung ist stärker, zusätzliches Wasser im Schutt kann gefrieren und die Mächtigkeit der Permafrostschicht bzw. die Fläche nimmt zu, obwohl die durchschnittliche Lufttemperatur höher ist als vor z.B. 10 Jahren.

#### Welche Folgen haben Permafrostveränderungen für uns?

Gruppenarbeit: Jeweils drei Schüler sammeln Informationen zum obigen Thema aus dem Internet, Büchern und Zeitungsartikeln. Anschliessend teilen sie dies in Form eines Kurzreferates der Klasse mit.

- Boden wird weicher -> Häuser kippen um; Bergrutsch, Leitungen bersten
- Boden hart -> Schlecht für Landwirtschaftliche Nutzung
- Boden weich -> Sumpf
  
- Tiere Pflanzen, Zerstörung von Lebensverhältnisse
- Transportanlagen müssen häufiger gewartet werden
- Schneekanonenleitungen können bersten
- Grundwasser kann anders fließen
  
- Keller beheizen -> PF geheizt, Mikroorganismen freigesetzt, Überschwemmung

# Warum die Gletscherschmelze uns alle betrifft

Die Gletscher in den Alpen könnten bis Ende des Jahrhunderts ganz verschwunden sein. Die Folgen werden nicht nur in den Berggebieten der Schweiz, sondern in ganz Europa spürbar werden. 01. Oktober 2025 - 13:00, Luigi Jorio

Die Gletscher schmelzen. Das allein ist eigentlich keine Neuigkeit: Seit 1850 hat sich das Volumen der Gletscher um zirka 60 Prozent verringert. Überraschend hingegen ist die Geschwindigkeit, mit welcher diese «Giganten aus Eis» immer kleiner werden. Und schon in wenigen Jahrzehnten zu verschwinden drohen.

«Der Gletscherrückgang beschleunigt sich», sagt Daniel Farinotti, Glaziologe an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH). Er ist Mitglied des Steuerungsausschusses von «GLAMOS», dem Schweizer Gletschermessnetz. Eine [im Sommer 2022 veröffentlichte Studie](#) [Externer Link](#) kommt zum Schluss, dass die Schweizer Gletscher zwischen 1931 und 2016 die Hälfte ihres Volumens verloren haben und zwischen 2016 und 2021 weitere 12%.

Im hydrologischen Jahr 2024/2025 betrug der Verlust an Gletschermasse 3%. Besonders die Hitzewellen im Juni und August sowie die geringen Schneefälle im Winter haben das Schmelzen begünstigt.

Infolge der Rekordtemperaturen in den Alpen wurden Gegenstände, menschliche Überreste und das Wrack eines Flugzeugs gefunden, das seit mehr als 50 Jahren im Eis eingeschlossen war. Solche Entdeckungen würden in den kommenden Jahren noch zunehmen, sagt der Schneewissenschaftler Robert Bolognesi.



Immer öfter geben Gletscher ihre Geheimnisse frei

Seit dem vorindustriellen Zeitalter ist die Temperatur in der Schweiz [um fast 2 Grad gestiegen](#), das entspricht dem Doppelten des weltweiten Durchschnitts. Sollte es in diesem Rhythmus weiter gehen, wird die Hälfte der 1500 Alpengletscher, inklusive dem als Unesco-Welterbe anerkannten Aletsch, innerhalb der nächsten 30 Jahre verschwinden.

Und wenn nichts unternommen wird, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, laufen laut Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern alle Gletscher in der Schweiz und in Europa Gefahr, bis zum Ende des Jahrhunderts fast vollständig verschwunden zu sein.

Die Gletscher ziehen sich nicht nur in den Alpen zurück. Fast alle Gletscher der Welt werden dünner und verlieren immer schneller an Masse. Besonders alarmierend ist das Abschmelzen im Himalaya und in den Anden, wo die Existenz von Hunderten Millionen Menschen von den Gletschern abhängt.



Es gibt aber auch Ausnahmen. Einige Gletscher in Zentralasien scheinen von der globalen Erwärmung nicht betroffen zu sein. Ihre Fläche ist stabil geblieben oder hat sogar zugenommen, anstatt zu schrumpfen. Ein Schweizer Projekt will die Gründe für diese Anomalie untersuchen.



Schweizer Forschende wollen Geheimnis der Pamir-Gletscher lüften

## Die Folgen einer Welt ohne Gletscher

Wird sich der Rückgang der Gletscher negativ auf unsere Zukunft auswirken? Eine verlässliche Antwort auf diese Frage ist schwierig. In der Erdgeschichte gab es das Phänomen der Gletscherschmelze immer wieder, aber über viel längere Zeiträume. Sicher ist: Die jüngste Entwicklung zwingt uns, uns auf neue Szenarien vorzubereiten. In der Schweiz bedeutet die Gletscherschmelze ein erhöhtes Risiko von Naturkatastrophen wie Überschwemmungen, Murgängen und Erdbeben. Die Seen, die sich im Inneren eines Gletschers bilden, können sich plötzlich ins Tal ergießen und dabei Dörfer und Infrastrukturen zerstören. Und je dünner das Eis und die Permafrostschicht werden, desto instabiler werden die Berge insgesamt.

[Mehr Schweizer Pionierforschung entschlüsselt, wie Permafrost auftaut](#)

In der Schweiz werden jene Gletscher, die als gefährlich eingestuft werden, ständig überwacht. Neben Helikopterüberflügen und Feldinspektionen setzen die Forschenden die neuste

Technologie ein. Hochauflösende Kameras, Radar, akustische Sensoren, Eisvibrationsdetektoren und Satellitenbilder ermöglichen es, jede noch so kleine Bewegung zu erfassen. Mit dem Abschmelzen der Gletscher verliert die Schweiz eine wichtige Wasserreserve, die gemäss Schätzungen den Trinkwasserverbrauch der Schweizer Bevölkerung für 60 Jahre sicherstellen könnte. Die Schweiz wird weiterhin über genügend Wasser verfügen, selbst wenn die Bevölkerung auf 10 Millionen im Jahr 2050 wächst. Das Land ist jedoch nicht vor lokalen Wasserknappheiten zu bestimmten Jahreszeiten gefeit und hat daher ein nationales Dürre-Monitoring eingerichtet.



Weshalb das Wasserland Schweiz ein Dürre-Monitoring braucht

Die Schaffung neuer Mehrzweckspeicher in eisfreien Bergregionen könnte neue Möglichkeiten für die Stromerzeugung aus Wasserkraft und für die Landwirtschaft eröffnen.

Gemäss einem von der ETH und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) erstellten Studie könnten durch das vollständige Abschmelzen der Gletscher 683 neue Seen in den Alpen entstehen. Ein in der Schweiz einzigartiges Projekt im Wallis sieht vor, [das Schmelzwasser in einem bestehenden Stausee zu sammeln und zu speichern](#). Das Wasser soll dann im Sommer zur Bewässerung von Weinbergen und Feldern verwendet werden.

Problematischer könnte die Situation in Europa sein, in Regionen, die Hunderte von Kilometern von den Schweizer Alpen entfernt sind. Aufgrund des geringeren Beitrags von Schneeschmelze und Gletschern könnten die Abflussmengen der grossen europäischen Flüsse – Rhone, Rhein, Donau und Po – im Sommer deutlich zurückgehen. Ein Absinken der Pegel von Flüssen und Seen wird die Schifffahrt und den Transport von Gütern in und aus der Schweiz erschweren.

Die Schweiz will mehr Wasser zur Stromerzeugung zurückhalten. Frankreich und Italien brauchen mehr Wasser für die Landwirtschaft. Gibt es eine Lösung?

### **Wie können die Alpengletscher erhalten werden?**

Die Gletscher haben die Schweiz weltweit bekannt gemacht. Um dieses Erbe von nationaler Bedeutung zu bewahren, hat sich die Wissenschaft in einen Wettlauf gegen die Zeit begeben.

Auf dem Morteratsch-Gletscher in Graubünden wurde ein Projekt zum Schutz des Gletschers mit Kunstschnee gestartet, ein System, das im Erfolgsfall auch im Himalaya und in den Anden eingesetzt werden kann.

Um das Abschmelzen des Eises zu verlangsamen, werden in den Alpen zunehmend Geotextilien eingesetzt. Sie werden über den Gletscher verteilt, reflektieren das Sonnenlicht und tragen dazu bei, den Schnee und das Eis darunter zu erhalten.

Obwohl sie lokal wirksam und rentabel sein können, ist eine grossflächige Anwendung weder machbar noch kosteneffizient, so eine 2021 veröffentlichte Schweizer Studie.



Eine Decke hält die Gletscher kühl

Aber die Wissenschaft kann gar nichts machen, wenn die Treibhausgasemissionen weiter steigen.

Im Juni 2023 hat das Schweizer Stimmvolk das neue Klimagesetz angenommen, das das Erreichen der Klimaneutralität und damit eine Netto-Null-Emissionsbilanz bis 2050 verbindlich vorschreibt.

Nur das Ende des Zeitalters der Treibstoffe und fossilen Brennstoffe wird es ermöglichen, zumindest einen Teil der Alpengletscher zu erhalten, sagt Johannes «Hans» Oerlemans, einer der einflussreichsten Klimaforscher der Welt.

Quelle: [Warum die Gletscherschmelze uns alle betrifft - SWI swissinfo.ch](#), 16.1.26