

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

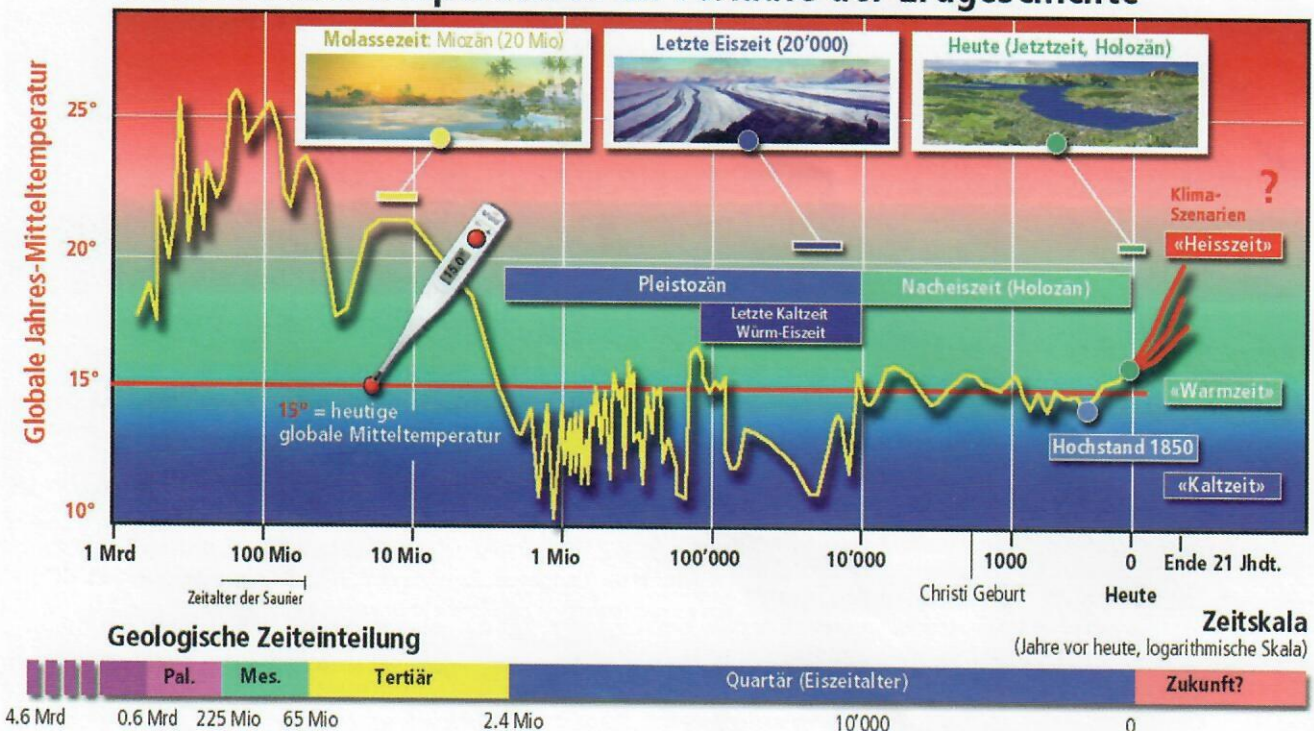


Abb. 5.1 Klimaänderungen (Temperaturkurve) während den verschiedenen Abschnitten der Erdgeschichte im Zeitraum der letzten 1 Mrd Jahre. Die horizontale rote Bezugslinie entspricht der heutigen globalen Mitteltemperatur von 15° C. (Grafik: Max Maisch)



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**).

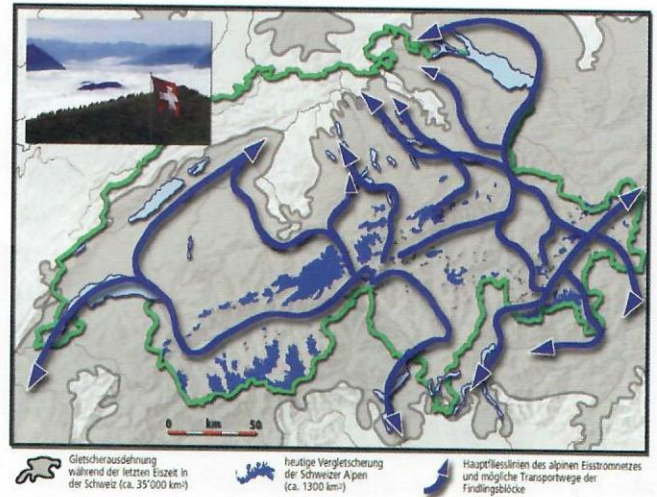


Abb. 5.3 Karte zur letzten Eiszeit in der Schweiz mit den Zugbahnen der wichtigsten Findlinge. (Grafik: Max Maisch)

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 verästelt 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, ¹⁴C-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).

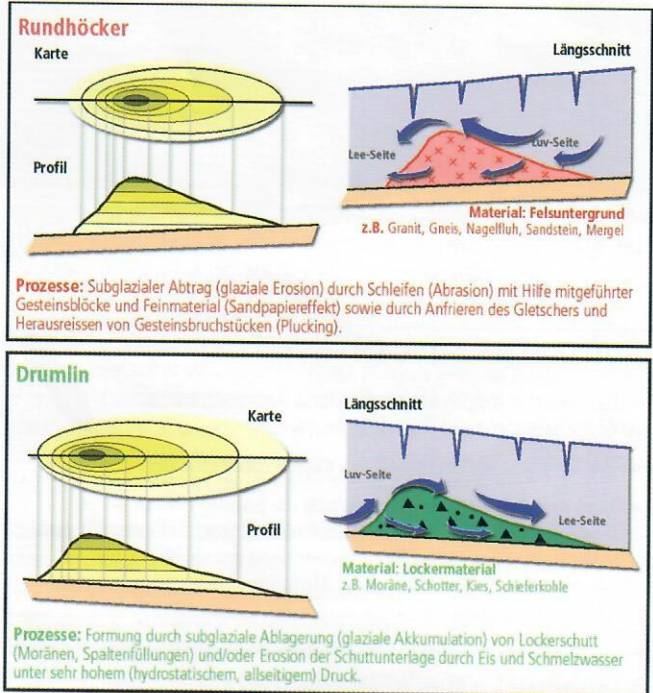


Abb. 5.6 Form, Inhalt und Entstehungsweise von Rundhöckern und Drumlins. (Grafik: Max Maisch)

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)