



Geografie

Geomorphologie

Skript

Cyril Wendl

© Luzern, 14. Januar 2026

Inhaltsverzeichnis

1	Verwitterung und Erosion	2
1.1	Verwitterung	2
1.2	Erosion	6
2	Glaziale Geomorphologie	10
2.1	Glaziale Geomorphologie	10
2.1.1	Nutzen von Gletschern für Menschen	10
2.1.2	Geomorphologie	11
2.1.3	Massenbilanz eines Gletschers	14
2.1.3.1	Akkumulationsgebiet (Nährgebiet) und Ablationsgebiet (Zehrgebiet)	14
2.1.3.2	Firnlinie und Gleichgewichtslinie	16
2.1.3.3	Jährliche Veränderung der Position und Klimaeinfluss	17
2.1.3.4	Temperaturen, Schneefall und Gletscherbewegung	18
2.1.4	Reaktionszeit eines Gletschers	21

Kapitel 1

Verwitterung und Erosion

1.1 Verwitterung

Verwitterung

Prozesse der Lockerung, Aufbereitung und Zerstörung von Gesteinen sowie Mineralien an oder nahe der Erdoberfläche durch die Einwirkung **physikalischer** (mechanischer), **chemischer** oder **biogener** Einflüsse. Die Stärke der Verwitterung hängt ab vom Klima, den Eigenschaften des Gesteins sowie der Zeitdauer, während dem die Prozesse dauern.



Notizen

Aufgabe 1.1

Vervollständigen Sie folgende Tabelle beim Zuschauen des Films

film	Verwitterungstyp	Beschreibung und Beispiele	Produkt
2.1	Temperatur-Verwitterung^a		
2.2	Frost-Verwitterung		
2.3	Salz-Verwitterung		
2.4	Biologisch-physikalische Verwitterung		
-	Druckentlastungs-Verwitterung		

Tabelle 1.1: Physikalische Verwitterung: Typen und Prozesse

✓ Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1.1

Film	Verwitterungstyp	Beschreibung und Beispiele	Produkt
2.1	Temperatur-Verwitterung	Temperaturschwankungen durch Sonneneinstrahlung: Erwärmung (Ausdehnung) am Tag, Abkühlung (Schrumpfung) in der Nacht erzeugen Spannungen.	Körnig-eckiger Gesteinsschutt
2.2	Frost-Verwitterung	Volumenvergrößerung von gefrierendem Wasser (um 9 %) erzeugt Druck.	Blöcke
2.3	Salz-Verwitterung	Verdunstung von Wasser, Kristallisation der gelösten Salze. Ausdehnung durch Kristallisierungsdruck führt zu Sprengung.	Rundliche Hohlräume
2.4	Biologisch-physikalische Verwitterung	Sprengung durch Pflanzenwurzeln.	Blöcke
-	Druckentlastungs-Verwitterung	Abtragung von überlagerndem Gestein reduziert den Druck, wodurch sich das Gestein ausdehnt und in Schalen ablöst.	Schalenförmige Abplatzungen

Tabelle 1.2: Physikalische Verwitterung: Typen und Prozesse

^aWird auch Insolationsverwitterung genannt

✓ Aufgabe 1.2

Vervollständigen Sie folgende Tabelle während dem Zuschauen des Films

Film	Verwitterungstyp	Beschreibung und Beispiele	Produkt
3.1	Hydratations-Verwitterung		
3.2, 3.3	Lösungs-Verwitterung (Hydrolyse)		
-	Oxidations-Verwitterung		

Tabelle 1.3: Chemische Verwitterung: Typen und Prozesse

✓ Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1.2

Film	Verwitterungstyp	Beschreibung und Beispiele	Produkt
3.1	Hydratations-Verwitterung	Volumenvergrösserung durch Anlagerung von Wassermolekülen im Kristallgitter von Mineralien. Kein Aufbrechen chemischer Verbindungen!	Zerfallene Minerale
3.2, 3.3	Lösungs-Verwitterung (Hydrolyse)	Lösen von Substanzen in Wasser, z.B. Steinsalz, Kalk, Gips. Sonderformen: Kohlensäureverwitterung (siehe Abbildung 1.2), Rauchgasverwitterung . Aufbrechen chemischer Bindungen.	Hartes Wasser
-	Oxidations-Verwitterung	Oxidation von z.B. Eisen mit Sauerstoff in Luft und/oder Wasser.	Rost

Tabelle 1.4: Chemische Verwitterung: Typen und Prozesse

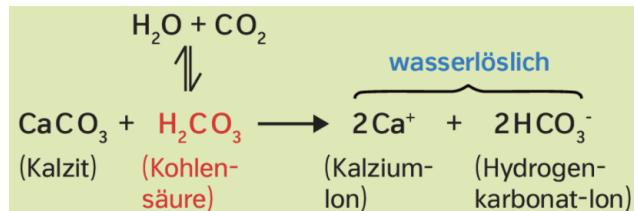


Abbildung 1.2: Kohlensäure-Verwitterung: Chemische Verwitterung von Kalk (Kalzit) [1]



Abbildung 1.1: Ober- und unterirdische Karst-Formen als Resultat der Kohlensäureverwitterung [1, S. 132]

1.2 Erosion

Abtragung

Durch Wasser (Flusserosion), Wind (Winderosion oder Deflation) und Eis (Gletschererosion), jedoch auch unmittelbar durch die Schwerkraft (z.B. Bergsturz) wird das aufbereitete Gesteinsmaterial verlagert. Eine linienhafte Abtragung (z.B. Flüsse) wird als **Erosion**, eine eher flächenhafte hingegen als **Denudation** bezeichnet.

Notizen

Ablagerung

Nach dem Transport durch Wasser, Wind und Eis werden die festen Stoffe an bestimmten Orten wieder abgesetzt oder ausgeschieden, was man allgemein als Ablagerung, Akkumulation

oder Sedimentation bezeichnet. Dabei unterscheidet man zwischen klastischen (z.B. Sand), chemischen (z.B. Gips) und biogenen Sedimenten (z.B. Korallenriff)

 Notizen

 Aufgabe 1.3 (Quelle: [2])

Die Alpen heben sich seit circa 30 Millionen Jahren um durchschnittlich 0.5 bis 1 mm pro Jahr. Damit sollten die höchsten Berggipfel heute eigentlich 15'000 bis 30'000 m hoch sein.

1. Wieso erreichen die Alpen „nur“ circa 4000 m Höhe?
2. Überprüfen Sie Ihre Hypothesen mit dem Kapitel 3.3 im Buch „Diercke Geografie“[1] und diskutieren Sie zu zweit anhand des Fotos, welche Verwitterungsarten aus welchem Grund im Gebiet des Altels vorkommen beziehungsweise nicht vorkommen.

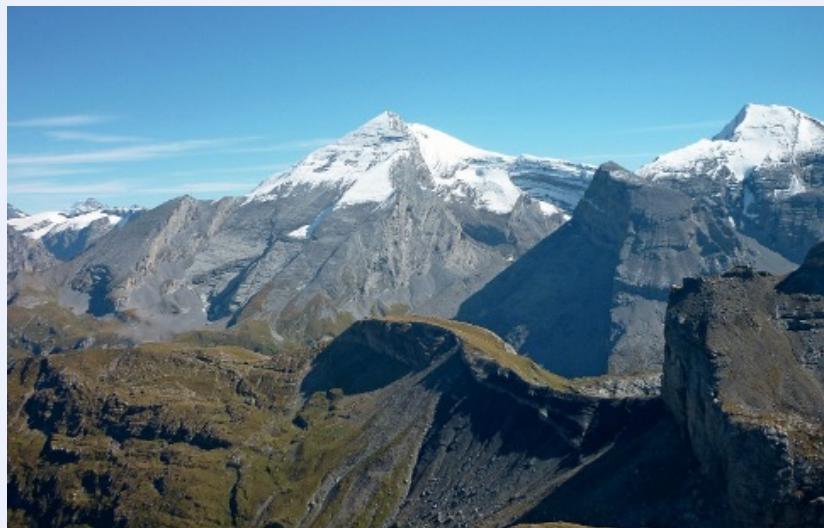


Abbildung 1.3: Der Altels im Berner Oberland, 3629 m ü. M. (© Fritz Lauber).

✓ Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1.3

Die Alpen sind heute nicht 30'000 m hoch: Die Alpen erreichen heute „nur“ eine Höhe von circa 4000 m, weil in den letzten 30 Millionen Jahren neben der Hebung der Alpen auch die Verwitterung das feste Gestein aufgelockert, zerkleinert oder aufgelöst und so die Abtragung des Gesteinsmaterials durch Flüsse und Gletscher ermöglicht hat.

Physikalische Verwitterung im Gebiet des Altels

- Neben Temperaturverwitterung dominiert Frostspaltung, da im Hochgebirge die Oberflächentemperatur von Gestein täglich um bis zu 100 °C schwanken kann und dabei auch Wasser in feinen Gesteinsklüften immer wieder gefriert und wieder auftaut. Die abgesprengten Gesteinsblöcke unterhalb von Felsbändern deuten auf beide Verwitterungsarten hin.
- Wurzelspaltung kommt nicht vor, da in dieser Höhenlage kaum Vegetation vorhanden ist.
- Salzspaltung tritt kaum auf, da bei den Temperaturen in diesen Höhenlagen das Wasser in den Gesteinsklüften kaum verdunstet, was für die Auskristallisation und die Volumenvergrößerung der Salze notwendig wäre.

Chemische Verwitterung im Gebiet des Altels

- Kohlensäureverwitterung tritt auf, da das Gebiet des Altels vorwiegend aus Kalk (mesozoische Sedimente) besteht.
- Hydratations-, Lösungs-, Rauchgas- und Oxidations-Verwitterung treten kaum auf, da die Temperaturen zu tief sind die Luft relativ rein ist.

☒ Aufgabe 1.4

Lösen Sie das Quiz auf folgender Adresse:

🏆 Aufgabe (Challenge) 1.5

(Aus [1, S. 133]) In welchen Gegenden der Schweiz würden Sie folgende Verwitterungsarten am ehesten erwarten?

1. Druckentlastungsverwitterung
2. Kohlensäureverwitterung

Abbildung 1.4: Geologische Karte der Schweiz

✓ Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1.5

1. **Druckentlastungsverwitterung:** Granit- und Gneis, also Aarmassiv, Gott-hardmassiv, Nordtessin, Teile des Wallis
2. **Kohlensäureverwitterung:** Kalkstein, also Jura und nördliche Alpen

Kapitel 2

Glaziale Geomorphologie

2.1 Glaziale Geomorphologie

2.1.1 Nutzen von Gletschern für Menschen



Notizen

2.1.2 Geomorphologie

Aufgabe 2.1



Schauen Sie sich folgenden Film an: (<https://youtu.be/XhWLMz7dHcw>).

Notieren Sie sich beim Anschauen des Films, welche Formen genannte werden und beachten Sie folgende Punkte:

- Notieren Sie sich alle Landschaftsformen, welche erwähnt werden.
- Wo entsteht ein Gletscher typischerweise? Was ist ein Kar?
- Wie bewegt sich der Gletscher talwärts? Um wie viel können sich Gletscher bewegen?
- Was ist eine Glaziale Serie? Welche Landschaftsformen gehören dazu?

Notizen

Aufgabe 2.2

Annotieren Sie folgende Modelle anhand der Bilder und Begriffe, die Ihnen verteilt werden.

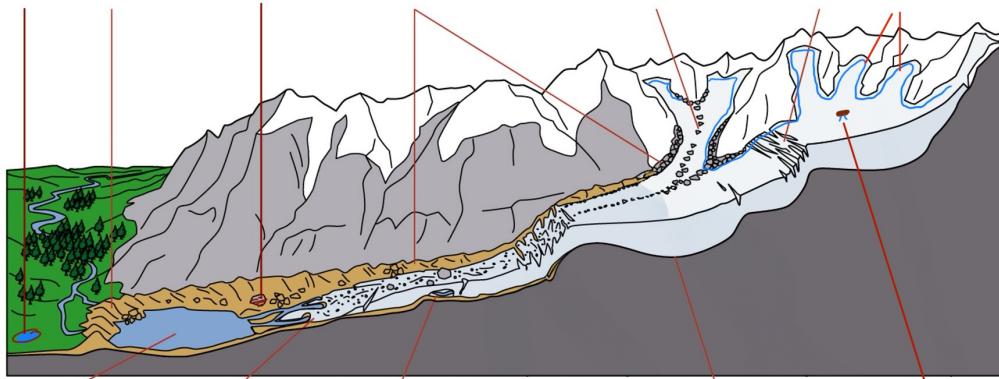


Abbildung 2.1: Abgeändertes Modell nach [2]

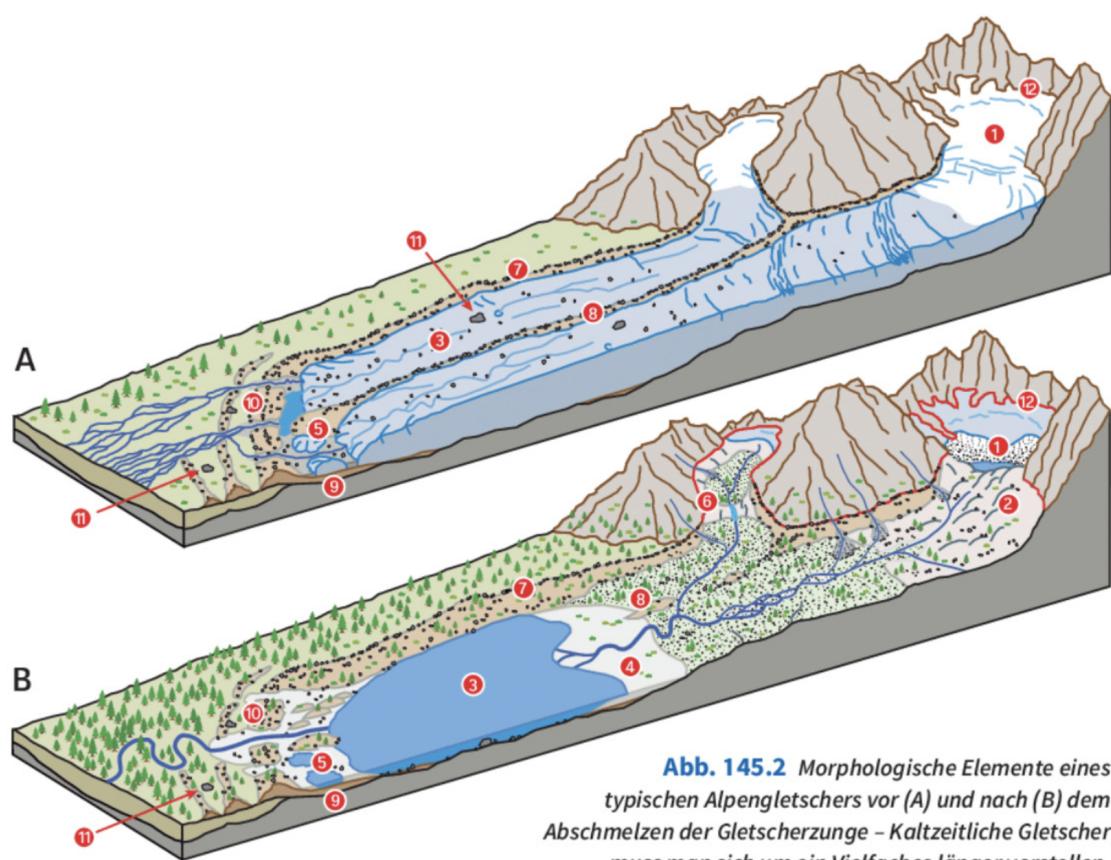


Abbildung 2.2: Abgeändertes Modell nach [1]

Aufgabe 2.3

Vervollständigen Sie die Abbildung mit folgenden Begriffen: Séracs (Eistürme), Randspalten, Längsspalten, Ogiven (Stauchwülste), Querspalten

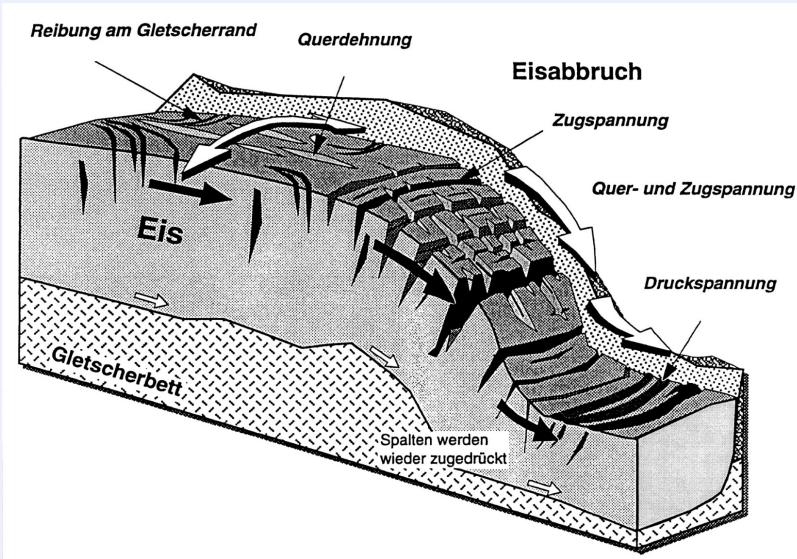


Abbildung 2.3: Entstehungsmechanismus von Gletscherspalten [3]

Notizen

2.1.3 Massenbilanz eines Gletschers

Die **Massenbilanz** eines Gletschers, auch **Gletscherhaushalt** genannt, beschreibt die Differenz zwischen der **Akkumulation** (Massenaufnahme) und der **Ablation** (Massenverlust) innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Sie ist ein entscheidender Faktor für das Wachstum oder den Rückzug eines Gletschers und wird von verschiedenen klimatischen und physikalischen Prozessen beeinflusst.

2.1.3.1 Akkumulationsgebiet (Nährgebiet) und Ablationsgebiet (Zehrgebiet)

Ein Gletscher kann in zwei Hauptzonen unterteilt werden: das **Akkumulationsgebiet** (oder **Nährgebiet**) und das **Ablationsgebiet** (oder **Zehrgebiet**).

Im Akkumulationsgebiet sammelt sich neue Masse durch Schneefall an, der im Laufe der Zeit durch Druck zu Firn, Firneis und schliesslich zu Gletschereis verdichtet wird. Dieses Gebiet liegt typischerweise in den höheren Lagen eines Gebirgschemas, wo die Temperaturen niedrig genug sind, dass der Schnee ganzjährig liegenbleibt und sich fortlaufend kompaktiert (siehe Abbildung 2.4). Im Akkumulationsgebiet ist es so kalt, dass der Massenzuwachs (v.a. durch Schneefall) über das Jahr gesehen grösser ist als der Massenverlust (v.a. durch Schmelze). Akkumulation kann nicht nur durch Schneefall erfolgen, sondern auch durch gefrierenden Regen, Eisansammlung durch Lawinen oder durch Windverfrachtung von Schnee.

Aufgabe 2.4

Vervollständigen Sie folgende Grafik mit folgenden Begriffen: Neuschnee, Firnschnee, Firneis, Gletschereis. Fügen Sie zudem die Prozentzahlen ein.

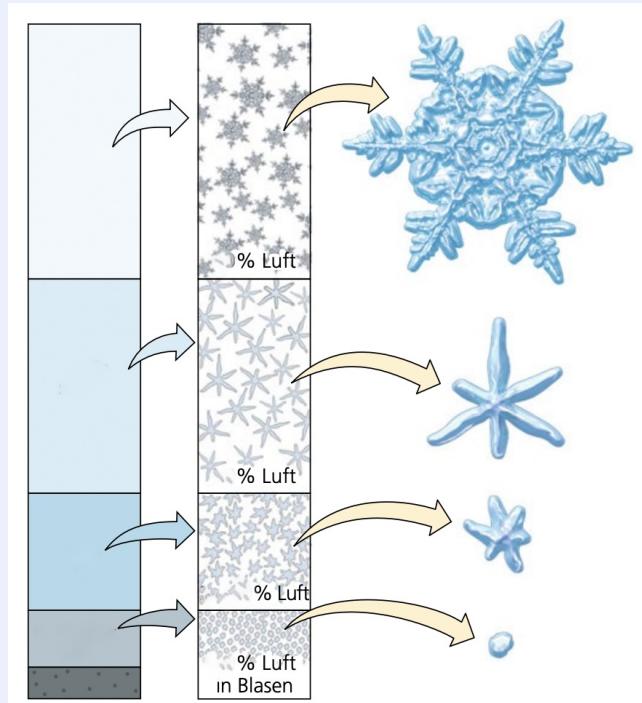


Abbildung 2.4: Metamorphose von Schnee zu Eis [4]

✓ Lösungsvorschlag zu Aufgabe 2.4

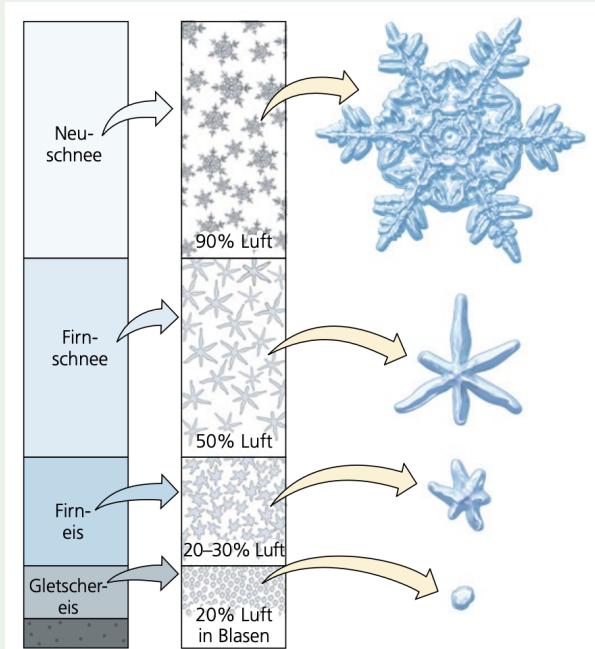


Abb. 21.7 Verschiedene Stadien beim Übergang von Schneekristallen in körnigen Firn, in Firneis und schließlich in kompaktes Gletschereis durch Sammeltrocknung. Die Veränderung der einzelnen Kristalle führt durch die Abgabe der eingeschlossenen Luft zu einer zunehmend höheren Dichte (nach: H. Bader et al (1939): Der Schnee und seine Metamorphose. – Beiträge zur Geologie der Schweiz)

Abbildung 2.5: Metamorphose von Schnee zu Eis [4]

Das Ablationsgebiet hingegen ist der Bereich des Gletschers, in dem während einem Jahr mehr Masse verloren geht als hinzukommt. Ablation erfolgt hauptsächlich durch Schmelze, aber auch durch Sublimation, also den direkten Übergang von Eis in Wasserdampf. Dieser Bereich befindet sich in tieferen Lagen, wo die Temperaturen im Sommer oft über dem Gefrierpunkt liegen und somit zur Abschmelzung des Eises beitragen.

☒ Aufgabe 2.5

Vervollständigen Sie die das unten stehende Bild.

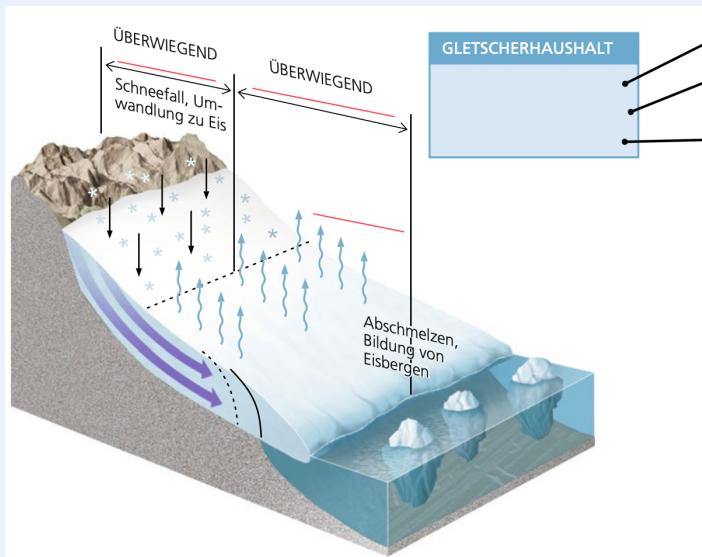


Abbildung 2.6: Akkumulations- und Ablationsgebiete, nach [4]

2.1.3.2 Firmlinie und Gleichgewichtslinie

Im Winter fällt normalerweise Schnee auf den Gletscher, auch in tieferen Lagen. Im Frühling setzt die Schneeschmelze ein und die Gletscherzunge wird vom Schnee befreit: Der Schnee schmilzt komplett weg und das Gletschereis wird sichtbar. In den Sommer- und Herbstmonaten ereignet sich dieser Prozess in immer höheren Lagen. Die Linie, welche den Übergang vom Schnee/Firn zum offengelegten Gletschereis markiert, wird **Firmlinie** genannt. Diese Linie ist manchmal, aber nicht immer, von blossem Auge erkennbar, wie etwa in Abbildung 2.7.

Die **Gleichgewichtslinie** markiert den Punkt, an dem die jährliche Massenzunahme durch Akkumulation genau der jährlichen Massenabnahme durch Ablation entspricht. Die Position dieser Linie variiert von Jahr zu Jahr und ist ein wichtiger Indikator für klimatische Veränderungen. Typischerweise muss in höheren Lagen im Herbst (Ende September) ca. 1/3 des Gletschers mit Schnee bedeckt sein, damit ein Gletscher nicht an Masse verliert.

Aufgabe 2.6

Vervollständigen Sie folgende Grafik mit folgenden Begriffen: Gleichgewichtslinie, Firmlinie, Akkumulationsgebiet (Nährgebiet), Ablationsgebiet (Zehrgebiet).

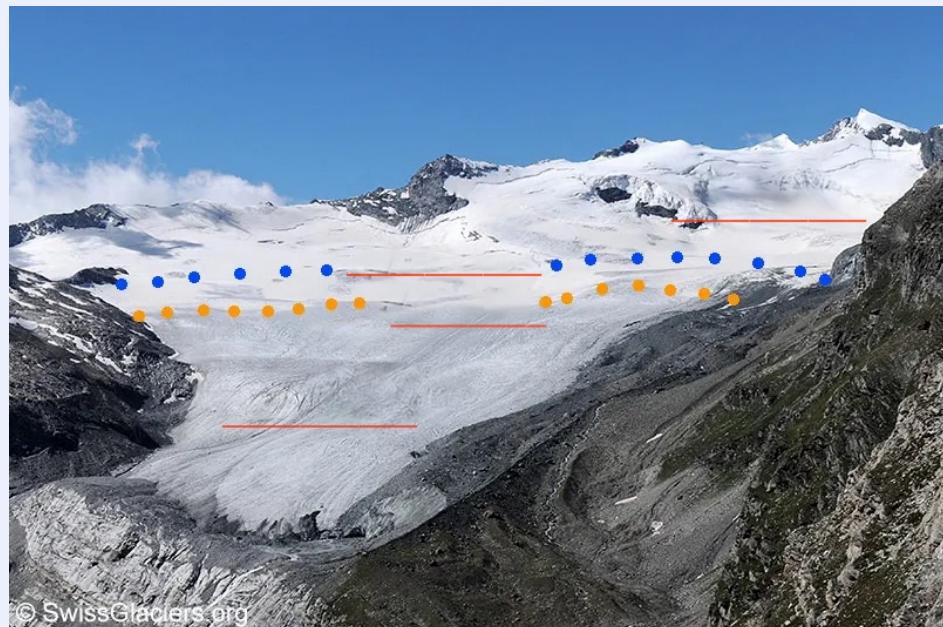


Abbildung 2.7: Massenbilanz eines Gletschers [5]

✓ Lösungsvorschlag zu Aufgabe 2.6

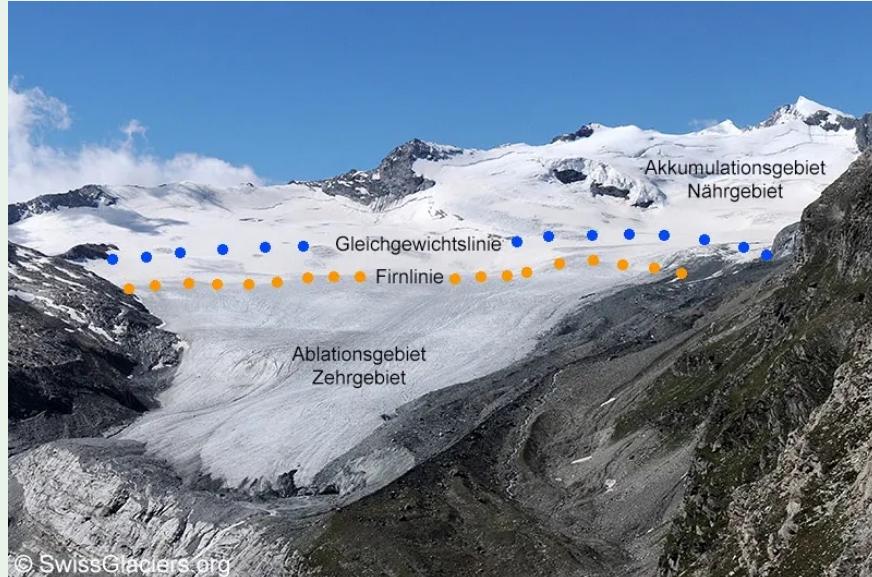


Abbildung 2.8: Massenbilanz eines Gletschers [5]

2.1.3.3 Jährliche Veränderung der Position und Klimaeinfluss

Die Position der Gleichgewichtslinie ist nicht konstant, sondern verändert sich in Abhängigkeit von klimatischen Bedingungen wie Temperatur und Niederschlagsmenge. Eine klimatische Erwärmung führt dazu, dass die Gleichgewichtslinie auf höhere Höhenlagen ansteigt, da das Ablationsgebiet sich ausdehnt. Umgekehrt kann eine Abkühlung des Klimas dazu führen, dass die Gleichgewichtslinie

absinkt und sich das Akkumulationsgebiet vergrössert. Dadurch bedingt sinkt auch das Ablationsgebiet nach unten und der Gletscher wird grösser, bzw. länger. Diese jährlichen Schwankungen sind direkte Folgen von klimatischen Bedingungen und beeinflussen die langfristige Entwicklung des Gletschers.

2.1.3.4 Temperaturen, Schneefall und Gletscherbewegung

Die Massenbilanz eines Gletschers wird massgeblich von Temperaturen und Schneefall bestimmt. Hohe Temperaturen verstärken die Schmelze und Sublimation, während niedrige Temperaturen die Akkumulation fördern. Die Menge und Verteilung des Schneefalls beeinflusst, wie viel Masse im Akkumulationsgebiet gespeichert wird. Neben der Massenbilanz spielt auch die Gletscherbewegung eine wichtige Rolle. Durch die Schwerkraft fliesst das Eis langsam talwärts, wobei interne Deformationen im Eiskörper (plastisches Fliessen) und das Gleiten auf dem flüssigen Untergrund (Sohlgleitung) die Hauptmechanismen sind (siehe [Challenge 2.8](#)).

Aufgabe 2.7

Füllen Sie folgendes Analyseraster aus, indem Sie für jede der neun Situationen diskutieren, was dies für den Haushalt eines Gletschers bedeutet. Verwenden Sie dabei die Begriffe *Nährgebiet*, *Zehrgebiet* und *Gleichgewichtslinie*.

		Niederschlag		
		Mehr Niederschlag ☔	Gleich viel ☔	Weniger Niederschlag ☀️
Temperatur	Heisser			
	Gleich heiss 😊			
	Kälter ❄️			



Aufgabe (Challenge) 2.8 Bewegungsprozesse von Gletschern (für Interessierte)

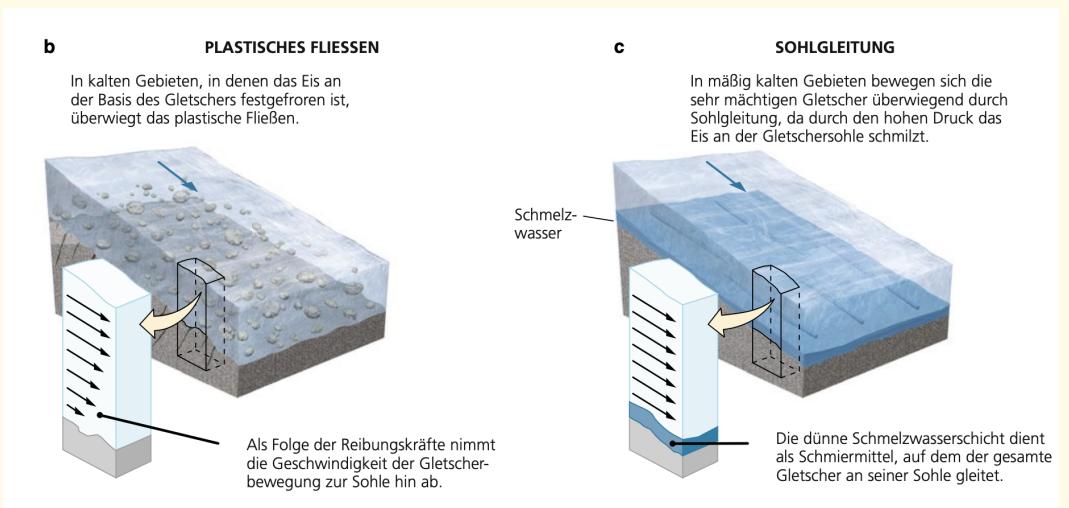


Abbildung 2.9: Bewegungsprozesse von Gletschern nach [4]

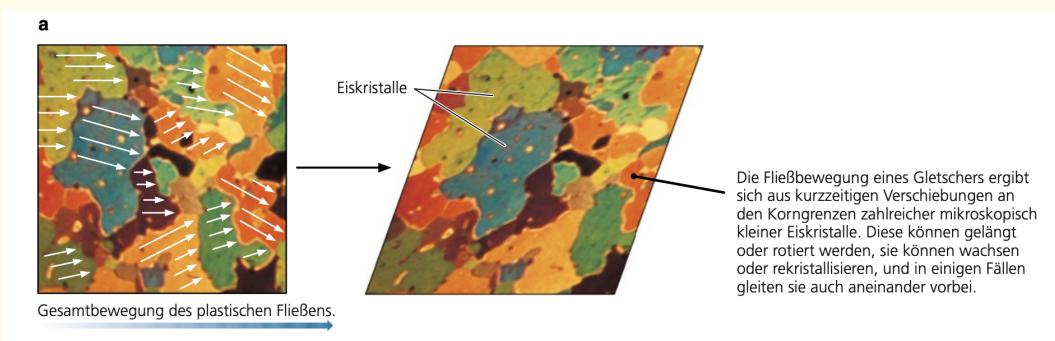


Abbildung 2.10: Plastisches Fliessen: Detailansicht

Die Sohgleitung kommt dadurch zustande, dass Eis bei gleichbleibender Temperatur unter Druck flüssig werden kann (siehe Abbildung 2.11).

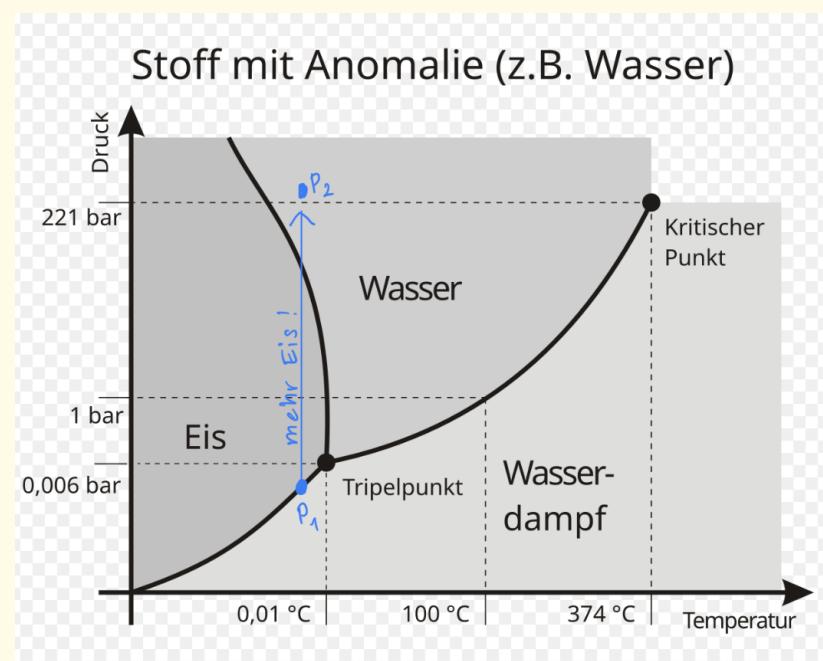


Abbildung 2.11: Tripelpunkt: P_1 = Eis auf der Gletscheroberfläche, P_2 = Eis am Boden des Gletschers wird zu Wasser

2.1.4 Reaktionszeit eines Gletschers

Die Reaktionszeit eines Gletschers beschreibt, wie schnell er auf Veränderungen in der Massenbilanz reagiert. Kleine Gletscher mit steilen Hängen passen sich relativ schnell an klimatische Veränderungen an, während grosse Gletscher mit flachen Neigungen eine längere Reaktionszeit haben. Diese Verzögerung kann dazu führen, dass Gletscher noch Jahrzehnte nach einer Klimaveränderung weiter wachsen oder schrumpfen, selbst wenn sich das Klima bereits verändert hat.

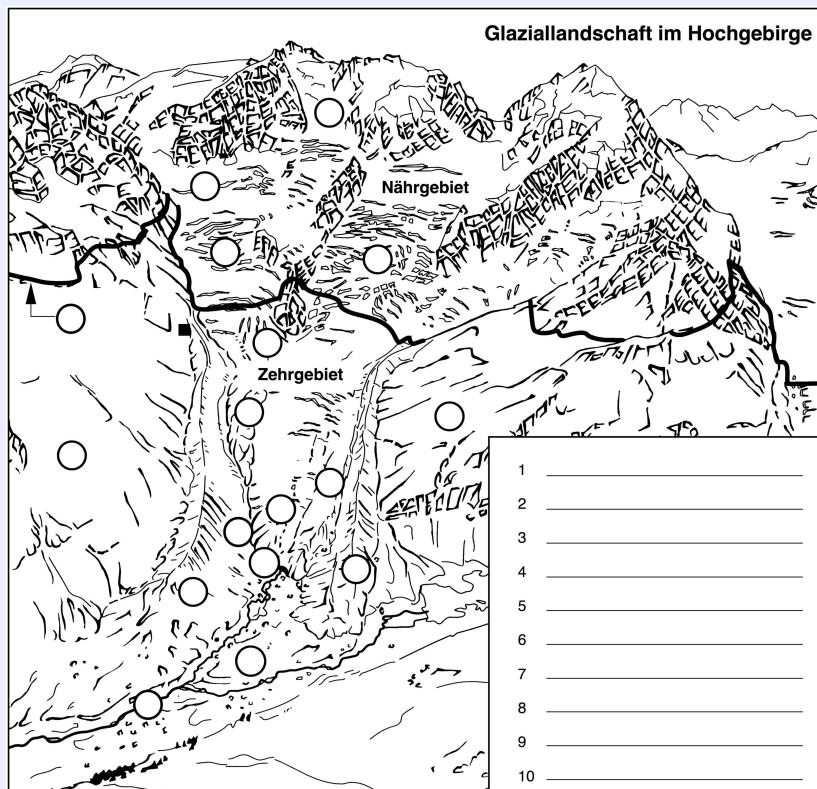
Aufgabe 2.9

Lösen Sie folgendes Quiz:



Aufgabe 2.10 9 Testfragen

1. Erklären Sie in ganzen Sätzen, was ein Gletscher ist und wie er sich ernährt.
2. Beschreiben Sie in ganzen Sätzen, wie ein Gletscherzungensee entsteht.
3. Beschreiben Sie in ganzen Sätzen, wie sich ein Gletscher bewegt.
4. Erläutern Sie den Unterschied zwischen einem Rundhöcker und einem Drumlin.
5. Erstellen Sie eine Legende zur untenstehenden Abbildung. Wählen Sie dazu selber zehn Begriffe aus und schreiben Sie die Zahl an die richtige Stelle in der Abbildung.
6. Nennen Sie zwei Gletschergefahren und zwei Gletschernutzungen.
7. Erläutern Sie den Unterschied zwischen einem Hängetal und einem Trogtal.
8. Erklären Sie den Begriff „Ablation“.
9. Begründen Sie in ganzen Sätzen, weshalb die Eiszeit ein Segen für die heute hier lebenden Menschen darstellt.



Aufgabe (Challenge) 2.11 Lehrbuchtext zu glazialen Formen

3.3 Geomorphologie

3.3.7 Glaziale Morphologie

Während der **Kaltzeiten** – die letzte begann vor ca. 120 000 Jahren – reichten die Gletscher der Alpen höchstens während einiger 10 000 Jahre über die inneren Alpentäler hinaus bis an den Fuss des Gebirges. In der letzten Kaltzeit (Gletscherhöchststand vor ca. 24 500 Jahren) waren weite Teile des nördlichen Alpenvorlandes, das Schweizer Mittelland eingeschlossen, während knapp 20 000 Jahren von Eis bedeckt. In der restlichen Zeit wurde die **Morphologie** von Alpen und Alpenvorland von Fließgewässern gestaltet. Während der Kaltzeiten folgten die grossen Alpengletscher im Wesentlichen diesen fluviell vorgegebenen Tälern. Die Morphologie von Gebirgen und ihrem Vorland ist deshalb in gemässigten Klimaten, wie in den Alpen oder im Himalaya, überwiegend eine Kombination aus fluviell vorgegebenen Geländeformen mit **glazialer Überprägung**. Eine rein glaziale, also nur durch Gletscher geprägte Morphologie ist auf die höchstgelegenen, dauerhaft vereisten Regionen dieser Gebirge beschränkt. Anders ist die Situation in Grönland und der Antarktis, die bereits seit ca. 18 bzw. 34 Mio. Jahren weitgehend ununterbrochen von Eis bedeckt sind. Gletscher sind Ströme von zu Tal fließendem Eis (vgl. Kap. 3.1.2). Sie tragen durch **glaziale Erosion** Material ab, transportieren es und sedimentieren es andernorts. Schmelzen Gletscher ab, hinterlassen sie charakteristische Landschaftsformen als Resultate des Zusammenspiels von Erosion und Ablagerung. Diese sind in Abb. 145.2 zusammengefasst.

Gletscherschliff, Rundhöcker, Kare und Trogtäler

Gletschereis enthält eingeschlossene Gesteinstrümmer, welche sich vom Untergrund ablösen oder von den Talflanken auf die Gletscher stürzen und Teil des Eisstromes werden. Werden diese Gesteinstrümmer mit dem fließenden Eis (in den Alpen mit einer Geschwindigkeit zwischen ca. 20 und 200 m pro Jahr und unter dem Druck von oft Hunderten von Metern Eisüberlast) über den felsigen Untergrund und die seitlichen Talhänge bewegt, kratzen und schleifen sie diese ab und hinterlassen eine glatte Oberfläche, den **Gletscherschliff** (Abb. 142.1). Feine Furchen im Gletscherschliff, sogenannte **Gletscherschrammen**, liegen parallel zur ehemaligen Fließrichtung. Das abgeschabte Material ist sehr fein und wird von den Gletscherbächen als Schwebstoff transportiert, wodurch diese immer getrübt sind. Der Felsuntergrund ist oft inhomogen, er besteht aus weichen und harten Gesteinen und/oder ist von tektonischen Störzonen durchzogen. Damit bietet er der glazialen Erosion vielfältige Angriffsmöglichkeiten. Während sich erosionsanfällige Zonen im Laufe der Zeit wegschleifen lassen, werden besonders erosionsresistente Bereiche zu **Rundhöckern** geformt (Abb. 142.1). Auf jener Seite der Rundhöcker, die der Fließrichtung des Eises zugewandt ist, führt hoher Druck zur Entstehung eines Wasserfilms zwischen Eis und Fels, auf dem das Eis gleitet. Auf der Gegenseite friert das Eis bei nachlassendem Druck an der Felsoberfläche fest und kann dadurch Gesteinsbruchstücke losreissen.

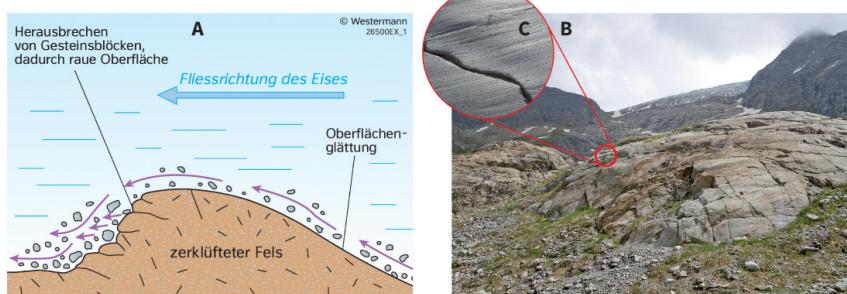


Abb. 142.1 A: Schematische Darstellung eines Rundhöckers (nach: GROTZINGER et al., 2008); B: Rundhöcker am Steingletscher (Sustenpass) mit Gletscherschliff und Gletscherschrammen (C),

Abbildung 2.12: Glaziale Geomorphologie [1]

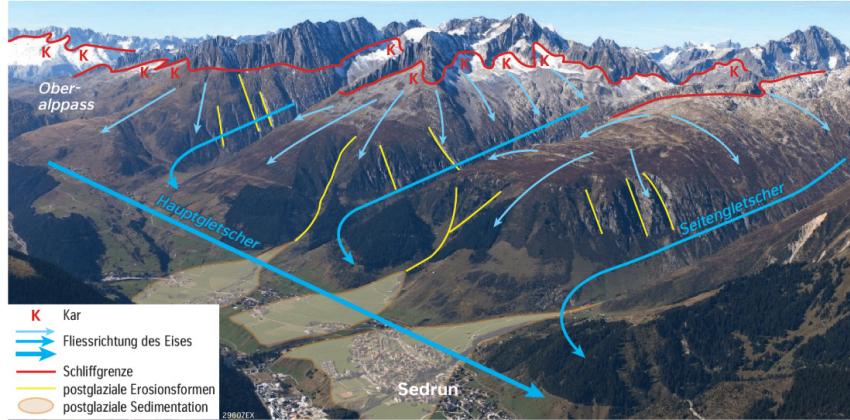


Abb. 143.1 Blick nach NW auf das Tavetsch (Graubünden) mit dem Dorf Sedrun – Die rundlichen Geländeformen entstanden durch glaziale Erosion. Sie stehen in starkem Kontrast zu den scharfkantigen, von Frostverwitterung und Felsstürzen geformten Bergkämmen oberhalb der Schliffgrenze (ehemalige Nunataks). Die fein zisierten Gräben in den rundlichen Geländeformen sind postglazial, also nach dem Abschmelzen der Gletscher durch fliessendes Wasser und die Schwerkraft (Felsstürze) entstanden, ebenso die Schuttfächer im Talboden.

Im Gegensatz zu fliessendem Wasser können Gletscher übertieft erodieren, das heisst, sie können Mulden aus dem Untergrund ausschürfen. Die im Eis eingeschlossenen Gesteinsbrocken können nämlich auch dann ihre erodierende Wirkung entfalten, wenn ein Gletscher kaum Neigung hat oder seine Sohle über kurze Strecken sogar ansteigt. In den Gipfelregionen von Gebirgen, in den höchstegelegenen Ursprungsgebieten der Gletscher also, entstehen auf diese Weise tief eingegrabene Hohlformen von einigen Hundert Metern bis zu einigen Kilometern Durchmesser, sogenannte **Kare** (Abb. 143.1, Abb. 145.1, ① in Abb. 145.2), die in ihrem Endstadium manchmal zu übertieften Mulden ausgeschürft werden. Dehnen sich benachbarte Kare durch Erosion seitlich aus, werden die Felsbarrieren dazwischen immer schmäler und es entstehen scharfkantige Kämme und Gipfel (Abb. 143.1). Schmelzen die Gletscher ab, kann sich die Mulde im Kar mit Wasser füllen, es entsteht ein meist rundlicher **Karsee** (Abb. 144.1 A). In den nächsten Jahrzehnten werden durch den Gletscherschwund weltweit unzählige neue Karseen zum Vorschein kommen.

Fliessen Gletscher aus ihren Karen talwärts, vereinen sie sich zu immer mächtigeren Eisströmen. Dabei nutzen

sie in der Regel präexistierende Flusstäler und weiten diese zu U-förmigen **Trotälern** aus (Abb. 144.1 B). In grossen Trotälern wie dem Rhonetal im Wallis lagen in Kaltzeiten bis zu 2500 m mächtige Gletscher, die imstande waren, die Talsohlen stark zu übertieft. Bei Martigny liegt die Talsohle rekordverdächtige 500 m unter dem heutigen Meeresspiegel, begraben unter beinahe 1000 m mächtigen Schotterschichten, die später von der Rhone dort abgelagert wurden. Mündet ein kleiner Seitengletscher mit geringerer Erosionskraft in einen grossen Gletscher, entsteht ein **Hängetal**, das durch eine Steilstufe, oft mit Wasserfall, vom Haupttal getrennt ist (Abb. 144.1 C, ⑥ in Abb. 145.2). Gletscher erodieren nicht nur, sie schützen den Untergrund auch vor der im Hochgebirge sehr wirksamen Frostverwitterung. Die Grenze zwischen jenen Gebieten, die während Kaltzeiten unter dem Eis lagen und jenen, die aus dem Eis ragten, wird **Schliffgrenze** genannt (Abb. 143.1, ⑫ in Abb. 145.2). In Grönland und in der Antarktis werden Bergspitzen, die aus dem Eis ragen, als **Nunataks** bezeichnet (Abb. 145.1), ein Wort aus der Sprache der Inuit. Die meisten Alpengipfel waren demnach einst Nunataks.

Abbildung 2.13: Glaziale Geomorphologie [1]

3.3 Geomorphologie



Laghet la Greina, ein Karsee in Graubünden auf 2585 m; Blick in Fließrichtung des ehemaligen Gletschers



Das Lauterbrunnen (Kt. Bern) ist ein typisches Trogtal. Die Talsohle wurde nach dem Abschmelzen des Gletschers von der Weissen Lütschine mit Schotter ausgeebnet.



Das Guspistal ist ein Hängetal nördlich des Gotthardpasses (Kt. Uri). Die Einschnitte in der Trog Schulter wurde vom Guspisbach eingetauft.

Abb. 144.1 Ausprägungen glazialer Erosion

Moränen

Gletscher transportieren im Eis eingeschlossen, auf dem Eis liegend, seitlich oder an ihrer Front kantiges Geröll jeder Grösse, vom Gesteinssplitter bis zum Hunderte Kubikmeter grossen Block. Das Geröll wird entweder am Untergrund des Gletschers erodiert (Abb. 142.1) oder es fällt, abgelöst durch Frostspaltung, von den Talflanken auf den Gletscher. All dieses Gesteinsmaterial wird als Moräne bezeichnet. Befindet sich das Ende einer Gletscherzungue über längere Zeit an demselben Ort, wird durch das ständig nachfliessende und wieder abschmelzende Eis wie mit einem Fliessband laufend Gesteinsmaterial ans Ende des Gletschers transportiert, das sich dort zu einer wallförmigen **Endmoräne** (10 in Abb. 145.2) anhäuft. Schnelle Gletschervorstöße können solche Wälle auch vor sich her stossen. Seitlich von Gletschern lagert sich Gesteinsmaterial in Form von **Seitenmoränen** ab (7 in Abb. 145.2, 146.1 A). Fliessen zwei Arme eines Gletschers zusammen, vereinen sich deren Seitenmoränen zu einer **Mittelmoräne** (8 in Abb. 145.2), grössere Gletscher haben oft mehrere Mittelmoränen (Abb. 146.1 A). Gesteinsmaterial, das der Gletscher an seiner Sohle transportiert, wird als **Grundmoräne** abgelagert (9 in Abb. 145.2). Diese ist durch die Überlast des Eises viel stärker verdichtet als alle anderen Moräntypen. Da der Gletscher alle Korngrössen gleich schnell transportiert und die Gerölle dabei nicht abgerundet werden, bestehen Moränen, im Gegensatz zu Flussablagerungen, aus unsortierten, kantigen Komponenten (Abb. 146.1 B). Jene Moränen, die in den Alpen besonders gut erkennbar sind, wie z. B. am Tschiervagletscher (Abb. 118.1), sind Zeugnis eines kleinen Gletschervorstosses im 15. bis 19. Jh., der „kleine Eiszeit“ genannt wird.

Eine der beeindruckendsten Moränenlandschaften ist südlich der Alpen in der Umgebung von Ivrea (Italien) erhalten geblieben (Abb. 146.1 C). Der Aostagletscher hat dort in Verlauf der letzten Kaltzeiten zwischen ca. 900 000 und 20 000 Jahren eine Landschaft mit bis zu 400 m hohen Moränen geschaffen, die als „Moränen-Amphitheater“ bekannt ist. Im Schweizer Mittelland hingegen sind die Moränen der kaltzeitlichen Gletschervorstöße in den vergangenen 10 000 Jahren durch die Erosion weitestgehend eingeebnet worden, dass sie oft nur noch aufgrund geologischer Untersuchungen als solche erkannt werden können. In der Umgebung von Menzingen im Kanton Zug beispielsweise werden



Abb. 145.1 Nunataks in Grönland; K: Kare; Pfeile: Fließrichtung der Gletscher – Die Schlifffgrenze entspricht dem Rand des Eises.

Reihen isolierter Hügel als Überreste von Endmoränen verstanden, die gegen Ende der letzten Kaltzeit von Schmelzwasserbächen durchbrochen wurden (Abb. 146.1 D). Weitere Zeugen von Vereisungen sind **Erratiker** (lat. errare: irren; deutsch **Findlinge**). Dabei handelt es

sich um Felsblöcke, die von Gletschern oft über viele Hundert Kilometer transportiert und in einer fremden Umgebung abgelagert wurden (11 in Abb. 145.2). Viele Erratiker wurden in der Vergangenheit zu Bausteinen verarbeitet, da sie oft aus hartem Granit aus den Alpen bestehen, der im Mittelland sonst nicht vorkommt. So wurden beispielsweise die Pfeiler der Münsterbrücke in Zürich aus Granit gebaut, der von Findlingen aus der Region von Mellingen im Kanton Aargau stammt. Diese wurden vom Reussgletscher aus dem Gotthardgebiet dorthin verfrachtet.

Zungenbecken und Sölle

Alle grossen länglichen Seen am südlichen und nördlichen Alpenrand sind durch übertiefende, glaziale Erosion im Bereich der Gletscherzungen entstanden. Schmelzen die Gletscher ab, bleiben längliche **Zungenbecken** (3 in Abb. 145.2) zurück, die sich mit dem Wasser der Gletscherflüsse füllen. Durch Geschiebe,

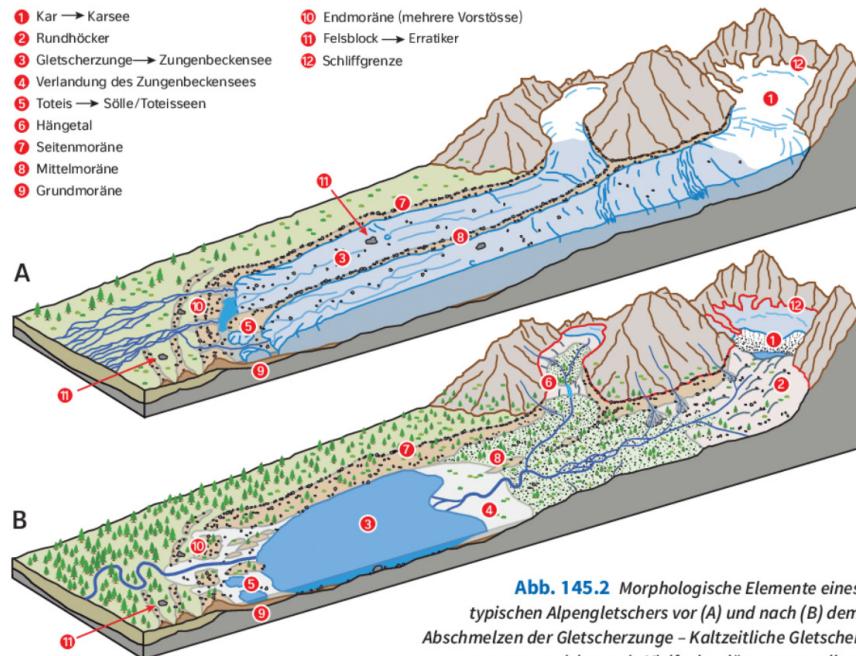
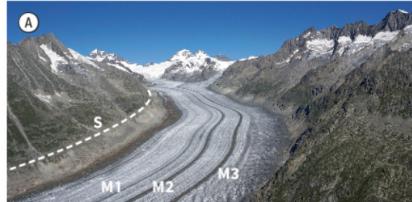


Abb. 145.2 Morphologische Elemente eines typischen Alpengletschers vor (A) und nach (B) dem Abschmelzen der Gletscherzunge – Kaltzeitliche Gletscher muss man sich um ein Vielfaches länger vorstellen.

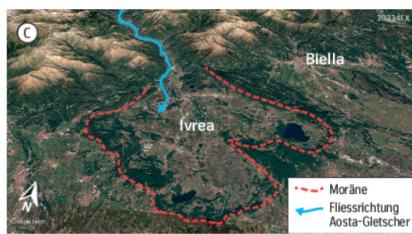
3.3 Geomorphologie



Seiten- (S) und Mittelmoränen (M1–3) des Grossen Aletschgletschers (Wallis)



Kaltzeitliche Seitenmoräne bei Vispertermini (Wallis)



Moränen-Amphitheater von Ivrea (Moränen bewaldet)



Überreste von Endmoränen bei Menzingen (Zug)

Abb. 146.1 Glazialer Transport und Sedimentation

das die Gletscherflüsse reichlich mit sich führten, verlandete das Gebiet des Zuflusses allmählich, sodass die heutigen Dimensionen der Seen nicht mehr der wirklichen Grösse der Zungenbecken entsprechen. Oft sind diese **Zungenbeckenseen** zusätzlich wallartig von End- und Seitenmoränen umgeben.

Schmelzen Gletscherzungen ab, werden sie nicht nur kürzer, sondern auch dünner und brüchig. Dabei können sich grössere Blöcke vom Eisstrom lösen. Häufig werden diese unter dem Geschiebe des Gletscherflusses teilweise oder vollständig begraben und auf diese Weise als sogenanntes Toteis für längere Zeit konserviert (5 in Abb. 145.2). Schmilzt das Eis schliesslich doch, bleiben unförmige Vertiefungen zurück, die sich mit Wasser füllen und als **Sölle** oder **Toteisseen** bezeichnet werden (Abb. 146.2).

**Abb. 146.2** Osterseen (Sölle) und Starnberger See (Zungenbeckensee) südlich von München**3.3.8 Permafrost, Frostmusterböden und Blockgletscher**

In unvergletscherten Gebieten des Hochgebirges sowie der hohen Breiten sind die Böden permanent gefroren (**Permafrost**), wobei die obersten Schichten jeweils im kurzen Sommer einige Dezimeter bis Meter tief auftauen. Sind solche Böden reich an Kies und Sand, können sich an ihrer Oberfläche vielfältige geometrische Muster bilden. Deren Entstehung – obwohl bis heute im Detail nicht vollständig geklärt – steht mit dem periodischen Auftauen und Wiedergefrieren des Bodeneises und dessen Ausdehnung in Zusammenhang. Dabei bewegen sich Kies und Sand im Boden und sortieren sich im Lauf der Zeit nach Komgrössen.

Abbildung 2.16: Glaziale Geomorphologie [1]



Frostmusterboden (Polygone), Fil de Cassons, Flims



Frostmusterboden (Steinringe), Spitzbergen



Solifluktionsgirlanden am Munt la Schera, Zernez



Blockgletscher über dem Lej da la Tscheppa, Sils (Engadin)

Abb. 147.1 Diverse Morphologien im Permafrost

Auf flachen oder wenig geneigten Kies- und Sandebenen bilden sich **Frostmusterböden** unterschiedlicher Ausprägungen entweder in Form von Polygonen (Abb. 147.1 A) oder Steinringen (Abb. 147.1 B).

An Berghängen bilden sich über dem Permafrost gelegentlich girlandenförmige Wülste (Abb. 147.1 C). Taut der oberste Bodenbereich im Sommer auf, kann Schmelz- und Regenwasser wegen des darunter gefrorenen Bodens nicht in tiefere Bereiche versickern. Der oberflächennahe Boden ist deshalb häufig wasergesättigt. Dadurch verringert sich die gegenseitige Reibung der Bodenbestandteile und diese setzen sich mit einer Geschwindigkeit von einigen Zentimetern pro Jahr hangabwärts in Bewegung. Dieses Fließen des Bodens wird als **Solifluktion** bezeichnet. Zerreißt die Vegetationsdecke durch die Massenbewegung, entsteht eine treppenartige Struktur mit girlandenförmig zu Wülsten zusammengerollten Bändern aus Vegetation. Geneigte Geröllfelder, die am Fuß von schattigen, in den Alpen hauptsächlich nord- und ostgerichteten Felswänden liegen, unter welchen der Schnee nur langsam wegschmilzt, tendieren dazu, als **Blockgletscher** zu Tal zu fließen. Dies teils mit Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Jahr. Der Schnee, der auf den Geröllfeldern liegt, wandelt sich dabei in Eis um. Durch immer wieder herunterfallende Felsbrocken entsteht ein Gemisch aus Eis und Geröll, das sich ähnlich verhält wie ein Gletscher (Abb. 147.1 D).

- 1.** Wo auf der Welt stünden die Chancen am besten, in der Zukunft reine glaziale Morphologie beobachten zu können und weshalb wäre selbst diese fluvial beeinflusst?
- 2.** Gibt es Landschaftsformen, die eindeutige Hinweise auf die Fließrichtung des Gletschers geben?
- 3.** Suchen Sie auf <https://map.geo.admin.ch> Beispiele für Kar- und Zungenbeckenseen, die durch die Gletscherschmelze der letzten Jahrzehnte entstanden sind.
- 4.** Sie kennen sicher das Matterhorn. Können Sie sich vorstellen, was dessen Entstehung mit Karren zu tun haben könnte?
- 5.** Sie beobachten wie in Abb. 145.2 drei hintereinander liegende Endmoränen. Welche Schlüsse ziehen Sie daraus?

Abbildung 2.17: Glaziale Geomorphologie [1]

Lernziele DL 1

- Ich kann zwischen Verwitterungs- und Erosionsprozessen unterscheiden
- Ich kann zwischen physikalischer, chemischer, und chemisch-physikalischer Erosion unterscheiden
- Ich kann physikalische (Temperatur, Frost, Salz, Druck, Bio-Physikalisch) und chemische (Lösung, Oxidation, Hydratation, Biologisch-Chemische) Verwitterungsprozesse zu geomorphologischen Formen zuordnen.

Lernziele DL 2

- Ich kann die geologischen Faktoren, die zum Entstehen von Kerbtälern (auch V-Täler genannt), Schluchten sowie Canyons führen, auflisten und erklären.
- Ich kann die baulichen Herausforderungen, welche in Kerbtälern entstehen anhand folgender Begriffe erklären: Hangrutschung, Fundament, Verstärkung, Brücken.
- Ich kann das Entstehen von Mäandern erklären, indem ich Begriffe verwende: Prallhang, Gleithang, Tiefenerosion, Seitenerosion
- Ich kann die Entstehung von Flussdeltas anhand folgender fluvialer Prozesse erklären: Fließgeschwindigkeit, Erosion und Ablagerung.

Lernziele DL 3

- Ich kann folgende geläufige geomorphologische Formen auf Fotos sowie Modellen einordnen und deren Entstehung erklären:
 - Ablagerungs-Formen:** Seitenmoräne, Grundmoräne, Endmoräne, Mittelmoräne, Erratik (auch Findling, erratischer Block)
 - Tal-Typen:** Hängetal, Trogtal (auch U-Tal genannt), Kar, Schliffgrenze
 - Glaziale Serie:** Grundmoräne, Zungenbecken, Zungenbeckensee, Schotterfeld, Toteissee
 - Gletscher-Formen:** Längs-, Quer-, Rand- und Radialspalten, Gletschertisch, Gletscherbach, Gletschertor, Gletscherzunge, Zungenbecken(-see), Bergschrund
 - Weitere erosive Gletscherformen:** Rundhöcker, Schrammen
- Ich kann die Entstehung von Gletschern beschreiben, indem ich folgende Begriffe verwende und einem Bild zuordne: *Kar, Schnee, Firn, Firneis, Eis, Volumen, Verdichtung*
- Ich kenne die Begriffe Ablation und Akkumulation und kann Einfluss-Faktoren für beide Prozesse benennen und erklären.
- Ich kann die Veränderung der Massenbilanz eines Gletschers aufgrund des Klimas (Temperatur und Niederschlag) beschreiben, indem ich die Begriffe *Nährgebiet, Zehrgebiet, Gleichgewichtslinie* und *Firnlinie, Schneefall, Sublimation* und **Schmelze** verwende.