

Böden gemässiger und kalter Klimate (M61162WG)

2. Glazialer und periglazialer Formenschutz**Verwendete Unterlagen/Links**

Grundzüge der Geologie und Petrographie, ETH Zürich

http://guv.ethz.ch/pruefungen/download/Zusammenfassungen/Geologie_Zusammenfassung.pdf

Bursche, D., Kempf, J., Stengel, I. (2005): Landschaftsformen der Erde. Bildatlas der Geomorphologie. Primus Verlag, Darmstadt. 360 S.

Davis, N. (2000): Permafrost – a guide to frozen ground in transition. University of Alaska Press, Fairbanks

Washburn, A.L. (1979): Geocryology – a survey of periglacial processes and environments. Edward Arnold Press, London.

Eitel, B. (2001): Bodengeographie. Westermann

Schultz, J. (1988): Die Ökozonen der Erde. Engen Ulmer Stuttgart Verlag

Lexikon der Geographie (2002). Spektrum-Berlag, Berlin, Heidelberg. 4 Bd.

Inhalt

1.	Glazialer Formenschutz	2
1.1	Was sind Eiszeiten	2
	Glaziale in der Erdgeschichte	2
	Was löst Eiszeiten aus?	2
	Begriffe zur genetischen Einordnung glazialer Formen	3
1.2.	Wie entstehen Gletscher?	3
	Gletscherbewegung	4
	Fließmuster und Geschwindigkeit von Gletschern	4
1.3	Glazialerosion und Erosionsformen	4
1.4	Glaziale Sedimentation und Ablagerungsformen	4
	vom Eis abgelagerte Sedimente	5
	aquatisch abgelagerte Sedimente	5
2.	Periglazialer Formenschutz	6
2.1	Prozesse die in Permafrostböden ablaufen können	7
	Kryoturbation, Solifluktion	
2.2	Landschaftselemente in Permafrostregionen	7
	Ground Pattern, Palse, Polygone, Pingos	
2.3	Probleme in Permafrostregionen	8

Übungsaufgaben

1. Was ist unter dem Begriff Vergletscherung zu verstehen? Erläutern Sie die Entstehung und Dynamik von Gletschern.
2. Was ist unter einem Permafrostboden zu verstehen? Erläutern Sie die Prozesse, die in einem Permafrostboden ablaufen können und welche Konsequenzen sich hieraus für die Geländeoberfläche ergeben.
3. Erläutern Sie die Begriffe Palsa, Pingo.

Das Skript wurde erstellt von:

PD Dr. S. Fiedler www.uni-hohenheim.de/tebaldi

Dr. K. Pustovoytov

Universität Hohenheim

Institut für Bodenkunde und Standortslehre (310)

Emil-Wolff-Str. 27

70599 Stuttgart

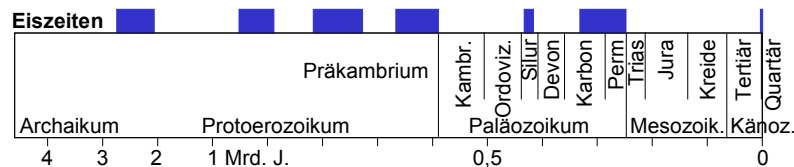
Sommersemester 2006

1 Glazialer Formenschatz

1.1 Was sind Eiszeiten?

Eine erdgeschichtliche Kälteperiode mit ausgedehnter Vereisung. Es gibt viele Hinweise darauf, dass es in manchen Phasen der Erdgeschichte viel kälter war als heute; die Vereisung erstreckte sich damals bis nach Nordamerika und Mitteleuropa. In jeder Eiszeit sind mehrere **Vereisungsphasen** von **Zwischeneiszeiten** unterbrochen.

Glaziale in der Erdgeschichte



(Darstellung R. Jahn, 2002)

Vereisung heute

- ca. 15 Mio. km², im Pleistozän ca. 55 Mio. km² (ca. 30 % der Landmasse)
- Heute ca. 1,2 % des Wassers in Form von Schnee und Eis gebunden. Abschmelzen würde einen Meeresspiegelanstieg von ca. 60 m bedeuten.
- Temperaturabsenkung während der Eiszeit**

Was löst Eiszeiten aus?

Als Verursacher kommen verschiedene Faktoren in Frage, die den Wärmehaushalt der Erde beeinflussen:

- Geo-physikalische Theorie (Kontinentaldrift, Polwanderung)
- Astronomische Theorien (Exzentrizität der Erdbahn, Ekliptikschleife, Perihelwanderung, Änderung der Solarstrahlung)
- Atmosphärische Änderungen/Meteorologische Theorien (CO₂, CH₄ Konzentrationen, H₂O, O₃ Konzentration, Staub)
- Land/Ozean-Veränderungen (Landmasse-/höhe, Ozeanströme, Tiefenströme)
- Biomasseveränderungen (auch marin)
- Rückkopplungen

Die Form der Erdumlaufbahn um die Sonne (*Exzentrizität*) verändert sich im Rhythmus von ca. 92.000 Jahren zwischen einer Kreis- und einer Ellipsenform. Der Neigungswinkel der Rotationsachse der Erde (Schleife der Ekliptik), der heute bei 23°27' liegt, schwankte mit einer Periode von 41.000 Jahren zwischen 24°36' und 21°58'. Zusätzlich führte die Rotationsachse eine Kreiselbewegung (Präzession) aus, wobei ein Umlauf 22.000 Jahre dauert. Hierdurch wurden die Strahlungsbedingungen maßgeblich beeinflusst, welche von **Milankowitsch** (1978-1958) am Beispiel verschiedener Breitengrade über einen langen Zeitraum berechnet wurden.

Da während des Pleistozäns in den Inlandeismassen viel Wasser gebunden war, muss es entsprechend weniger Wasser in den Ozeanen gegeben haben. Und wenn die Inlandeismassen zunahmen, muss der Meeresspiegel weltweit abgesunken sein. Im Verlauf der maximalen Ausdehnung der jüngsten Vereisung sank vor 18000 Jahren der Meeresspiegel um **ungefähr 130 Meter**.

Eiszeiten

Glazial (Eiszeit)
Stadial (Zwischeneiszeit)

Interglazial (Warmzeit)
Interstadial (Zwischenwarmzeit)

Prozesse

glazigen (durch Kontakt mit dem Eis)
z.B. **Gletschererosion**- unsortierte Ablagerung

periglazial (gletscherfreies Vorland)
z.B. **Solifluktion** (Frostschuttdecken)

Begriffe zur genetischen Einordnung glazialer Formen:

subglazial	unter dem Eis (z.B. Rinnenbildung durch Druckwasser)
glazifluvial	durch Schmelzwässer unter oder vor dem Eis (z.B. Sanderauffüllungen)
glaziölsch	Windablagerungen aus dem Gletschervorfeld (z.B. Lößentstehung)
glazilimnisch	Ablagerungen in Eisstauseen und Zungenbecken (z.B. Deltaschotter und Bändertone)
glazimarin	im Meer von Gletschern und Schmelzwasserflüssen abgelagerte Materialien

1.2 Vereisung, Vergletscherung

Hauptarten der Vereisung (Vergletscherung):

- **Inlandeis** (Antarktis, Grönland), mit **Vereisung ganzer Länder und Kontinente**. Diesem ähnlich sind die Eiskappen oder Eisschilde (Spitzbergen, Island) sowie die Plateaugletscher (Norwegen, Island).
- Bei den **Gebirgsgletschern** ist das Eis dem Relief untergeordnet; daher finden sich hier Sonderformen, wie *Hanggletscher*, *Kargletscher* und *Talgletscher*.

Gletscher: Eisströme oder -felder, deren **Nährgebiet** (Eiszuwachs) in der **Hochgebirge und Polarländer** oberhalb der Schneegrenze liegt, wo **jährlich mehr Niederschlag in fester Form fällt als abschmilzt**.

Frisch gefallener Schnee ist eine pulverartige Masse aus locker gepackten Schneeflocken. Wenn die einzelnen kleinen Flocken am Boden **altern**, kommt es zum **Abbau der Kristalle**, und es entstehen gleichkörnige Aggregate. Während dieser Umwandlung wird die Masse der **Schneeflocken verdichtet** und geht in eine dichtere, körnige Form des Schnees über. Da beständig neuer Schnee fällt und den älteren überdeckt, verdichtet sich der körnige Schnee weiter zu einer immer dichteren Form, die als **Altschnee** oder **Firn** bezeichnet wird. Die weitere Überdeckung und Alterung führt schliesslich zu festem Gletschereis, da selbst die kleinsten Körner rekristallisieren und dadurch alle anderen miteinander verkitten. Ein typischer Gletscher wächst im Winter langsam, da Schnee auf die Gletscheroberfläche fällt und erst noch in Eis umgewandelt werden muss. Die zu dem Gletscher jährlich hinzukommende Schneemenge wird als **Akkumulation** bezeichnet.

	Mengenverhältnis (cm)	Luftgehalt (%)	Dichte (g/cm ³)
Neuschnee	80	90	0.05-0.1
Firn	10	40	0.5-0.6
Gletschereis	1	10 (weißes Eis) 2 (blaues Eis)	0.8-0.9

Der unteren Grenze der Hochgebirge und Polarländer folgt das **Zehrgebiet** des Gletschers (Eisabnahme). Das in vielen Sommer- und Winterschichten übereinander gelagerte, sich unter Druck plastisch verhaltende (**»fließende«**) Eis bewegt sich durch die Schwerkraft zwischen den Talhängen bergabwärts (Bildung des Gletschers ist dann abgeschlossen).

Die Geschwindigkeit, mit der sich die meisten Talgletscher bewegen, **schwankt in Abhängigkeit von der Eismächtigkeit und von der Position im Verhältnis zu den Talwänden**. Die Eisbewegung wird durch hohe Reibungskräfte an den starren Umgrenzungen der Gletscher (Sohle, Talseiten) behindert. Bei einem typischen Talgletscher in gemäßigten Breiten nimmt die Geschwindigkeit der Bewegung zu den Talhängen und zur Sohle hin ab, während der Gletscher im mittleren Bereich am schnellsten fließt.

Nach einer längeren Periode geringer Bewegung kommt es manchmal zu einer plötzlich auftretenden, starken, oft katastrophalen Vorstossbewegung eines Talgletschers, die als **Glacial Surge** (Gletscherwoge) bezeichnet wird. Solche Surges *können über zwei oder drei Jahre andauern*, und das Eis kann sich in dieser Zeit mit Geschwindigkeiten von mehr als sechs Kilometern pro Jahr bewegen, dem Tausendfachen der normalen Geschwindigkeit eines Gletschers. Einem derartigen Gletschervorstoss scheint ein Anstieg des Wasserdrucks in den Schmelzwassertunneln an oder in der Nähe der Sohle voranzugehen. Dieses unter Druck stehende Wasser verstärkt offenbar die Sohlgleitung in hoher Masse.

Inlandeismassen in polaren Klimaten, wo die Regelation - und damit die Sohlgleitung - gering ist oder fehlt, zeigen die höchsten Geschwindigkeiten im Zentrum der Eismasse. Dort ist der Druck sehr hoch, und die einzigen die Reibung mindernden Kräfte bestehen zwischen Eislagen, die sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in Form laminaren Fließens bewegen. In der Nähe der Oberfläche, wo der Druck am geringsten ist, bewegt sich das Eis langsamer.

Bei der Bewegung bilden sich die **Gletscherspalten** mit einer Tiefe bis 40 m. Über einem jäh abfallenden Untergrund entsteht der *Gletscherbruch*, eine Eiskaskade von Blöcken, Zacken, Nadeln, deren Trümmer wieder zusammenfrieren. Schützen Felsblöcke das darunter liegende Eis vor dem Abschmelzen, so entstehen *Gletschertische*.

Die Gletscher schmelzen oft erst weit unterhalb der Schneegrenze durch Abtauen von oben und durch zirkulierendes Schmelzwasser von unten. Dieses entströmt als Gletscherbach (*Gletschermilch*) der Gletscherzunge, meist aus einer torähnlichen Öffnung, dem *Gletschertor* (bis 40 m hoch).

Das Abschmelzen und das **Kalben von Eisbergen** sind die wichtigsten Vorgänge, durch die Gletscher ihre *Eismassen verlieren*. In kaltem Klima verringert sich das Eis der Gletscher ausserdem durch **Sublimation**. Die gesamte jährliche Volumenabnahme von Eis und Schnee durch Abschmelzen und Verdunstung wird als **Ablation** bezeichnet

1.3 Glazialerosion und Erosionsformen

- **Gesteinsmehl/Gletschermilch:** Das an der Sohle und den Seiten eines Gletschers eingeschlossene, geklüftete, aufgelockerte Gestein wird am felsigen Untergrund unter dem Gletscher weiter zerkleinert und zermahlen. Das daraus entstandene, feine, pulverisierte Material, wird als **Gesteinsmehl** bezeichnet und als **Gletschermilch** mit den Schmelzwässern fortgetragen.

- **Gletscherschliffe/-schrammen:**

Es können jedoch auch haushohe Blöcke entstehen. Da der Gletscher an seiner Sohle Gesteinsblöcke mitschleppt, wird durch die Detersion das Unterlager gekritzelt und geschrammt. Solche **Gletscherschliffe** oder **Gletscherschrammen** sind deutliche Hinweise für eine Gletscherbewegung. Ihre Orientierung gibt Auskunft über die Richtung der Eisbewegung.

- **Rundhöcker** = Kleinere, längliche Hügel aus dem im Untergrund anstehenden
- **Kar:** Am Beginn des Gletschers schürft das Eis durch das Herausbrechen und Herausziehen von Gesteinsmaterial normalerweise eine steilwandige, Amphitheater ähnliche Hohlform aus
- **Felsgrate** = zwischen angrenzenden Karen entstehen durch die fortschreitende Erosion scharfe, schroffe Bergkämme
- **Trog- oder U-Täler:** im Gegensatz zu den V-Tälern vieler Gebirgsflüsse bilden Talgletscher sog. Trog- oder U-Täler deren weitgehend ebene Talböden durch steile fast senkrechte Wände abgegrenzt sind. Obwohl die Eisoberfläche am Zusammenfluss des Nebengletschers mit dem Hauptgletscher auf gleicher Höhe liegt, ist die Sohle des Seitentales wegen der geringeren Erosionskraft des Nebengletschers meist wesentlich höher gelegen als das Haupttal.
- **Hängetal** : Wenn das Eis schmilzt, bleibt das Seitental als **Hängetal** zurück, ein Tal, dessen Boden hoch über dem Boden des Haupttals liegt.
- **Fjorde:** Einmündung der Hängetäler ist meist durch einen Wasserfall gekennzeichnet. Anders als Flüsse können Talgletscher an den Küsten ihren Talboden weitaus tiefer ausräumen, als es dem Meeresspiegel entspricht. Wenn sich das Eis zurückzieht, werden diese übertieften, steilwandigen Täler vom Meer überflutet. Diese einstmals vom Gletschereis geschaffenen Meeresarme werden als Fjorde bezeichnet

1.4 Glaziale Sedimentation und Ablagerungsformen

Wie Wasser- und Luftströmungen hat Eis die Fähigkeit, Partikel bestimmter Grösse mitzuführen. Die **Transportfähigkeit und die Transportkapazität des Eises ist extrem hoch.**

- **Geschiebe** (=alles Material glazialer Entstehung, das auf dem Festland oder am Meeresboden abgelagert wurde): Wenn das Gletschereis abschmilzt, setzt es seine schlecht sortierte, von der Korngrösse her **sehr heterogene** Fracht von Blöcken, Geröllen, Sand und Ton ab
- **Sander** = das durch Schmelzwasserströme aufgenommene und aufgearbeitete, umgelagerte und vor der Endmoräne ausgebreitete Geschiebematerial (i.d.R. geschichtet und gut sortiert)
- **Geschiebemergel** = die direkt durch das abschmelzende Eis abgelagerte Gletscherfracht (i.d.R. ungeschichtete und schlecht sortierte Sedimente (toniges, sandiges Material und gröbere Komponenten, wie z.B., **erratische Blöcke** = **Findlinge**))

Vom Eis abgelagerte Sedimente

- **Moräne** = mächtigere Ansammlung von steinigem, sandigem und tonigem Material, das durch das Eis eines Gletschers verfrachtet oder als Geschiebelehm abgelagert wurde

Endmoräne der Gletscher inkorporiert Material und transportiert es weiter, kommt es an der Spitze zur Abschmelzung, setzt sich das Material.

Die jeweiligen **Seitenmoränen** zusammenfliessender Gletscher vereinigen sich unter Bildung einer **Mittelmoräne** in der Mitte des grösseren Gletscherstromes unterhalb des Zusammenflusses. Die Schicht aus glazial abgelagertem Schutt, der vom Gletscher an seiner Sohle abgeschürft, transportiert und unter dem Eis abgelagert wurde, wird als **Grundmoräne** bezeichnet.

Drumlins = grosse, stromlinienförmige Hügel aus Geschiebemergel oder auch aus Festgestein, deren Längsachsen parallel zur Eisbewegung verlaufen (gewöhnlich in ganzen Schwärmen angeordnet). Beachte: im Gegensatz zu den Rundhöckern ist die steile Seite gegen das Eis gerichtet. Drumlins können Höhen zwischen 25 und 50 Metern und Längen bis zu einem Kilometer erreichen.

Aquatische Ablagerungen

- **Kames** = kleine Wälle oder flache Hügel aus geschichtetem Sand und Kies, die in der Nähe oder unmittelbar am Rande des Eises abgelagert wurden.
- **Warve** = am Grunde von Eisstauseen werden Silte und Tone abgelagert, in Form einer Serie von wechselweise groben und feinen Lagen, sog. Warven. Eine **Warve** besteht jeweils aus einem Schichtenpaar, das im Laufe eines Jahres durch jahreszeitlich bedingtes Gefrieren der Seeoberfläche entstanden ist
- **Esker** und **Oster** (ähnlich wie Eisenbahndämme) = lange, schmale, gewundene Rücken aus Sand und Kies, die als Schmelzwasserablagerungen in den Gebieten der Grundmoränen auftreten. Sie sind über Kilometer ungefähr parallel zur Richtung der Eisbewegung zu verfolgen. Das Material ist gut sortiert. Esker wurden durch Schmelzwasserflüsse abgelagert, die in subglazial entstandenen Tunneln an der Sohle eines schmelzenden Gletschers flossen. Ehemals vergletscherte Gebiete sind übersät mit Vertiefungen, abflusslosen Senken, sogenannten Toteislöchern, Kessen oder Söllen. Ein **Soll** entsteht folgendermassen: Wenn sich ein Gletscher zurückzieht, kann der grosse Blöcke von Toteis zurücklassen, das allmählich durch Sanderablagerungen von der abschmelzenden Gletscherfront überdeckt wird. Sobald die Gletscherfront weit genug aus diesem Gebiet zurückgeschmolzen ist, hört die Anlieferung von Sandersedimenten auf, und die Toteisblöcke lassen nach dem Schmelzen eine Hohlform zurück. Wenn sie tief genug ist, um die Grundwasseroberfläche zu schneiden, entsteht ein See.

Wirkung des Gletschers bei einmaliger Vereisung

Temperatur	Nachschub	Bewegung	Folge	Ort	Formen	Gestein
–	$N > A$	Vorstoß	Erosion	Rand Grund	Kar V → U Rundhöcker Drumlins	
±	$N = A$	Stillstand	Sediment	Ende Seiten Eistunnel v. Moräne	Moräne Oser Sander	Geschiebe- Mergel+ Lehm Sand + Kies Lößauswehung
+	$N < A$	Rückzug	Sediment	Eisrand Grund	Staubecken Moränen	Becken+Bändertone Geschiebe- Mergel+ Lehm

2 Periglazialer Formenschatz

Der Begriff wurde 1909 erstmals geprägt, wobei man damals damit den Umkreis der Gletscher beschrieb. Heute ist dieser Begriff wesentlich erweitert: Es ist der Formenschatz der in einem bestimmten und weitverbreiteten Gebiet (Klimazone) auftritt, wie etwa dem Raum der subpolaren Gebiete.

Neben dem Formenschatz unterscheidet man auch noch periglaziales Klima, - Prozesse, - Raum,...

Der **periglaziale Raum** prägte während der Kaltzeiten ganz Mitteleuropa; die geprägten Formen haben heute noch einen wichtigen Stellenwert.

Heute sind die **Periglazialgebiete** die **Polarzonen**, die **Subpolaren Zonen** und das **Hochgebirge**.

Beachte: Periglaziale und glaziale Prozesse schliessen sich i.d.R. aus!

Permafrost: *Dauerfrost*, bezeichnet Böden, Sedimente oder Gesteine, welche mit unterschiedlicher Mächtigkeit und Tiefe unter der Erdoberfläche mind. 2 Jahre ununterbrochen Temperaturen unter dem Gefrierpunkt aufweist. Trockender Permafrost (**dry-frozen ground**) besitzt durch geringen Wassergehalt nicht genügend Eis als Bindemittel, nicht alle Poren sind eisgefüllt. Bei eisreichem Permafrost (**wet frozen ground**) ist sogar ein Gleichgewicht zwischen gefrorenem und ungefrorenem Wasser in Abhängigkeit von Temperatur, Druck und Korngrösse möglich.

Dauerfrostböden bedecken heute beinahe $\frac{1}{4}$ des Festlandes, besonders Russland, Alaska und Kanada sind Dauerfrostbodegebiete. Innerhalb der Gebiete können folgende Zonen differenziert werden:

- **Zone des kontinuierlichen Dauerfrostbodens:** Sie bildet sich dort, wo der Dauerfrostboden aufgrund der heutigen Klimasituation entsteht.
- **Zone des diskontinuierlichen Permafrostes:** Dauerfrostboden ist hier eine Reliktform aus der Eiszeit, welche durch die Vegetation sehr gut konserviert wird. Über 50% des Bodens sind noch gefroren. Diese Zone reicht bis in die Nadelwaldzone.
- **Zone des sporadischen Permafrostes:** Reicht bis in weit in die Taiga hinein. Nur mehr unter 50% sind gefroren, es handelt sich also auch um eine Reliktform.

Tauperiode: Durch die Sonne taut der Boden **von oben nach unten** auf. Dabei wird der Auftauboden aufgeweicht, weil das geschmolzene Eis nicht versickern kann, da der Permafrostboden als Wasserstauer wirkt. In Hangneigungen kommt es zur **Solifluktion**.

Gefrierperiode: Frost greift **von oben in die Tiefe**, aber auch von unten nach oben kommt es zum Einfrieren. (hierdurch Frostfront von zwei Seiten → Stauerscheinungen, Kryoturbationen).

- **Oberster Bereich (activ layer):** jene oberflächennahe Schicht, die im jahreszeitlichen Rhythmus (Sommer, Winter) auftaut. Je nach klimatischen Verhältnissen ist der Boden mit Wasser durchtränkt; dies führt zum Mobilwerden des Bodens da darunter der Dauerfrostboden ist. Die sommerliche Austrocknung lässt **Risse in Sech(s)-(oder mehr)kantform** entstehen.
- **Mittlerer Abschnitt:** Die Zone der Kryoturbationen (= *Verwürgungserscheinungen*). Sehr starke Wasserdurchtränkung, da das Wasser nicht abfließen kann, daher ein sehr mobiler Boden. In Ausnahmefällen (Trockenheit), gibt es **TALIKI** (=Trockenzonen), die durch Wasserentzug des darunterliegenden Eises eine Dehydration erfahren.
Talik (Mehrzahl Taliki) = ein nicht gefrorenes Gebiet oder eine nicht gefrorene Schicht innerhalb des Bereiches von Permafrost. Talik treten z.B. unter grossen Seen, Flüssen oder Meeren auf.
- **Unterster Abschnitt:** Es ist die Zone der Frosttafel, Eistrinde oder Tabereis. Eine permanente Frostverwitterung herrscht vor. Das Eis des Dauerfrostbodens wechselt immer seine Lage (es geht rauf und runter), wodurch die Verwitterung entsteht. In Fugen und Ritzen reichert sich das Eis an, man spricht von **Paraeis**. Dies ist die Zone der *Frostansaugung*, die das Wasser aus dem mittleren Bereich abzieht.

Unter dem Auftauboden liegt der **Dauerfrostboden**. Er hat eine maximale Mächtigkeit von 1500 m. Der Boden ist seit der letzten Eiszeit ständig gefroren. Statt Grundwasser ist hier Eis vorhanden, welches den Wasserstauer bildet. Unterschieden wird zwischen:

- eisreichem Permafrostboden
- trockenem Permafrostboden (TALIKI)

Im Dauerfrostboden sind verschiedene **Eisarten** vorhanden, diese sind:

- **Tabereis** befindet sich an der Eistrinde und wird durch Dehydration des Aufbaubodens ernährt, was die Bildung der Eistrinde fördert.
- **Nadeleis (Kammeis)** bildet sich an der **Oberfläche** des Auftaubodens. Es bilden sich in der Gefrierphase Eisnadeln, die 3 - 4cm hoch werden. Diese heben zum Teil den Schutt hoch und transportieren diesen. Die Nadeln wachsen senkrecht zur Abkühlungsfläche.
- **Gangeis** Wasser dringt in Inhomogenitäten des Gesteins, wie Risse oder Hohlräume, ein und gefriert dort.
- **Intrusiveis** Wasser dringt aus dem Niefrostboden in den Dauerfrostboden als „gespanntes Wasser“ (steigt unter Druck auf) ein.
- **Extrusiveis** wo gespanntes Eis an die Oberfläche kommt und gefroren bleibt.
- **Sublimationseis** durch Verdunstungen wird Eis gebildet, das einen Großteil der Hohlräume ausfüllt (= wichtigste Bodeneis).

Unter dem Dauerfrostboden liegt der **Niefrostboden**. Wasser gefriert hier nicht mehr, gespanntes Wasser dringt empor.

Mächtigkeiten des Dauerfrostbodens

1500 m im Mittelsibirischen Bergland

610 m in Alaska

550 m in Kanada

bis 320 m in Spitzbergen

2.1 Prozesse die in Permafrostböden ablaufen können

- **Frosthubb** (*frost thrusting*), **Frostschubb** (*frost pull*): Wenn der Auftauboden gefriert kommt es zur *Volumsausdehnung*, die einen Druck nach allen Seiten zur Folge hat. Durch den Frosthubb werden Gesteine nach oben gedrückt, und größere Blöcke werden nach außen geschoben.
- **Froststauchung**: Im Auftauboden beginnen während der Gefrierperiode der obere und untere Abschnitt zu wachsen und der Mittelteil wird gestaucht.
- **Auffrieren und Hochkantstellen von Gesteinen**: Das Hochkantstellen des Schuttmaterials erfolgt durch die Aufwärtstendenz des Untergrundes, an der Oberfläche kommt es dann zum Auffrieren. Durch Volumsvergrößerung wird der Block immer weiter und weiter nach oben geschoben, da der Druck nach oben weiter steigt. Durch Auftauen der Gefrornis, schaut dann der Block heraus, der unten noch zum Teil in der Gefrornis steckt, ebenso wie Grobmaterial.
- **Kammeisgleiten**: Durch senkrecht zur Oberfläche wachsende Eisnadeln kommt es zum Hochheben eines Blocks, der dadurch bewegt wird. Die Blöcke werden durch die Eisnadeln nach außen und abwärts transportiert und bleiben in Klüften liegen.
- **Rissbildung**: Rissbildungen finden an der Oberfläche und an der unteren Frostfront statt, aber auch innerhalb des Bodens (bei Taliki). Verstärkt wird sie durch Eiskeile und Frostsprengung.
- **Solifluktion**

nach der Hangneigung

- Mikrosolifluktion (Endozyklische Solifluktion) ist jene, die sich auf ebenem Gelände (unter 2% Hangneigung) abspielt.
- Makrosolifluktion (*Klinotrope* Solifluktion) spielt sich auf geneigter Fläche ab, ist also die Hangsolifluktion.

nach der Vegetation:

- freie Solifluktion, vegetationsfreie Flächen
- gehemmte Solifluktion, dort wo Vegetation vorhanden ist

nach Frost- und Tauzyklen:

- Jahreszeitliche Solifluktion Polar Winter - Sommer
- Tageszeitliche Solifluktion in außerpolearen Hochgebirgen. Sie kommt kaum in Dauerfrostböden vor, sondern in Winterfrostböden.

nach Bewegungsvorgängen:

- Ungeregelte Solifluktion (amorphe Solifluktion)
- geregelte Solifluktion

2.2 Landschaftselemente von Permafrostregionen

Zum Landschaftsbild der Permafrostregion gehören:

Frostmuster(böden) (ground pattern): Ringe, Streifen, Netze, Stufen, Polygone (beachte: jeweils unsortierte, sortierte Variante möglich) entstehen durch Kryoturbation, Frostsartierung (nach unterschiedlichen Korngrößen) und Solifluktion

- **Palse** (Palsa): Hügel mit oft rundlich/ovalem Grundriss (Durchmesser max. 50-150m) und Höhen bis zu 10m. Palsen treten in Mooren auf, bestehen hauptsächlich aus Torf und besitzen Eislinsen oder dünne Eislagen als permanenten Eiskern. Palsen können nur im Bereich von Permafrost entstehen. Von den bedeutend grösseren Pingos unterscheidet Palsen, dass es sich um **einzelne Eislinsen** im Torf oder im umgelagerten Mineralboden handelt. Die Eislinsen entstehen durch *Segregationseis* (bildet sich durch stark wasseranziehende Wirkung von Eis, wobei das Wasser aus dem gefrierenden Untergrund stammt). Grosse Wärmeleitfähigkeit feuchten Torfes und dessen gute Isolationseigenschaften im trockenen Zustand sind für die Bildung von Palsen entscheidend.
- **Pingos**: aus einem **grossen Eiskern** und einer permanent gefrorenen mineralischen Deckschicht (Kora) bestehender, bis zu **70m** hoher Hügel im Gebiet des *kontinuierlichen* Permafrosts. Der Grundriss von Pingos ist bei Durchmessern zwischen **30 und 600m** oft rundlich. Pingos des **geschlossenen Typs** (*Mackenzie-Typ*) entstehen nach Verladung eines Sees, wenn der zuvor vorhandene Talik unter dem See zufriert und aus dem eingeschlossenen, noch ungefrorenen Sediment Wasser ausgepresst wird. Bei Pingos des **offenen Typs** (*Ost-Grönland-Typ*) ist ebenfalls ein initialer Talik zur Entstehung des Eiskerns notwendig. Ursache des Talik ist ein See oder starke Wasserzufuhr von Quellen aus dem Untergrund. Durch den Permafrost kann das Wasser nicht an die Oberfläche gelangen, sondern gefriert von oben her zu einem Eiskeil.

2.3 Probleme in Permafrost-Regionen

Baustabilität: Strassen, Eisenbahnen, Häuser

Erosion: insb. im Küstenbereich

Global Change: Seit Mitte der 1980er-Jahre sind starke Gletscherrückgänge (Gletscherschwund) erkennbar, besonders auch in den Polargebieten, die teilweise auf den zunehmenden Treibhauseffekt zurückgeführt werden.