



uni

Universität
Augsburg
University

Vorlesung

Physische Geographie Teil 1

Teilgebiet Geomorphologie

Prof. Dr. Andreas Philipp

Geomorphologie

Inhalt

1. Einführung, Erdaufbau und Gesteine
2. Endogene Dynamik: Tektonik, Vulkanismus, Erdbeben
3. Exogene Formungssysteme: Verwitterung & Karst,
Massenbewegung, Fluvial, **Glazial** & Periglazial, Äolisch, Litoral
4. Großformen des Reliefs
5. Klimatische Geomorphologie

Glaziale Prozesse und Formen

Definition Gletscher:

Gletscher: "...sind Massen aus **körnigem Firn- und Gletschereis**, die sich vom **Nährgebiet** mit perennier Schneeauflage, wo sie entstehen, zum **Zehrgebiet**, wo sie abschmelzen, **bewegen**."
F. Wilhelm (1975)

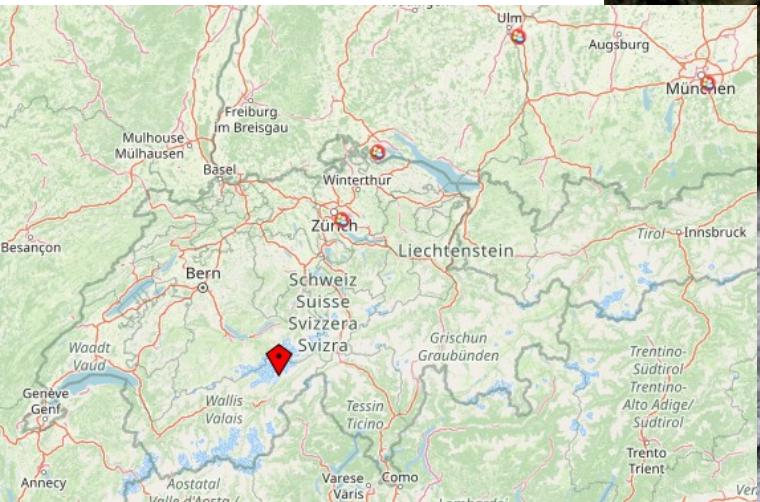
Gletscher bedecken heute ca. **14,9 Mio. km²** und damit **10%** der Landfläche, während des Pleistozäns (Eiszeitalter) bedeckten sie bis zu **44,4 Mio. km²**

Nicht als Gletscher einzustufen: Meereis, Eis ohne Bewegung, insbesondere Toteis

Glazial

Grosser
Aletschgletscher

20km lang
10 Mil. t
800 m Dicke
79 km²



Glazial

Entstehung von Gletschereis

Schneeart		Raumgewichte [kg/m ³]	Porosität [%]
Neuschnee	Wildschnee	10 - 30	99 - 97
	Pulverschnee	30 - 60	97 - 93
	gepresster Schnee	60 - 100	93 - 89
	stark gepr. Schnee	100 - 300	89 - 67
Altschnee	tr. gesetzter Schnee	200 - 400	78 - 56
	nasser gesetzter Schnee	400 - 550	56 - 50
	trockener Firn	400 - 700	56 - 24
	nasser Firn	600 - 800	50 - 20
Eis	Gletschereis	917	0

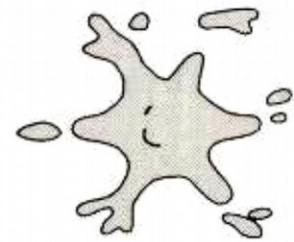
Die abbauende Metamorphose des Schnees

Glaziale

Abbauende Metamorphose



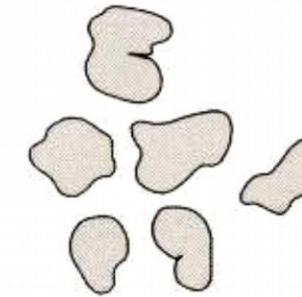
Primäre
Kristallform



Primäre Kristall-
form schwer
erkennbar

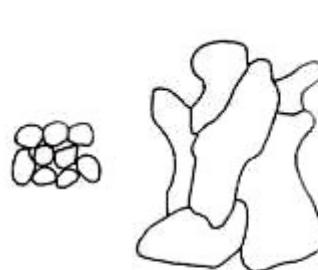


Primäre Kristall-
form nicht mehr
erkennbar

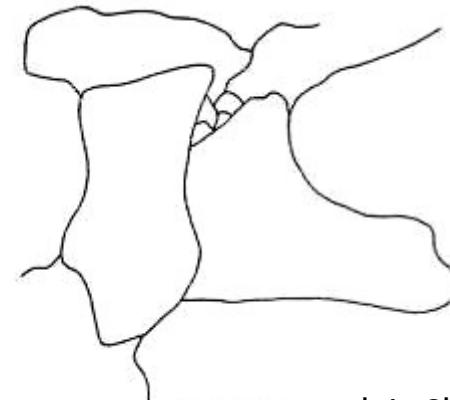


Abgerundete
Eiskörper

nach Ammann et al. (1997)



Firn



Glacier ice

2 years

5 years

10 years

nach LaChapelle (1992)

- Aus Schneekristallen entsteht körniger **Altschnee**
- Aus Altschnee wird nach 1 Jahr **Firn**
- Aus Firn wird nach ca. 5 Jahren **Gletschereis**

Glazial

Massenhaushalt der Gletscher

- Das **Nährgebiet** mit Massengewinn
- Das **Zehrgebiet** mit Massenverlust
- Die **Gleichgewichtslinie**
- **ELA** Equilibrium Line Altitude
- **AAR** Acumulation Area Ratio
- Verschiedene **Schneegrenzen**
- Klimatische **Schneegrenze**

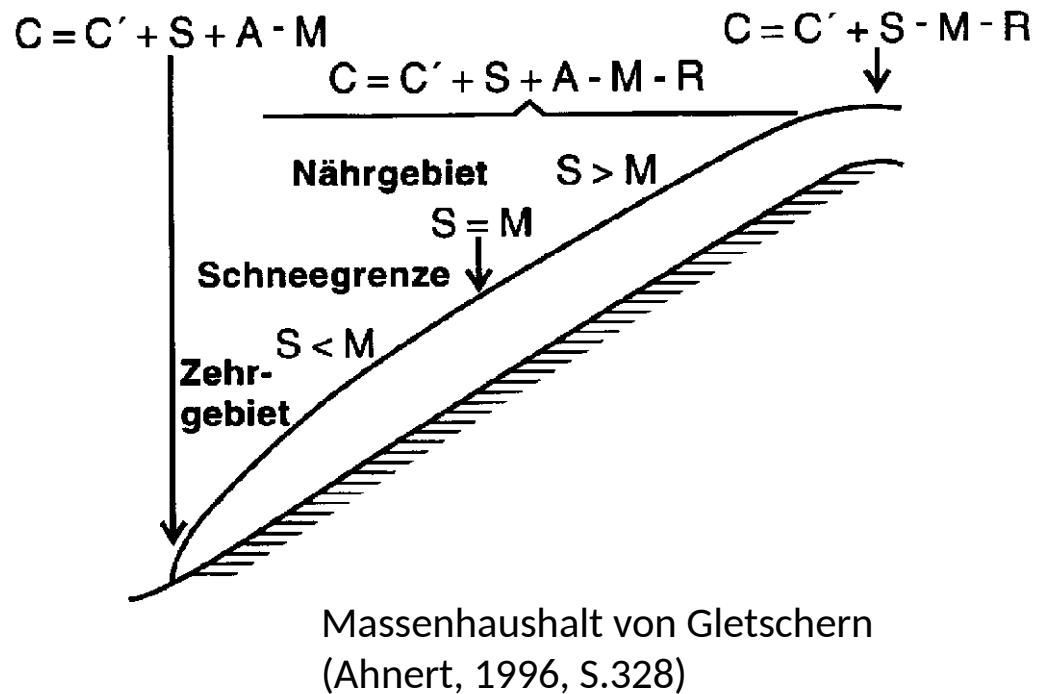


(Earle & Panchuk 2019)

Glaziale

Massenhaushalt der Gletscher

- Das **Nährgebiet** mit Massengewinn
- Das **Zehrgebiet** mit Massenverlust
- Die **Gleichgewichtslinie**
- **ELA** Equilibrium Line Altitude
- **AAR** Acumulation Area Ratio
- Verschiedene **Schneegrenzen**
- Klimatische **Schneegrenze**

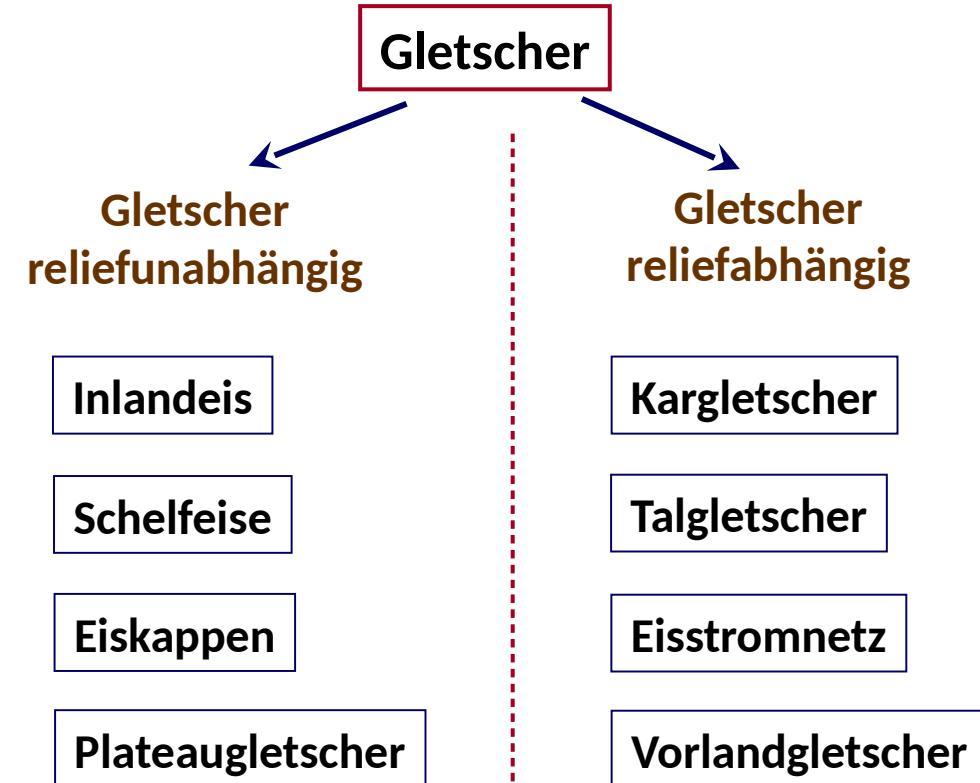


- Bei **positiver Massenbilanz** rücken Gletscher vor
- Bei **negativer Bilanz** Zurückschmelzen des Gletschers

Glazial

Gletschertypen

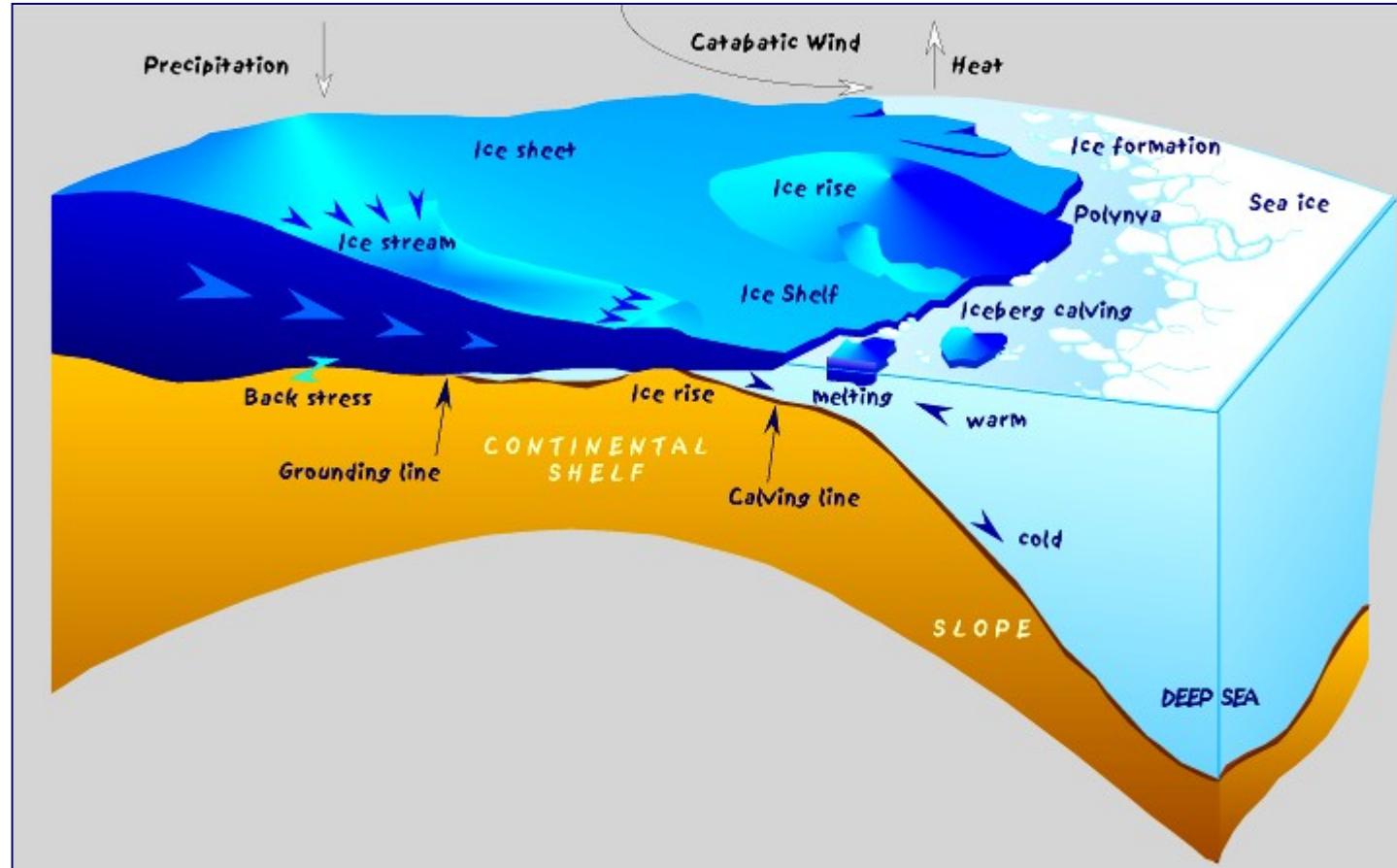
- Nach der Gestalt: **morphologische Typen** (s. rechts)
- Nach **thermischen Verhältnissen** in kalte und temperierte Gletscher
- Nach **Bewegungsart** → basales Gleiten und Blockschollenbewegung
- Nach der **Ernährungsweise**



Polare Gletscher sind **kalte Gletscher**, die der niederen und mittleren Breiten **temperierte Gletscher**

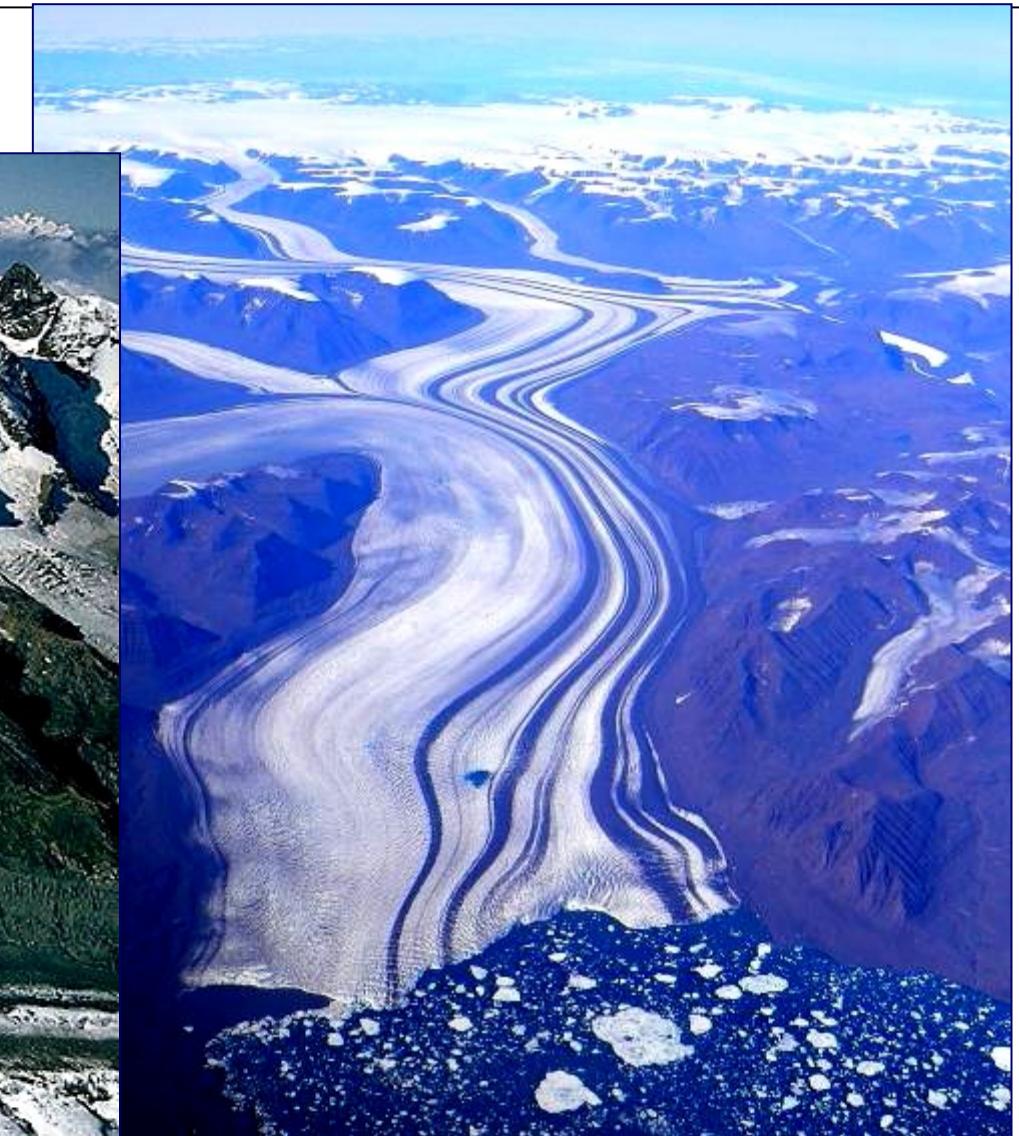
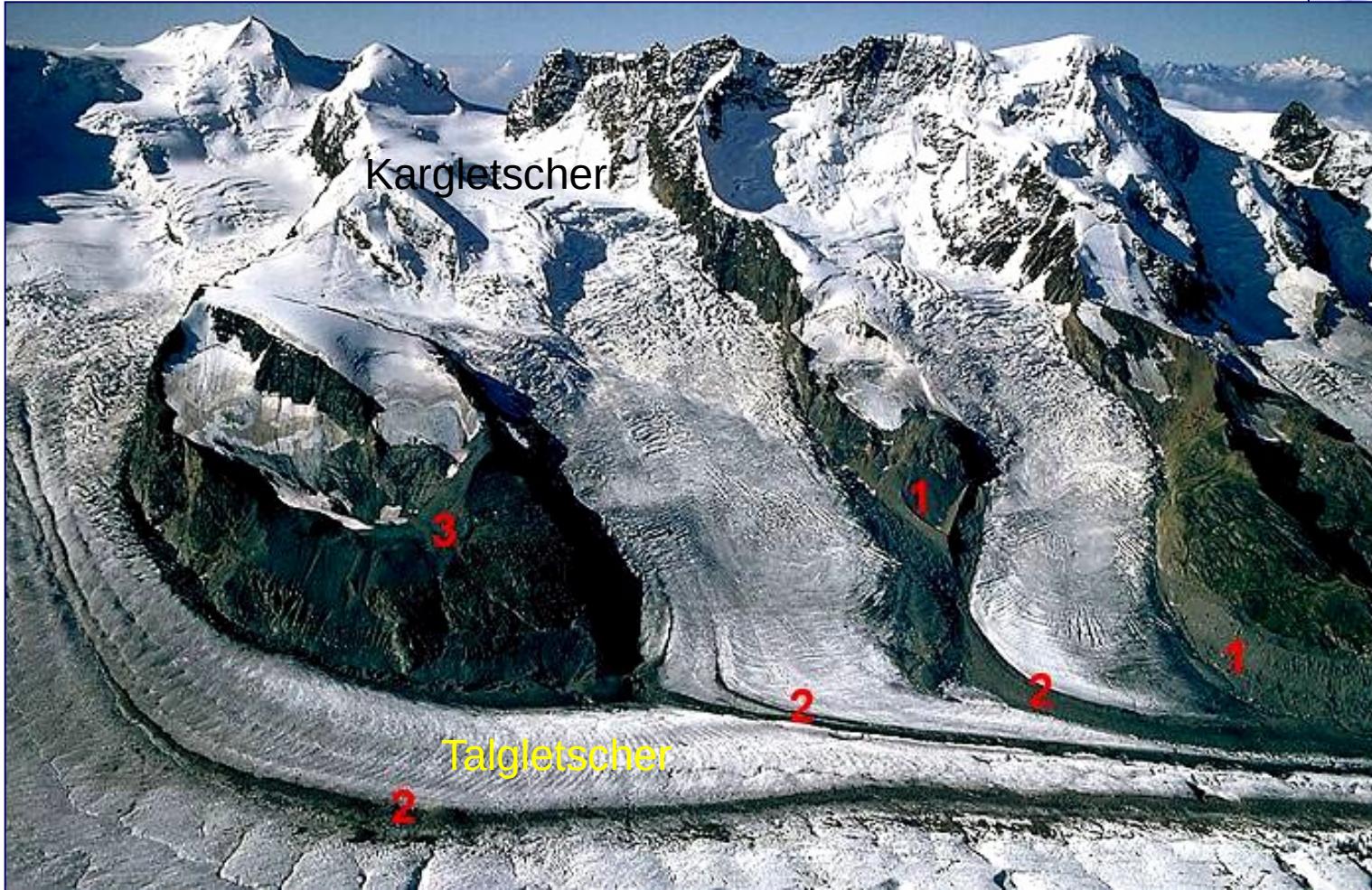
Glazial

Reliefunabhängige Gletscher



Glazial

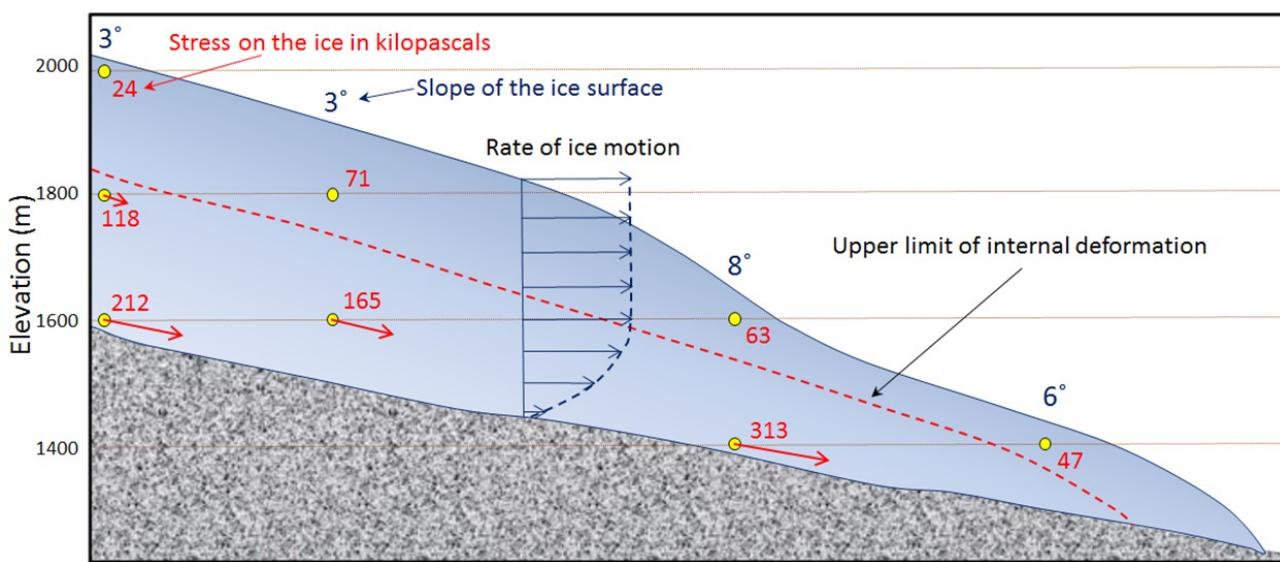
Reliefabhängige Gletscher



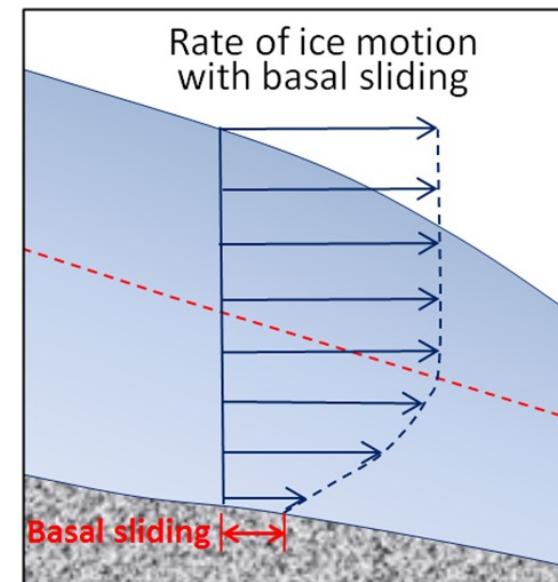
Glazial

Bewegungsarten des Eises

- Durch **basales Gleiten**
- Durch **strukturviskoses Fließen** → Fließgesetz nach Glen (1958)
- Im Sonderfall **Blockschollenbewegung**



Scherspannungen in Abhängigkeit von Überdeckung und Neigung (Earle & Panchuk 2019)



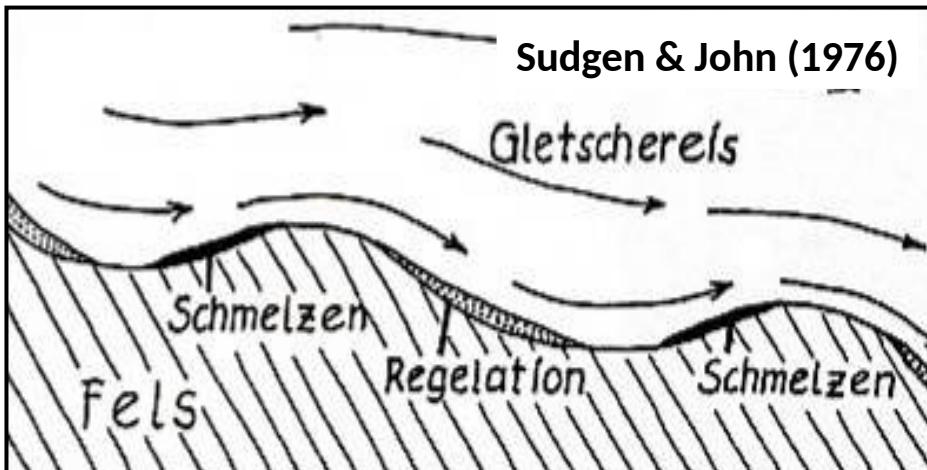
Bewegungsraten von Gletschern mit und ohne basales Gleiten (Earle & Panchuk 2019)

Glazial

Erosion durch Gletscher

- Durch Gletscherbewegung **Glazialerosion**
- Neben Eis auch **Schmelzwasser** an Glazialerosion beteiligt
- Gestein wirkt als Schleifmittel = **Detorsion**
- Ausbrechende Wirkung durch Festfrieren = **Detraktion**
- An Gletscherstirn: **Exaration** (Abtrag von Lockermaterial)
- Rundhöcker: **Stirn und Oberfläche: Detorsion;**

Rückseite oft Detraktion bei **Regelationsfließen**.



$$\tau = (\rho \cdot g \cdot h - b) \cdot \tan \varphi$$

mit: τ = Schubspannung (N/m^2)
 ρ = Eisdichte (kg/m^3)
 g = Schwerebeschleunigung (m/s^2)
 h = Eismächtigkeit (m)
 b = Wasserdruck an Gletscherbasis ((N/m^2))
 φ = Reibungswinkel



Glazial

Erosion durch Gletscher

Rundhöcker



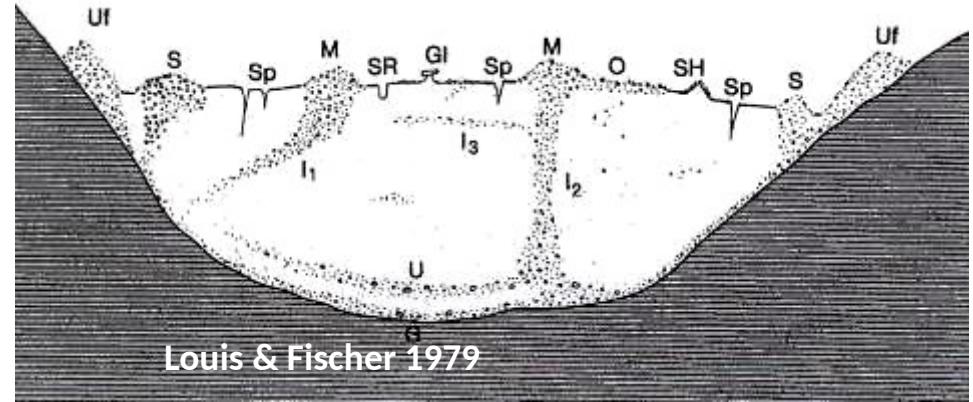
Glazial

Materialtransport

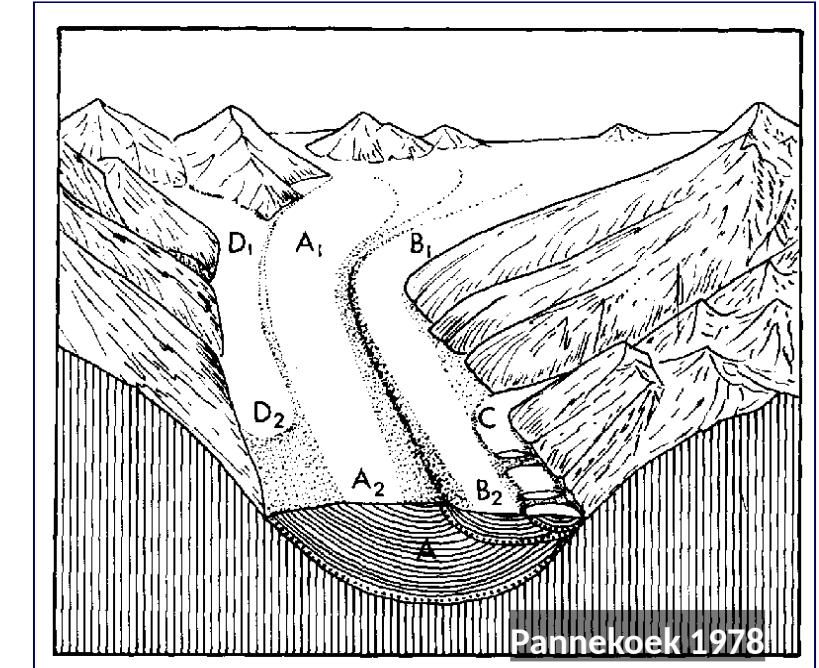
transportierte Materialien werden **Moräne** genannt

nach der **Lage zum Gletscher** differenziert

- **Obermoräne** auf dem Gletscher
- **Innenmoräne** im Gletscher
- **Mittelmoräne** entsteht durch Zusammenfluss von Gletschern
- **Seiten- und Untermoränen** werden am Rande bzw. an der Basis bewegt
- Transport führt zu **Kritzungen** und Kantenrundung



Louis & Fischer 1979



Pannekoek 1978

Glazial

Sedimente von Gletschern

abgelagertes Material wird auch als **Moräne** bezeichnet

Einzelblöcke werden als **Geschiebe** bezeichnet

Moränenmaterial ist **unsortiert** und **ungeschichtet**

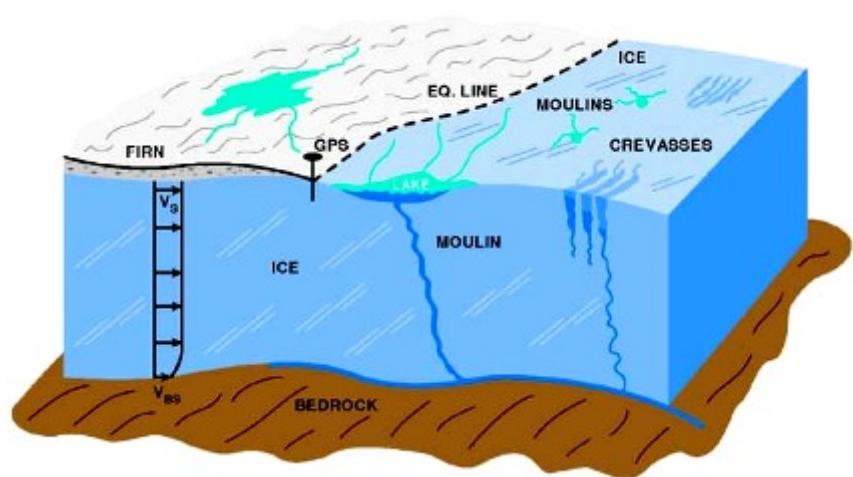
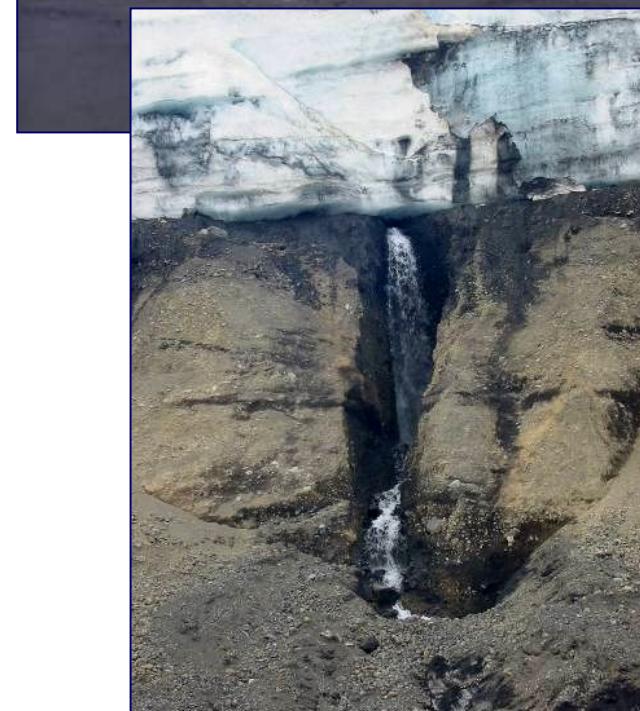
- Differenzierung erfolgt nach Lage:
 - **Grundmoräne**
 - **Endmoräne**
 - **Seitenmoräne/Ufermoräne**
- Endmoränen können als **Stauch-** oder **Satzendmoränen** auftreten
- Beim Niedertauen erfolgt Ablagerung der **Ablationsmoräne**



Glazial

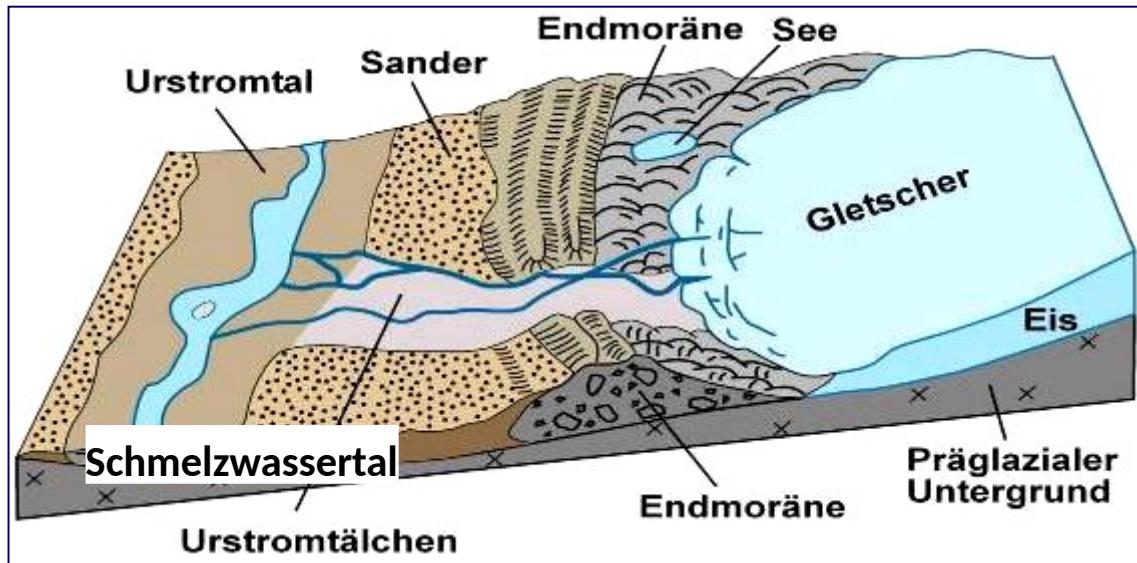
Glazifluviale Prozesse

- Betrifft alle mit **Schmelzwasser** verbundenen Prozesse
- Schmelzwässer fließen z.T. unter **hydrostatischem** Druck
- Tiefe **glaziale Rinnen** → **Tunneltäler** können entstehen
- im Vorfeld Ablagerung von Material = **Sander**
(Norddeutschland) bzw. **Schotterfeld** (Süddt.)



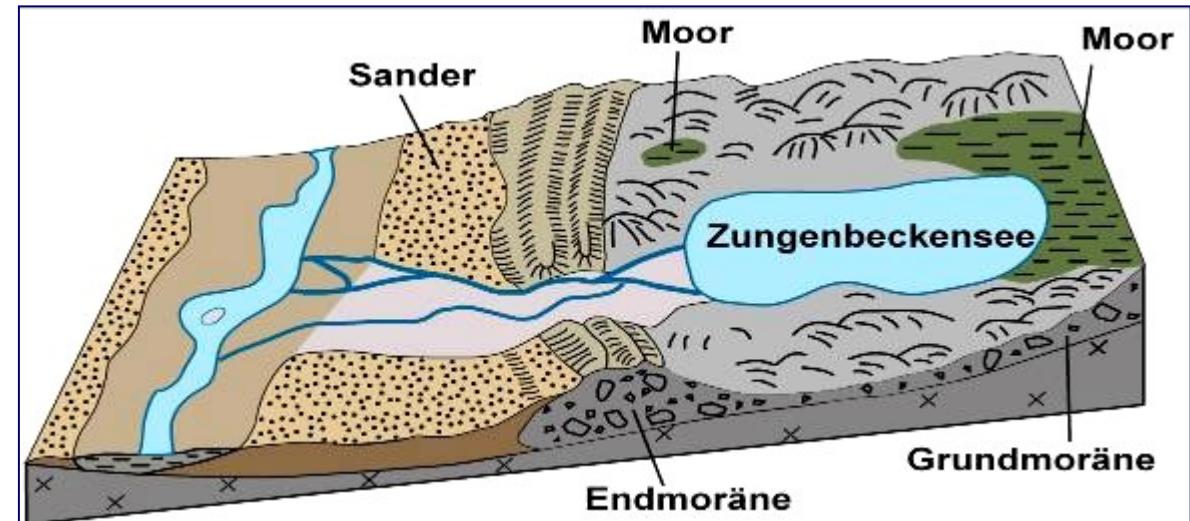
Glazial

Die glaziale Serie



Die „**Glazialen Serie**“ ist die **idealtypische Abfolge glazialer Ablagerungen** **nach** dem Eislückzug. Geht auf Penck & Brückner zurück

Abb. nach Schreiner (1998)

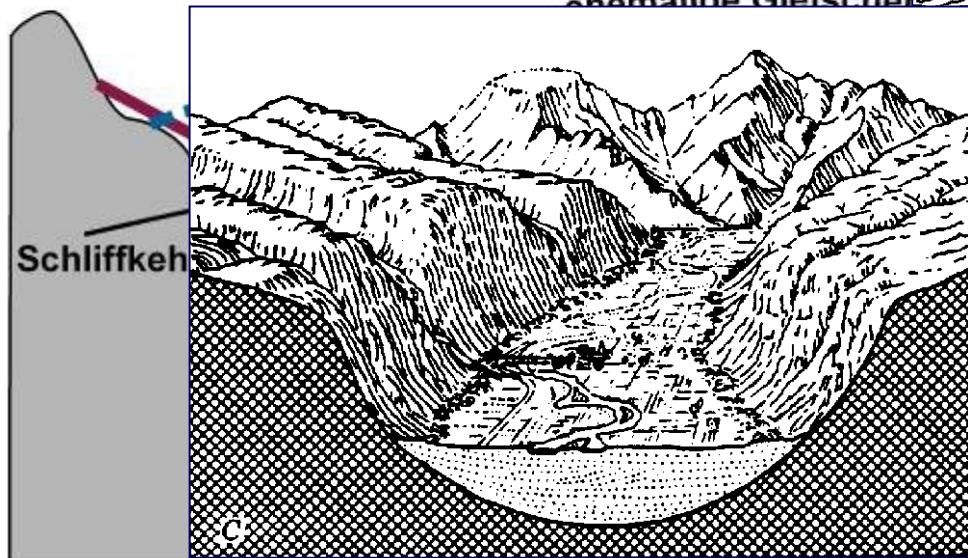
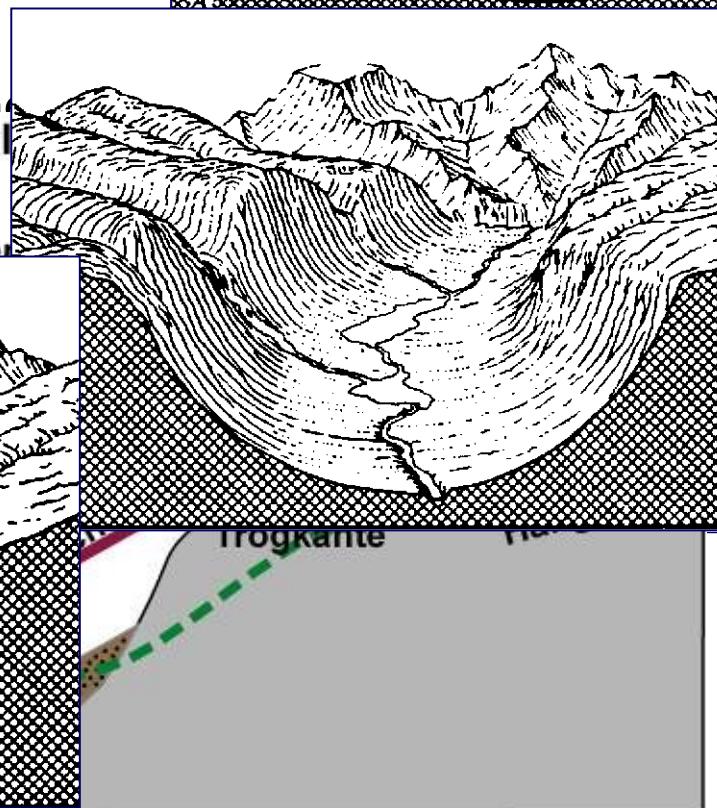
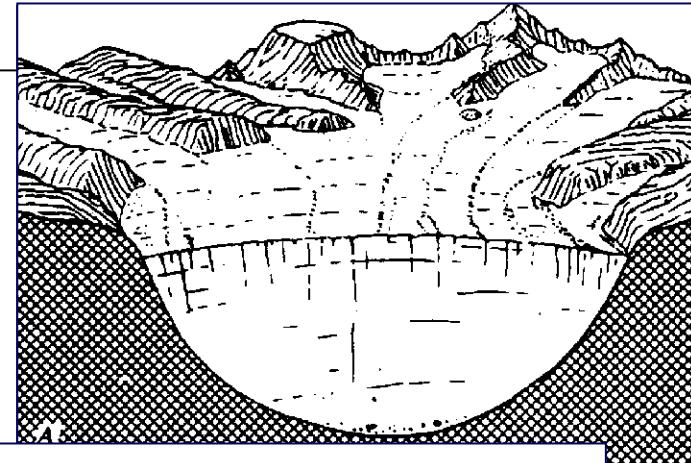


- Die Glaziale Serie ist eine geomorphologische **Modellvorstellung**
- Erlaubt das Erkennen **ehemaliger** Vergletscherungen

5.3 Glaziale Prozesse und Formen

Typische Oberflächenformen

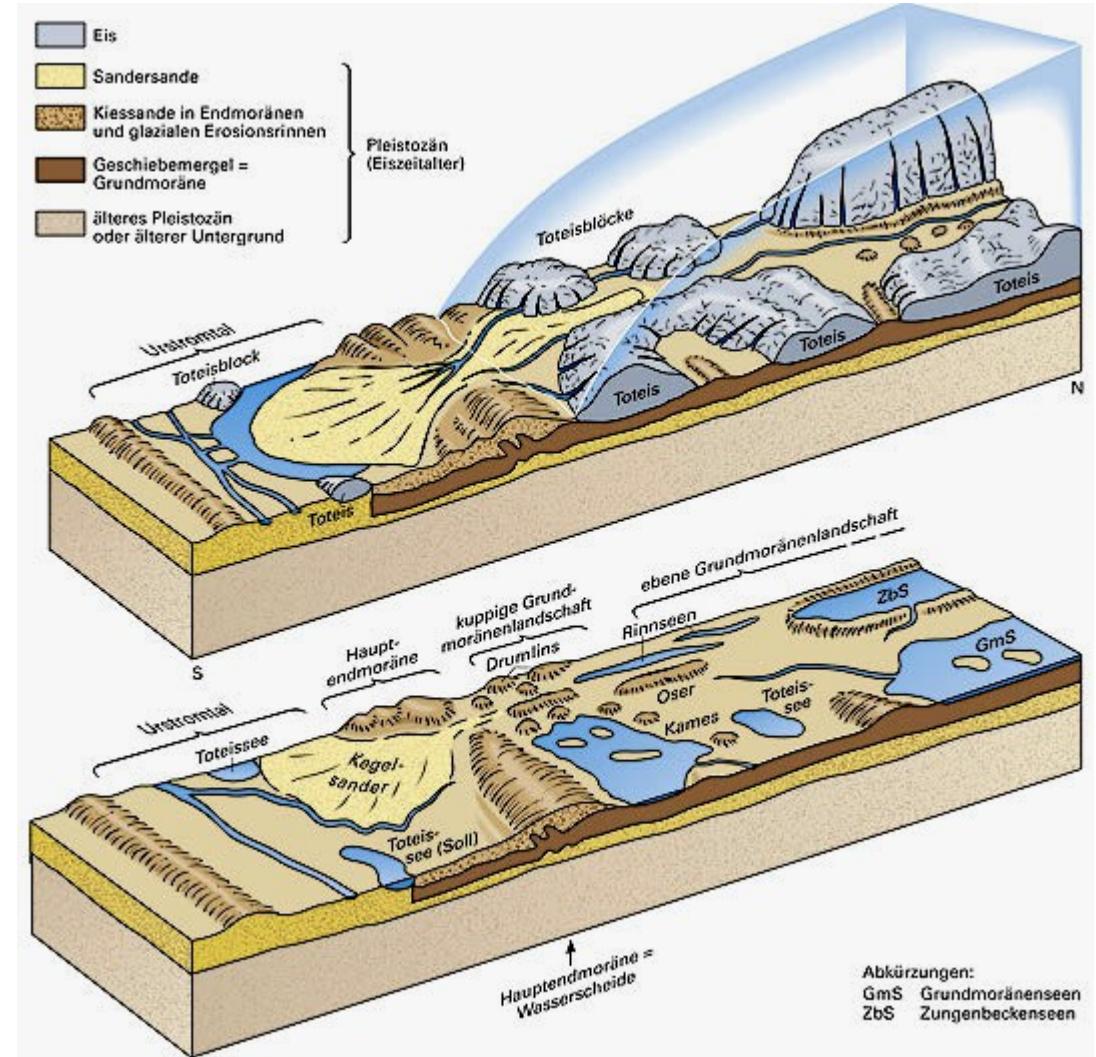
- im Gebirge deuten viele Formen auf ausge-dehnte Vergletscherung
- Großformen sind **Kare**, **Trogtäler** u. **Hängetäler**
- **Transfluenzpässe** und **Konfluenzstufen**
- **Rundhöcker** und **Schliffmarken** sind klein



Glazial

Formen im Zungenbecken

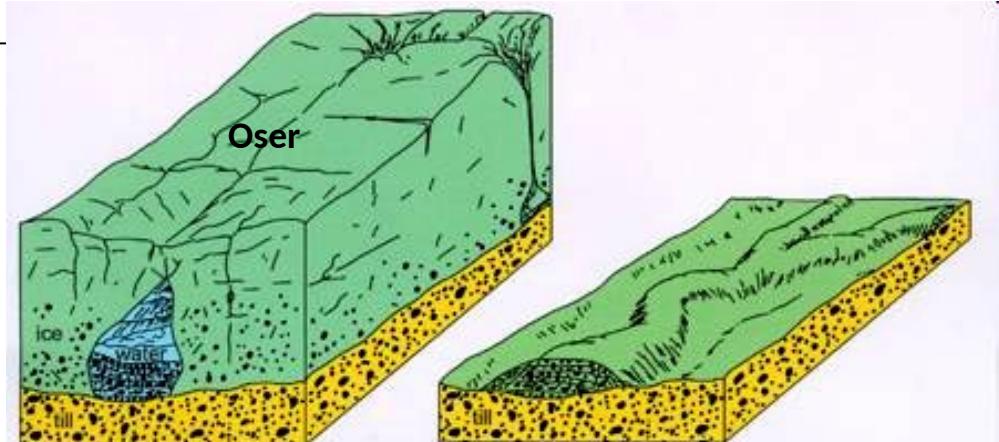
- Gesamtes Gebiet ist von **Gletschern** bedeckt gewesen
- **Grundmoräne** bildet den Untergrund
- Gebiet wird distal von **End-moräne** begrenzt
- Gebiet durch **Eiszerfall** gekennzeichnet
- Kennzeichen: unruhiges Relief, **geschlossene Hohlformen**, z.T. Seen
- Häufig sind **Toteisformen**



Glazial

Kames, Oser und Drumlins

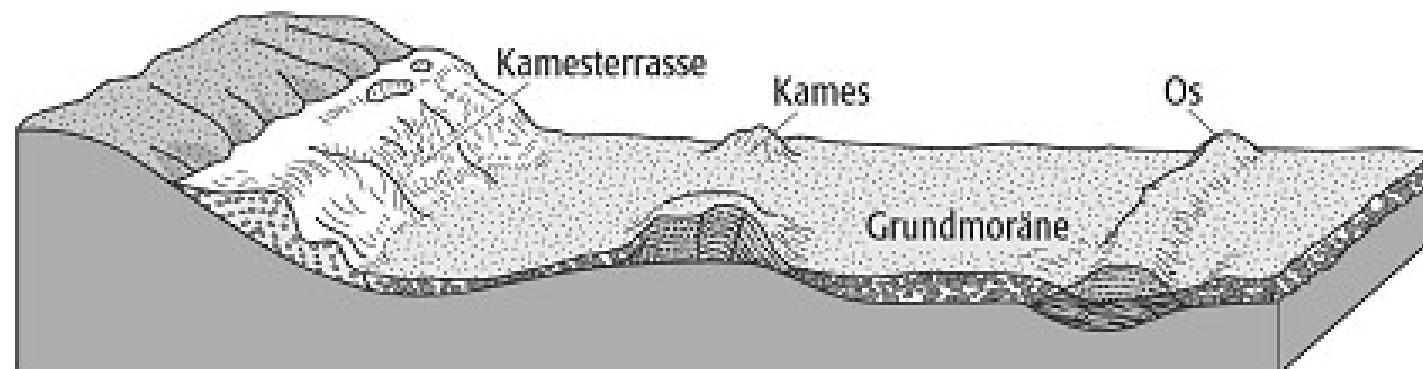
- **Glazifluviale Großformen:** Oser und Kames
- Oser auch **Esker** im Gletscher entstanden



Glazial

Kames, Oser und Drumlins

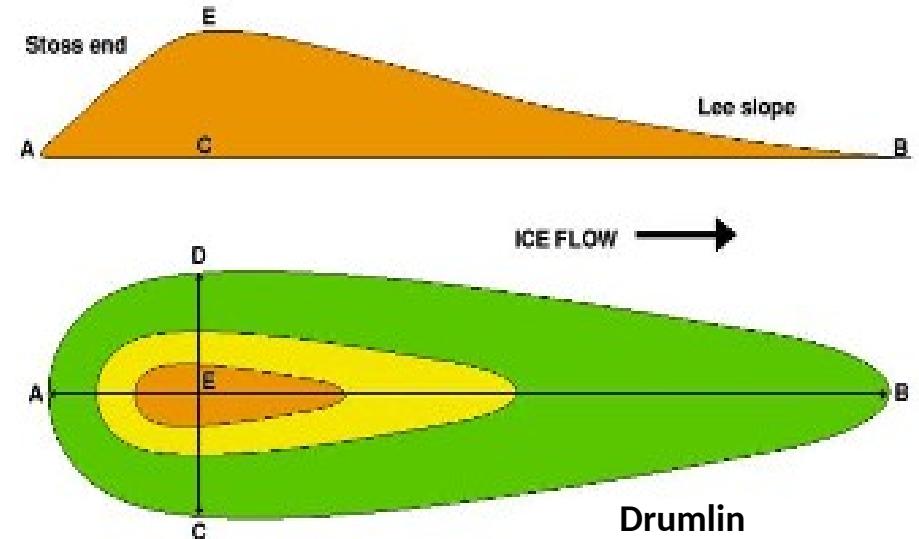
- **Glazifluviale Großformen** des sind Oser und Kames
- **Oser** auch **Esker** sind im Gletscher entstanden
- **Kames** sind in Spalten oder am Gletscherrand entstanden



Glazial

Kames, Oser und Drumlins

- **Glazifluviale Großformen** des sind Oser und Kames
- **Oser** auch **Esker** sind im Gletscher entstanden
- **Kames** sind in Spalten oder am Gletscherrand entstanden
- **Drumlins** entstehen bei Überfahren von Moränenmaterial

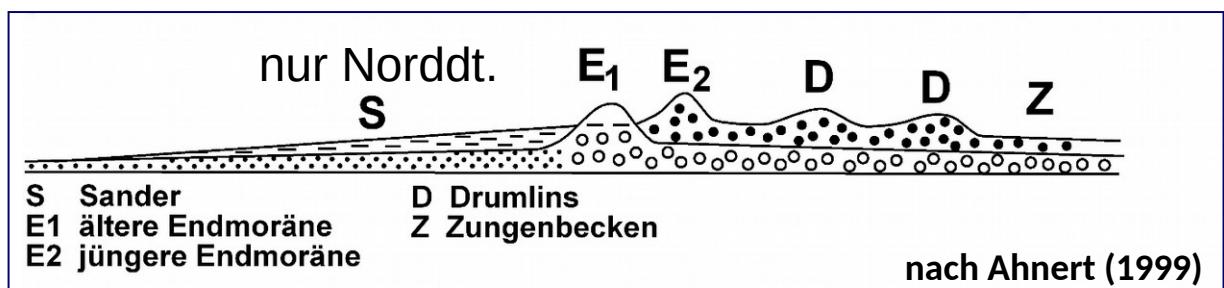
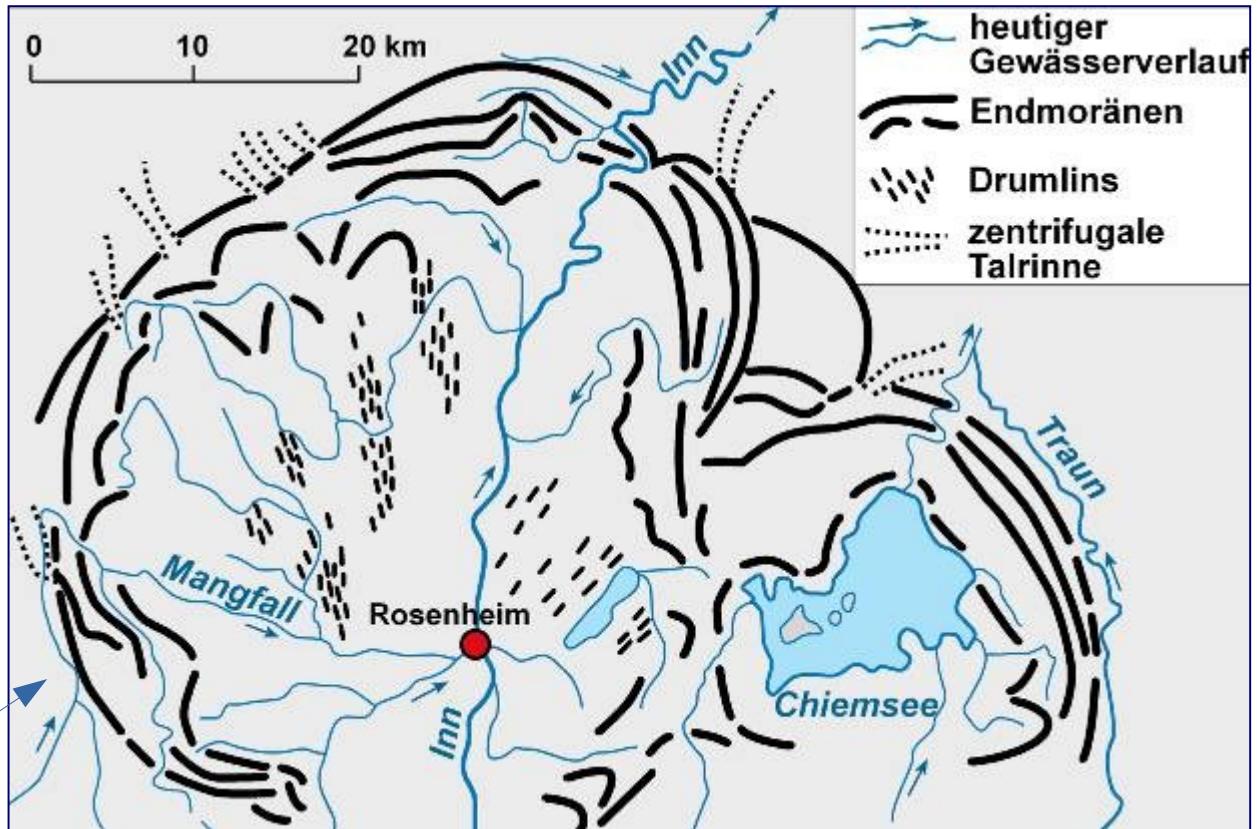


Glazial

Spätglaziale Moränen

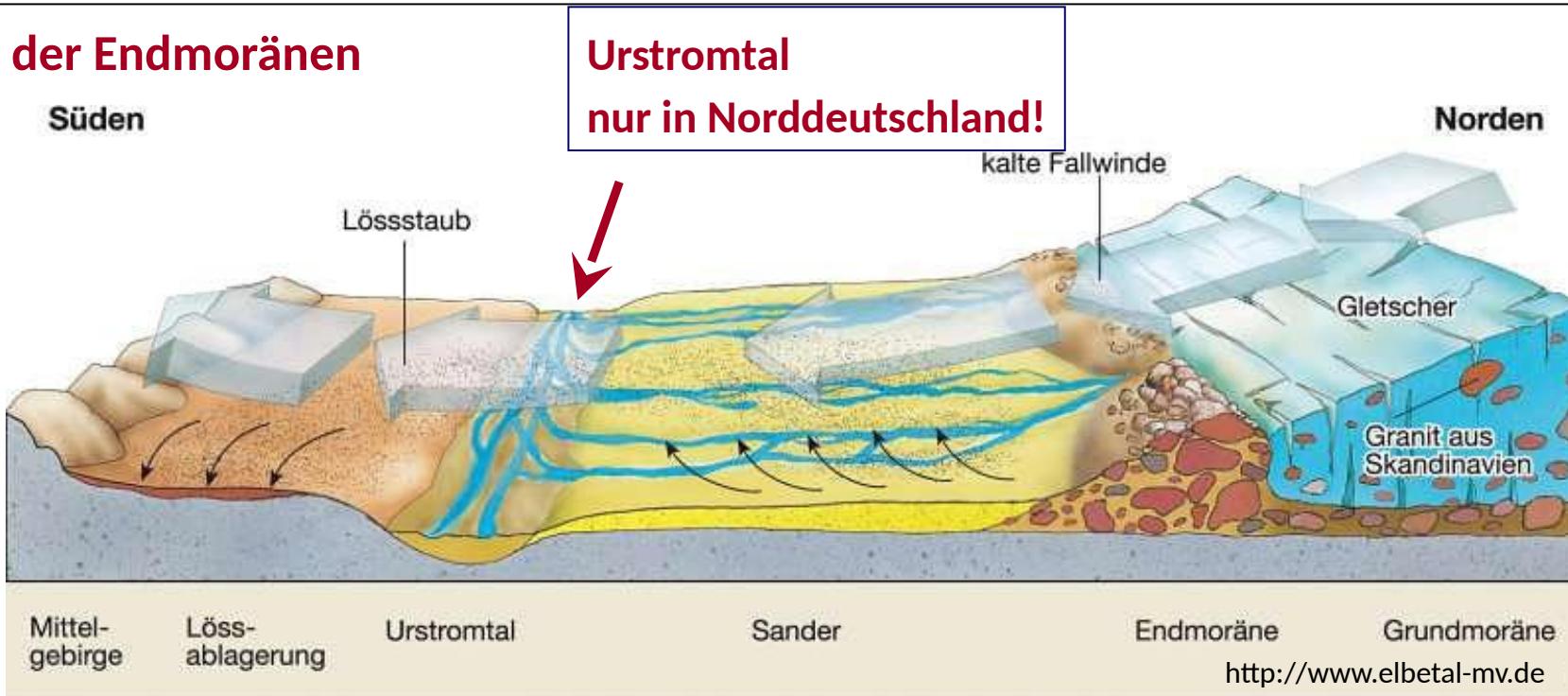
- Im Spätglazial mehrere **Gletschervorstöße = Stadiale**
- Jeder Vorstoß erzeugte **eigene Moränen → Moränen-Staffeln**
- Im Inn/Chiemsee-Gebiet besonders gut erforscht

Raststätte Irschenberg



Glazial

Außerhalb der Endmoränen

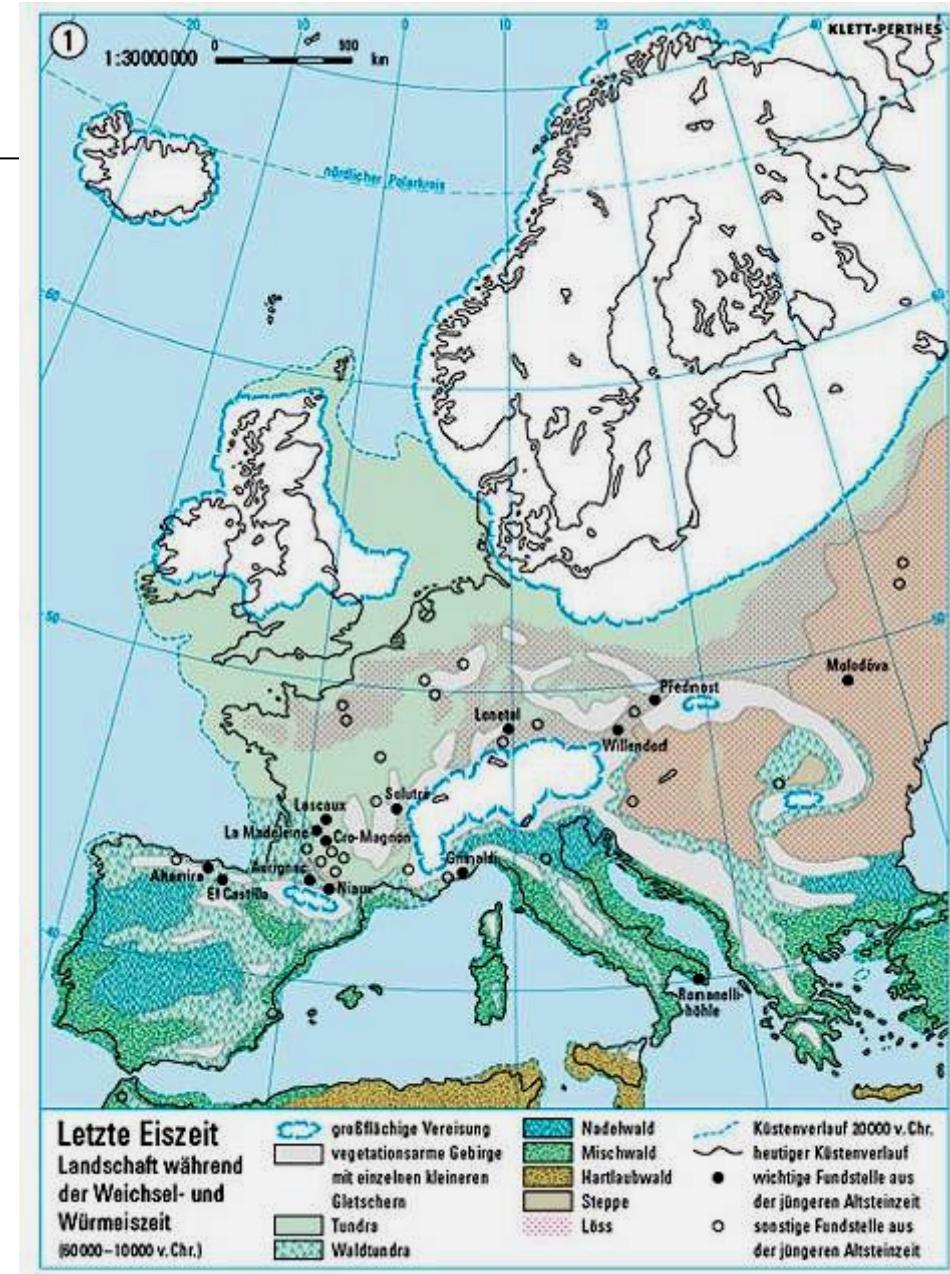


- Außerhalb der Endmoränen findet **glazifluviale** und **äolische Formung** statt
- An die Endmoränen schließen **Übergangskegel** an
- Im Vorland folgen **Sander** oder **Schotterebeben**
- In **Norddeutschland** erfolgte Entwässerung durch **Urstromtäler**
- **Katabatische Winde** führen zur Auswehung von Feinmaterial → **Löss**

Glazial

Europa im Würmglazial

- Meeresspiegel ca. -120 m
- Nordsee Festland
- Alpen → Eisstromnetz



Letzte Eiszeit
Landschaft während
der Weichsel- und
Würmeiszeit
(60000–10000 v. Chr.)

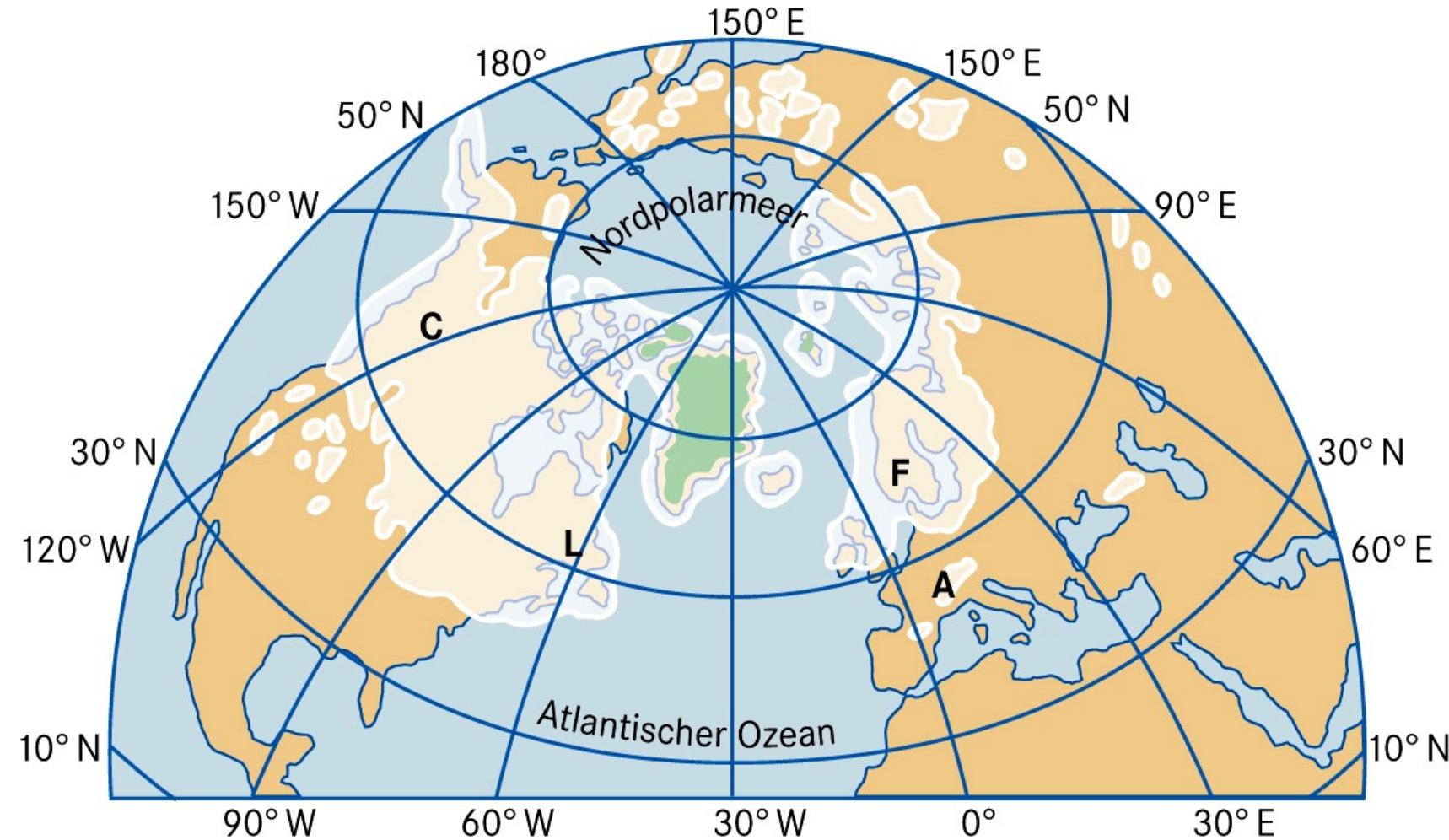
großflächige Vereisung
vegetationsarme Gebirge
mit einzelnen kleineren
Gletschern

Nadelwald
Mischwald
Hartlaubwald
Tundra
Waldtundra

Küstenverlauf 20000 v. Chr.
heutiger Küstenverlauf
● wichtige Fundstelle aus
der jüngeren Altsteinzeit
○ sonstige Fundstelle aus
der jüngeren Altsteinzeit

Glazial

Nordhalbkugel im Würmglazial



Aus Gebhardt/Glaser/Radtke/Reuber: Geographie. 1. Aufl., © 2007 Elsevier GmbH

Geomorphologie

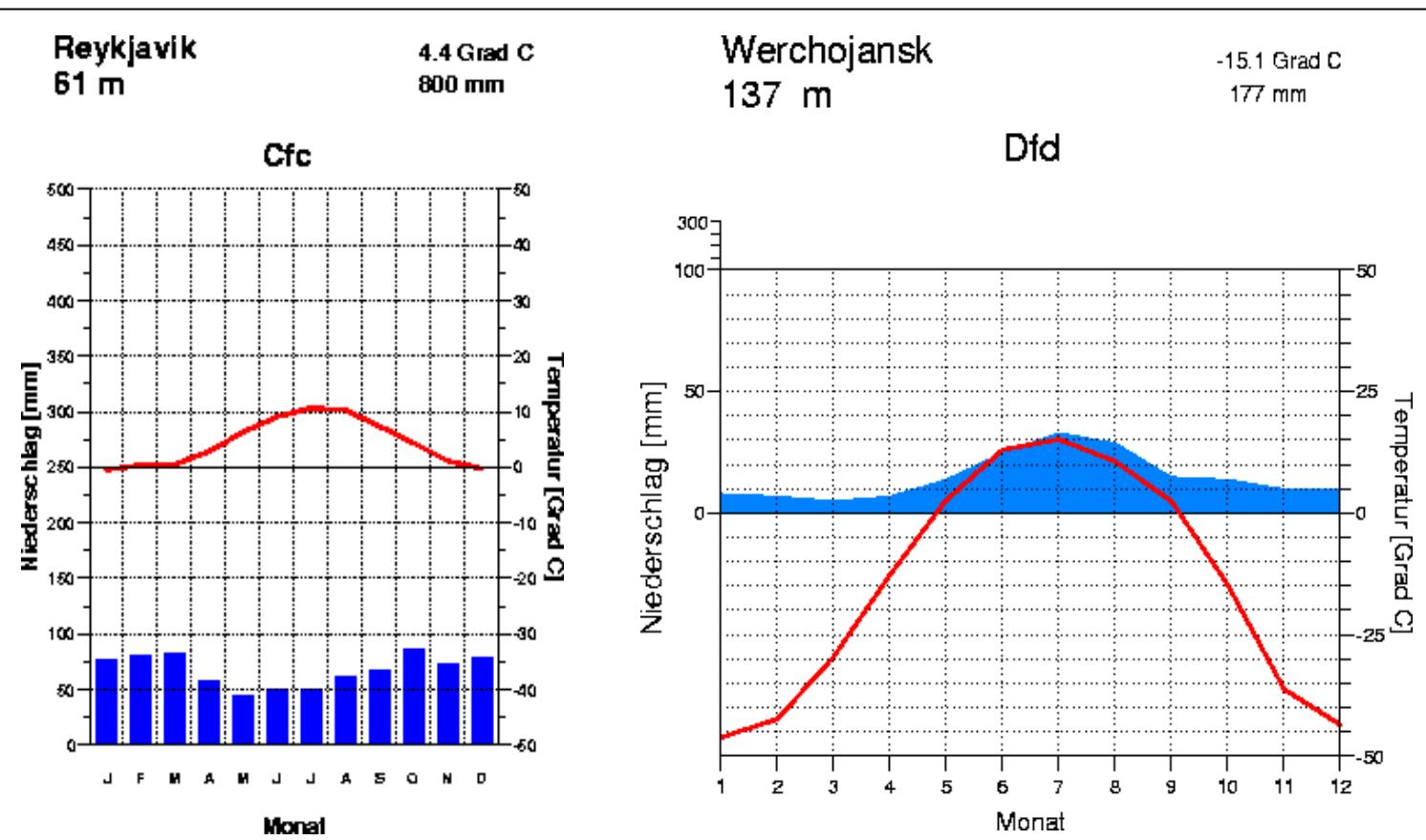
Inhalt

1. Einführung, Erdaufbau und Gesteine
2. Endogene Dynamik: Tektonik, Vulkanismus, Erdbeben
3. Exogene Formungssysteme: Verwitterung & Karst,
Massenbewegung, Fluvial, Glazial & **Periglazial**, Äolisch, Litoral
4. Großformen des Reliefs
5. Klimatische Geomorphologie

Periglazial

Periglazial - Begriffsbestimmung

Periglazial: „um den Gletscher herum“. Synonym für Klimabedingungen, die denen in der Umgebung der Gletscher ähneln und die durch **frostdynamische Prozesse** gekennzeichnet sind.



Periglazial

Periglazial - Begriffsbestimmung

- Periglazialgebiete vor allem auf der **Nordhalbkugel**
- Periglazialgebiete oft von **Permafrost** geprägt
- Permafrost ist teilweise **Relikt** der letzten Eiszeit
- Geht aufgrund des **Klimawandels** zurück

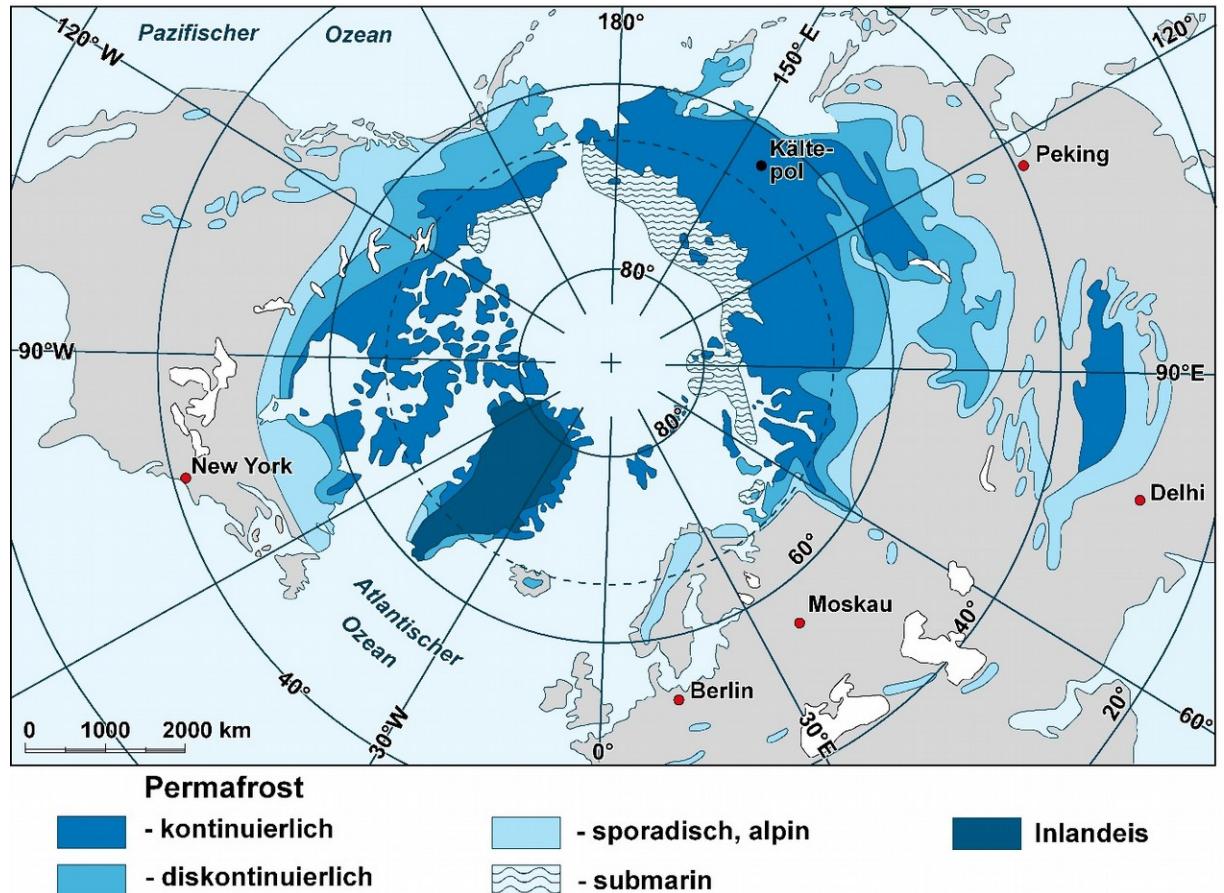
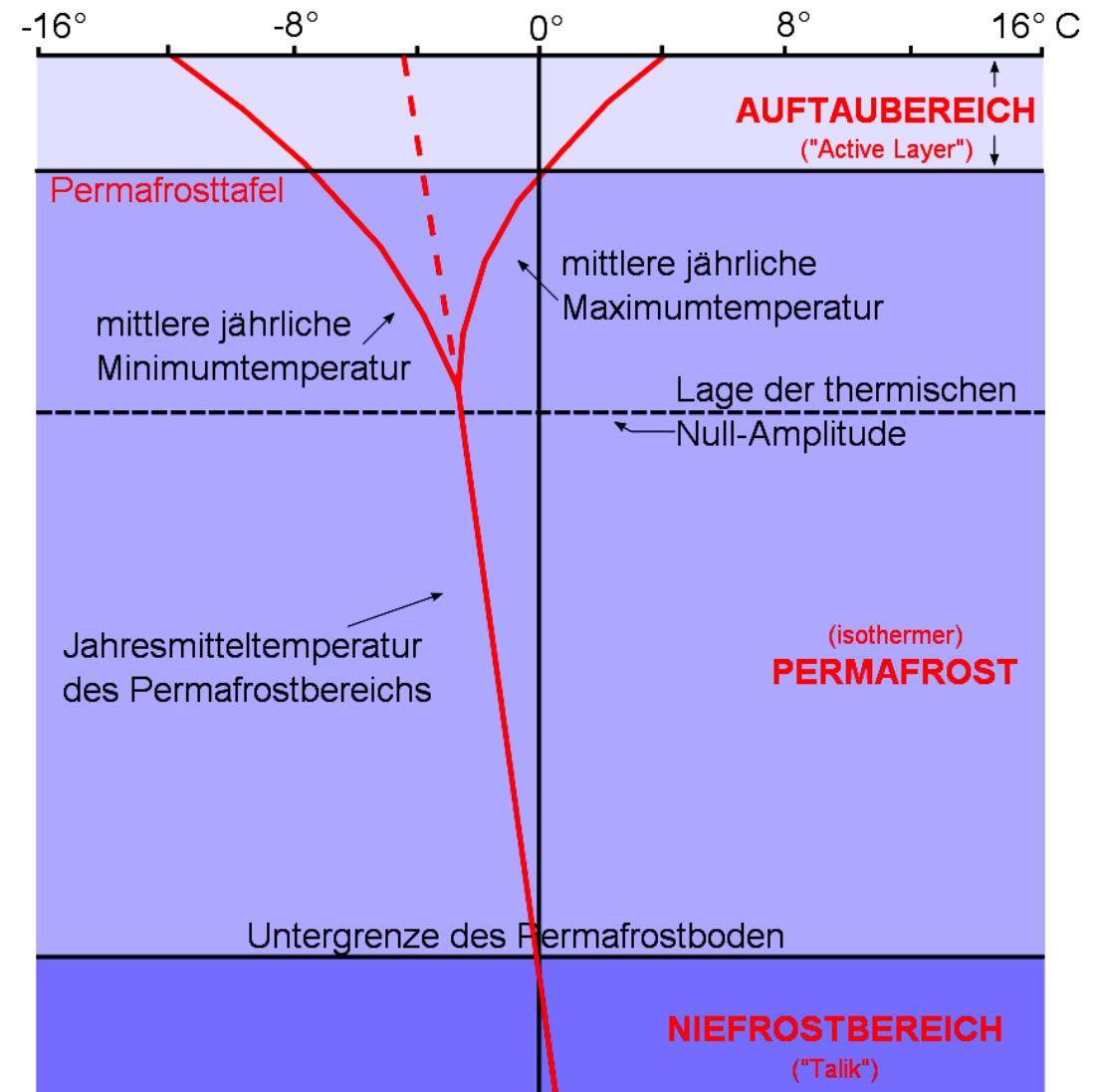


Abb 10.5 Zepp 209
Nach Blümel (1999)
UNA

Periglazial

Permafrost - Vertikal

- An der Oberfläche **active layer** = periodischer Auftaubereich
- **Dauerfrost** mit periodischen Temperaturschwankungen
- **Isothermer Dauerfrost** mit immer gleichen Temperaturen
- **Niefrostbereich** aufgrund geothermischer Energie

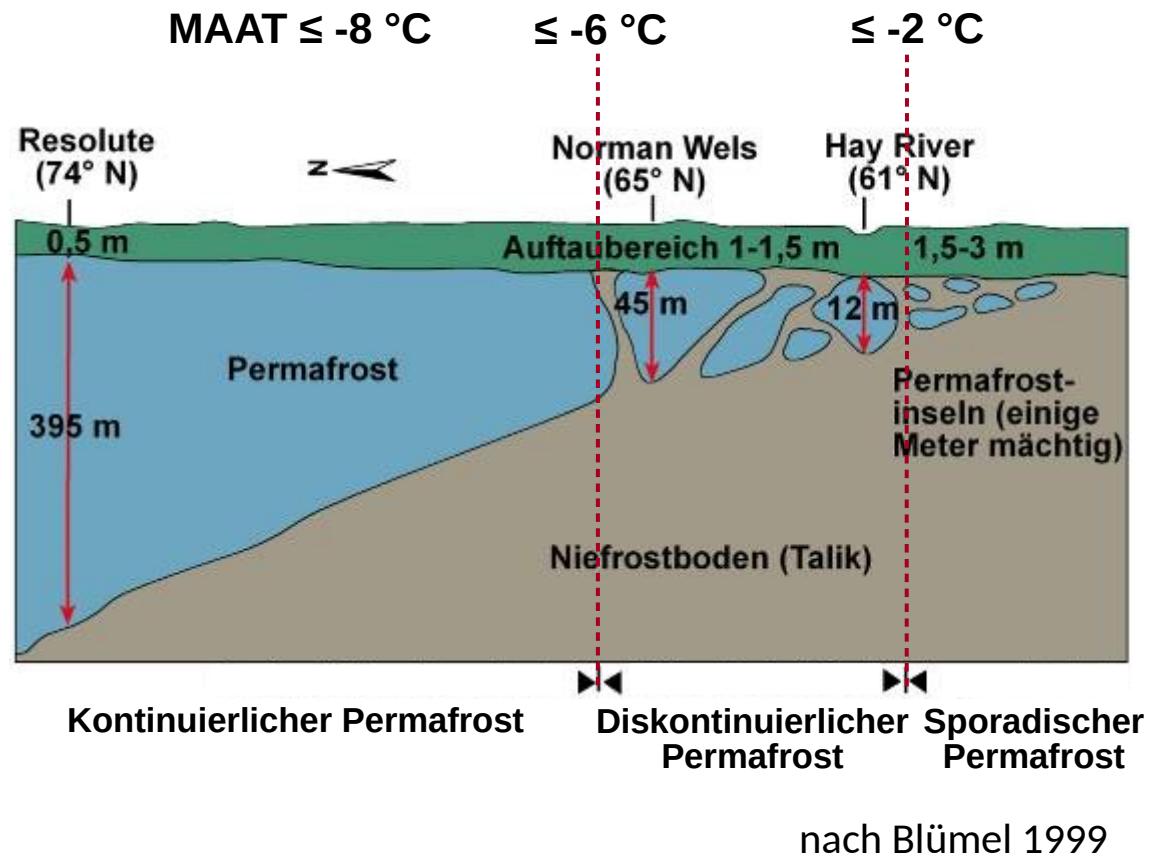


nach Zepp 2003, S. 206

Periglazial

Periglazial - Horizontal

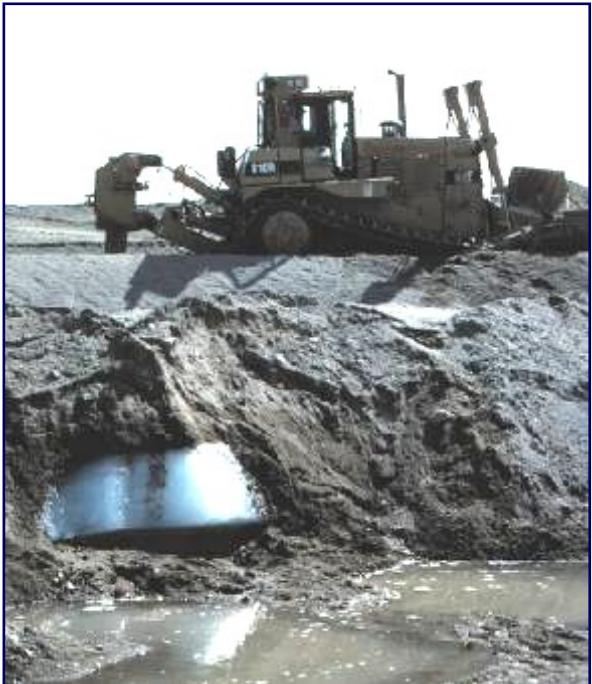
- **Kontinuierlicher Permafrost: Permafrosttafel** bis 1000 m mächtig
- Äquatorwärts geringere Mächtigkeit, erste nicht gefrorene Bereiche = **Talik**, Taliki
- **Diskontinuierlicher Permafrost** mit Zunahme nicht gefrorener Bereiche
- **Sporadischer Permafrost** mit Dauerfrostinseln



nach Blümel 1999

Periglazial

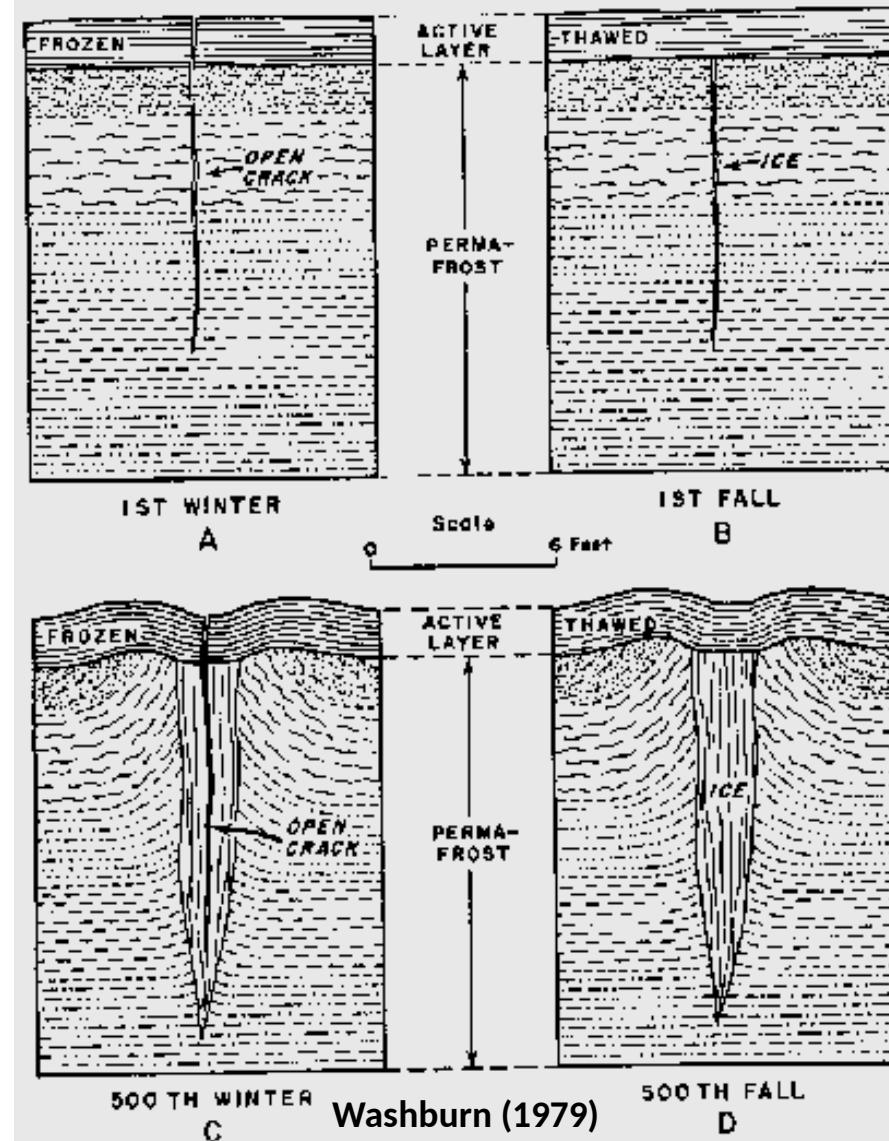
Permafrost - Implikationen



Periglazial

Periglazial - Prozesse

- Beim **Gefrierprozess** Volumenzu-zunahme um 9 %
- Eis reagiert bei weiterer Abkühlung wie ein **Festkörper** → Kontraktion
- Durch Kontraktion **polygonales Aufreißen** des Untergrundes → **Frostspalten**
- Dampfdruckgefälle führt zu **Segregationseis** in Spalten
- Spalten wachsen in langen Zeiträumen zu **Eiskeilen**
- **Eiskeilpseudomorphosen** als Klimazeugen



Periglazial

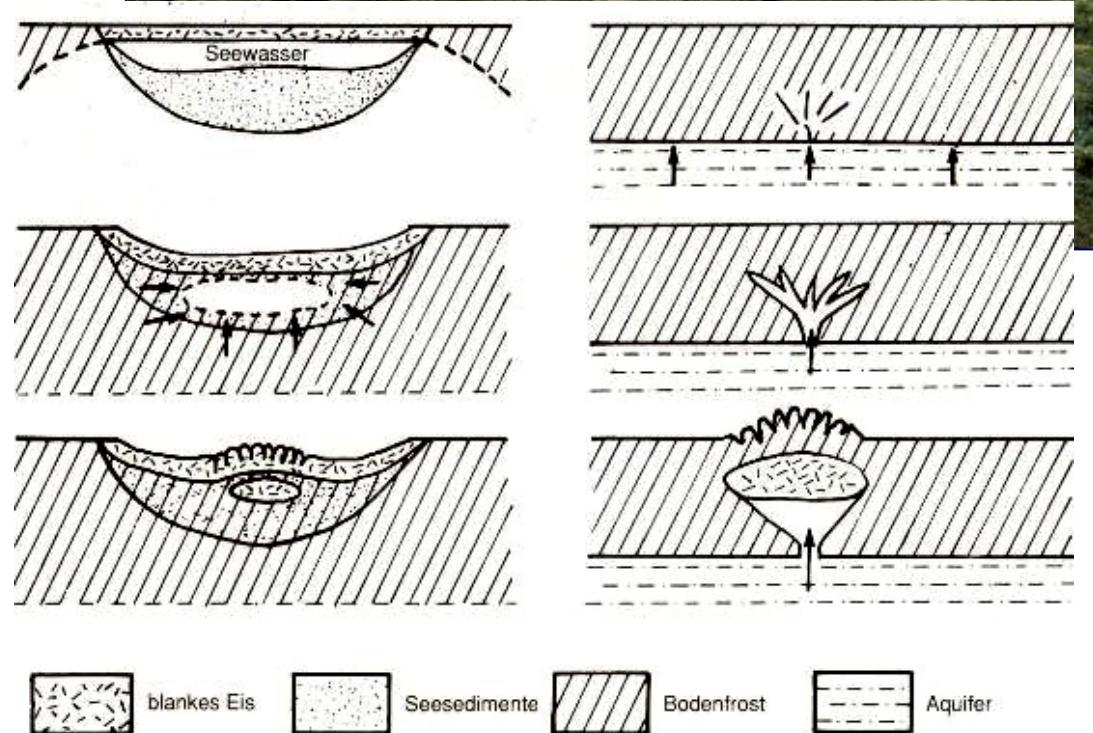
Permafrost - Eiskeilnetze



Periglazial

Permafrost – typische Formen

- Grundlegende **Prozesse**: Volumenzunahme und Eisanreicherung
- Entstehung von Kleinformen im Auftauboden → **Thufure** (m)
- In Moorgebieten Entstehung von Torfhügeln → **Palsen** (10m)
- Großformen sind **Pingos** (100m)
- Pingos in Flussniederungen, **Mackenzie Typ**, geschlossenes System
- Pingos über Talik, offenes System, **Ostgrönland Typ**

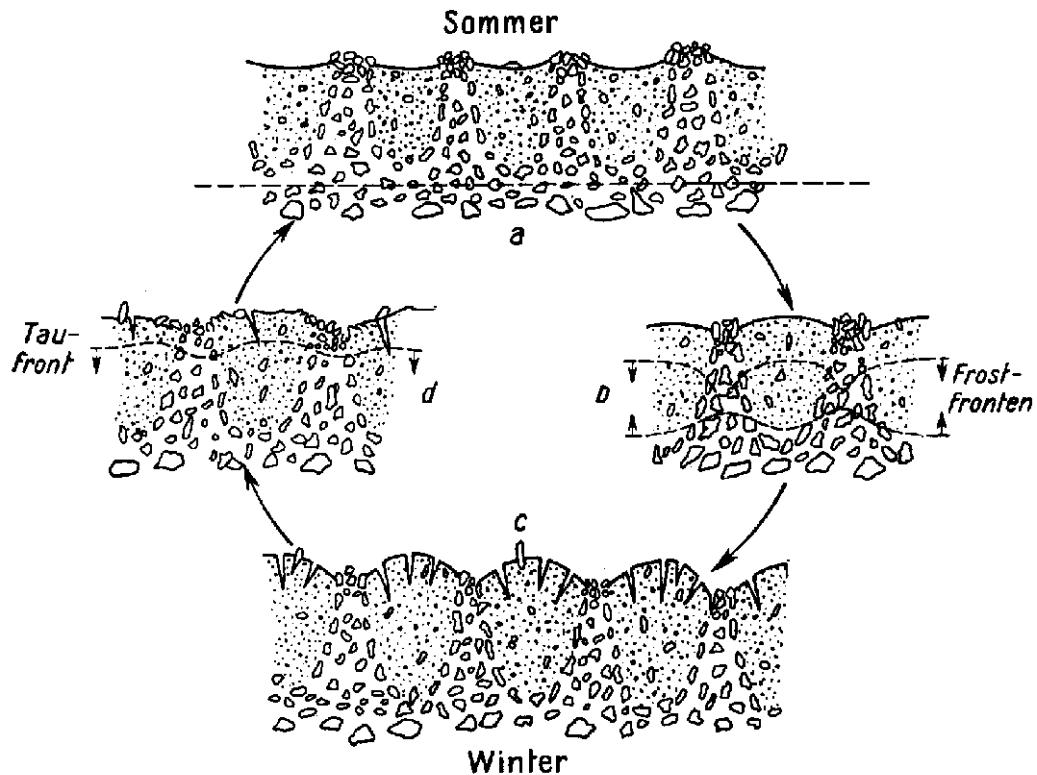
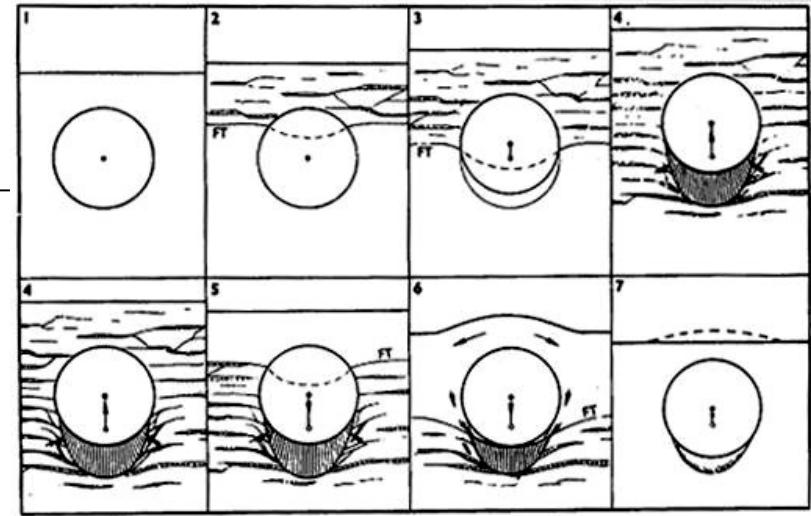




Periglazial

Strukturböden - Kryoturbation

- Frostwechsel führen zur **Materialverlagerung**
- Unterschiedliche Wassergehalte führen zu **Kryoturbation**
- Kryoturbation kann zu Materialsortierung und **Frostmustern** führen
- Entstehung von Feinerdebeeten und **Steinpolygonen**



Periglazial

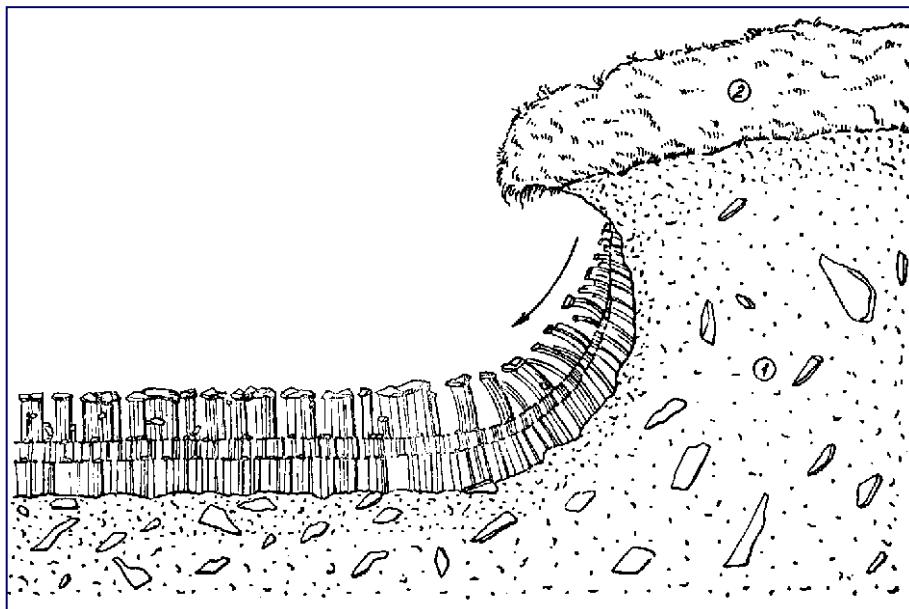
Steinringe und Steinstreifen



Periglazial

Solifluktion im Periglazial

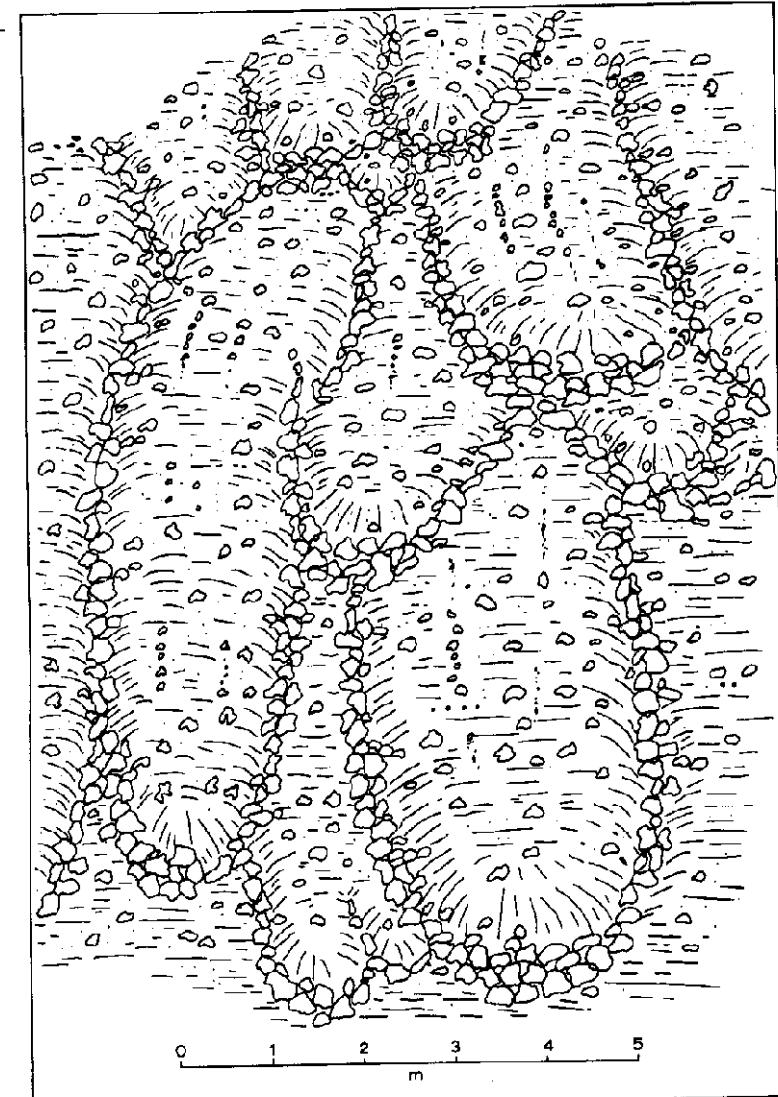
- Frost über feuchtem Boden bewirkt Bildung von **Nadeleis** (Kammeis)
- Eisnadeln führen zu **oberflächenparallelem Anheben**
- Beim Auftauen **lotrechtes Absenken**
- Folge ist **Versatz** an der Oberfläche



Periglazial

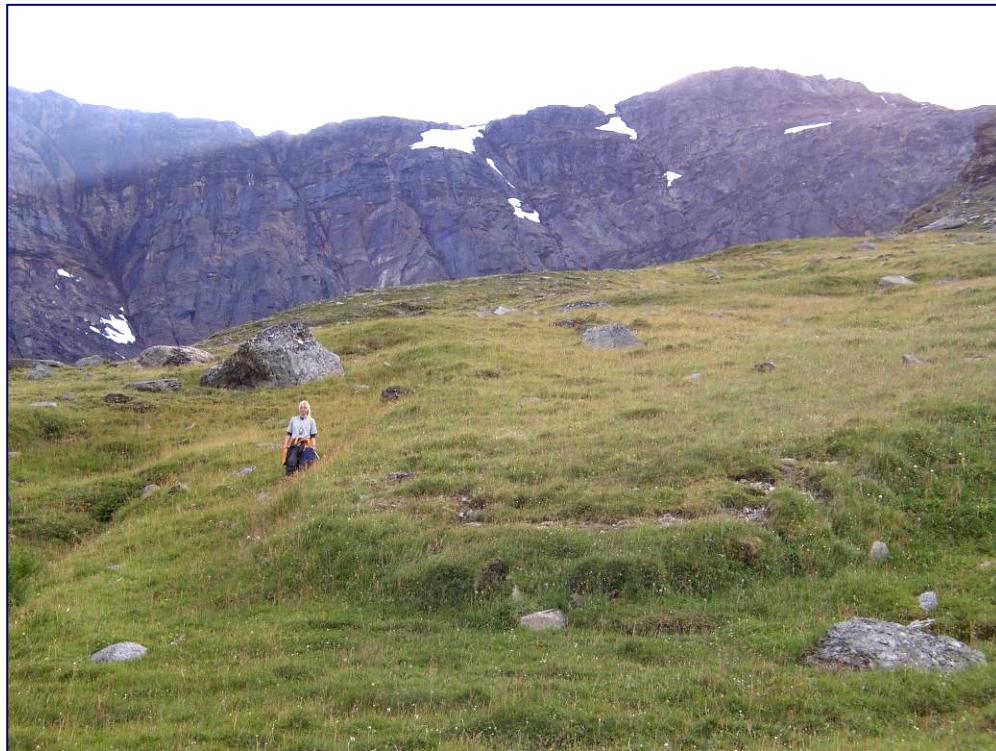
Freie und gebundene Solifluktion

- Solifluktion als **Kriechbewegung** bekannt
- In Periglazialräumen dominanter Oberflächenprozess
- **Gelifluktion** nur über Permafrost
- **Freie Solifluktion** wenn keine Vegetationsdecke vorhanden
- **Gebundene Solifluktion** unter Vegetation: z.B. Hochgebirge



Periglazial

Freie und gebundene Solifluktion



Periglazial

Äolische Prozesse im Periglazial

