



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

Massen(selbst)bewegungen

Definition:

Massenselbstbewegungen sind durch **Schwerkraft bedingte Verlagerungen** von Böden und Gestein.

Zu den Prozessen gehören:

- **Abriss**, bzw. **Abtrag** des Materials
- **Transport** der Feststoffe
- **Ablagerung** der Massen

Massenselbstbewegungen zählen zu den **Denudationsprozessen!**

Denudation: flächenhafte Abtragung

Erosion: linienhafte Abtragung



Massenselbstbewegungen

Systematik der Massenbewegungen

Massenbewegungen lassen sich nach **Bewegungsart** und **Umfang der bewegten Massen** untergliedern.

Es werden unterschieden:

Sturzprozesse

Gleitprozesse

Fließprozesse

Kennzeichen der Prozesse:

Stürzen: freier Fall, hohe Geschwindigkeit, Material zerfällt

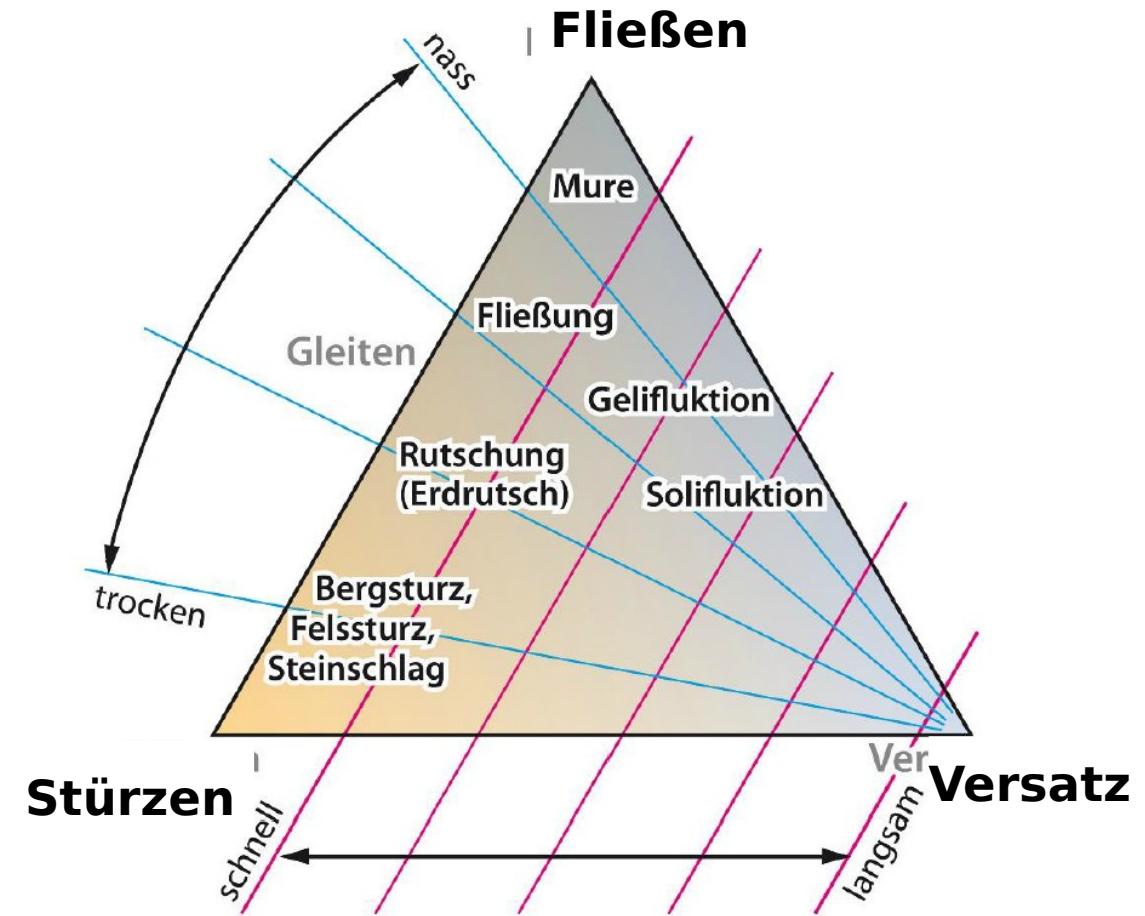
Gleiten: Rutschen auf Untergrund, geringe Geschwindigkeit, Zusammenhalt

Fließen: breiges Fließen, variable Geschwindigkeit, Material zerfällt

Massenselbstbewegungen

Übersicht über die Prozesse

1. Stürze → **freier Fall**
2. Rutschung → Bewegung auf **Gleitschicht**
3. Fießen → hoher Wassergehalt

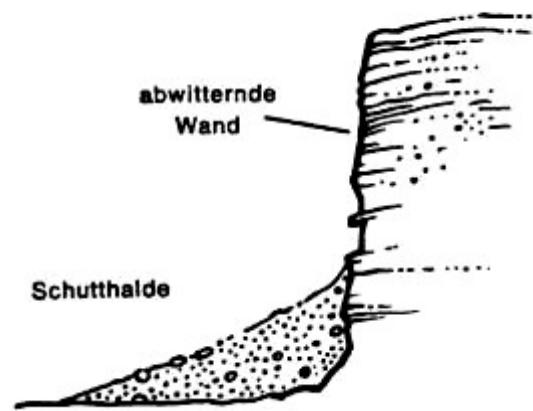


Gliederung nach **Geschwindigkeit** und **Wassergehalt** (Glawion et al. 2013)

Massensedebewegungen

Die Sturzprozesse

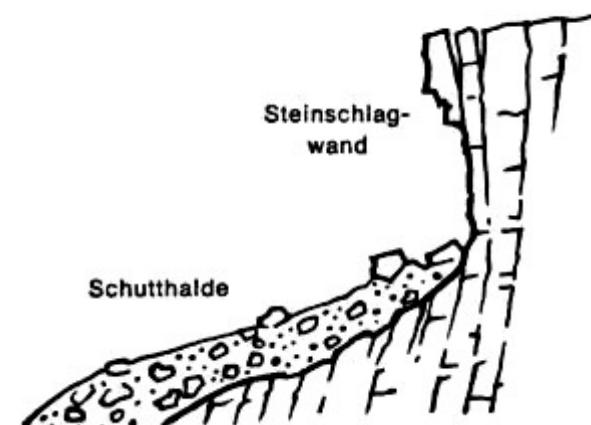
Die Sturzprozesse können nach dem **Umfang der bewegten Massen** weiter untergliedert werden



Steinschlag

6

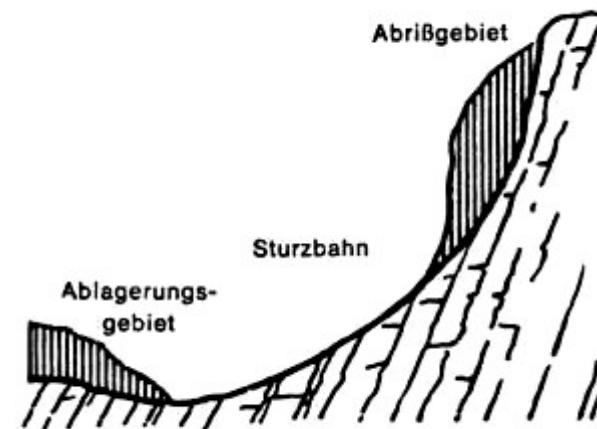
Einzelsteine



Blocksturz / Felssturz

Blöcke, Verbände
 $< 0,1 \text{ km}^3$ Masse

Bunza (1976, S. 9)



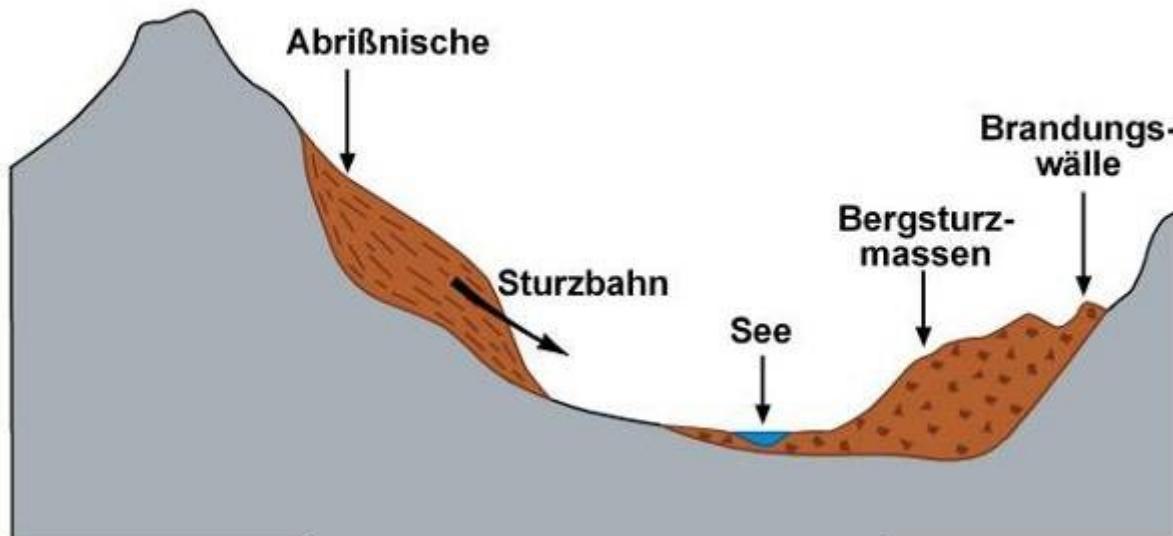
Bergsturz

Berghänge
 $> 0,1 \text{ km}^3$ Masse
100 000 000 m³

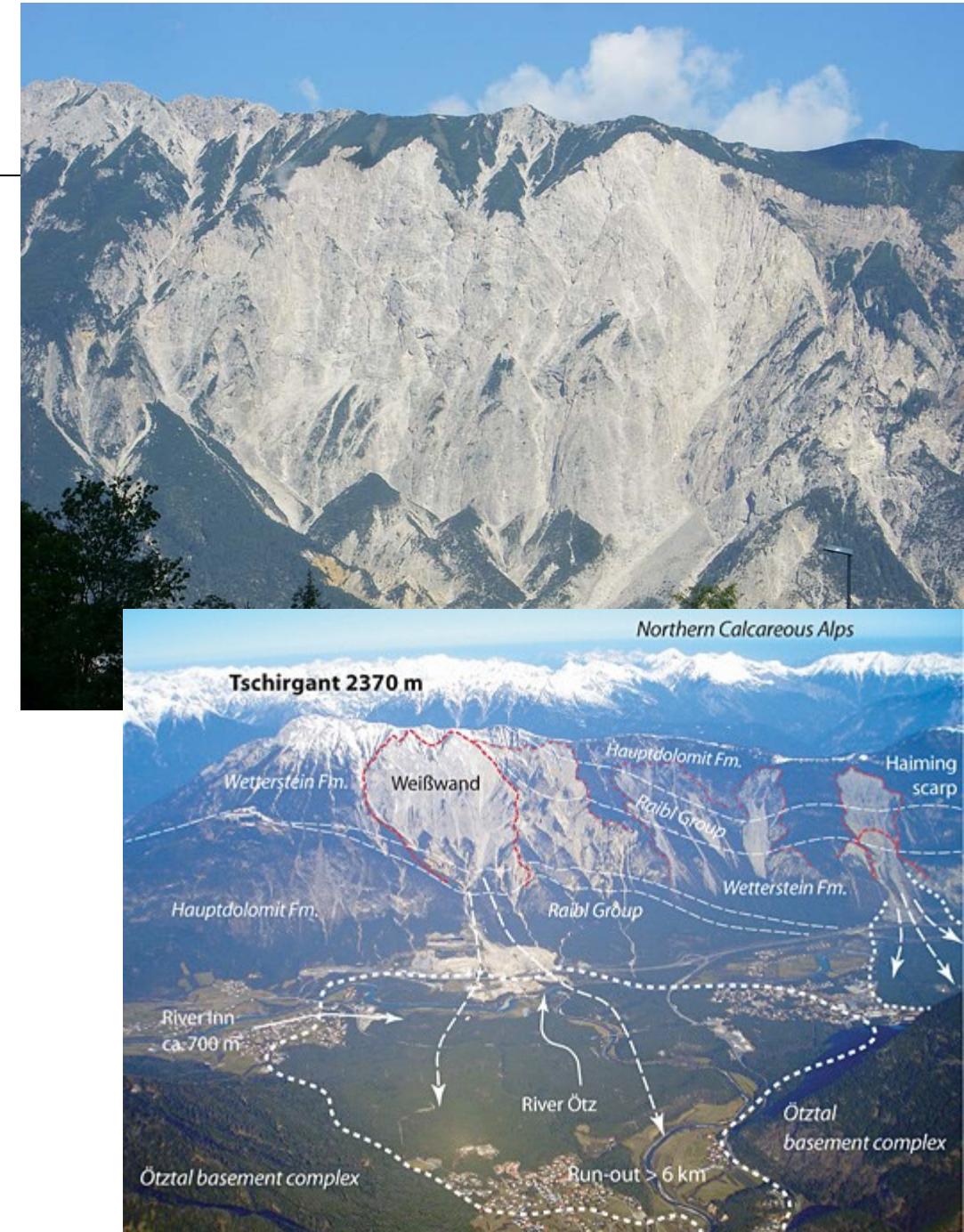
Massenselbstbewegungen

Bergsturzlandschaft - Tomalandschaft

Schema eines Bergsturzes (nach WILHELMY 1981, aus BUSCH)



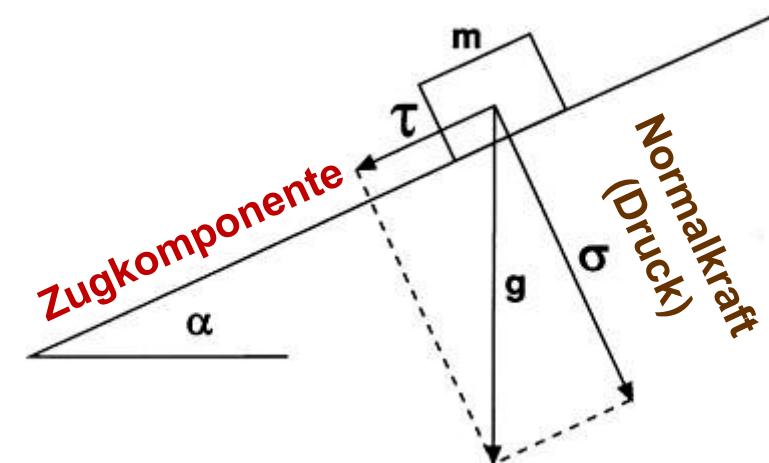
Die Folgelandschaft eines Bergsturzes wird als **Tomalandschaft** bezeichnet



Massenselbstbewegungen

Auslöser für Sturzprozesse

- allg. Abhängigkeit von **Gesteinsart**, Gesteins**lagerung** und **Klüftigkeit**
- Klima und **Witterung** (Starkniederschläge, Tauwetterperioden, Frostwechsel, ...)
- **Wassersättigung** der Gesteins- bzw. Bodenschicht, Durchfeuchtungsgrad
- Auftauen von **Permafrost**
- **Druckentlastung** bei postglazialem Rückzug der Alpengletscher aus Gebirgstälern
- **Unterschneidung** und Versteilung eines Hanges durch Flusserosion oder z. B. Straßenbau
- **Erdbeben**



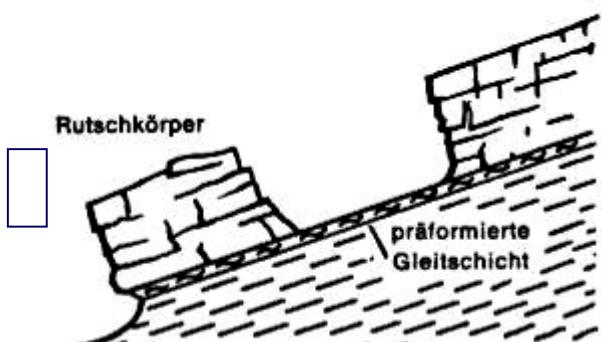
Vektoren der Schwerebeschleunigung am Hang (Ahnert, 1996, S. 121)

Massensedebewegungen

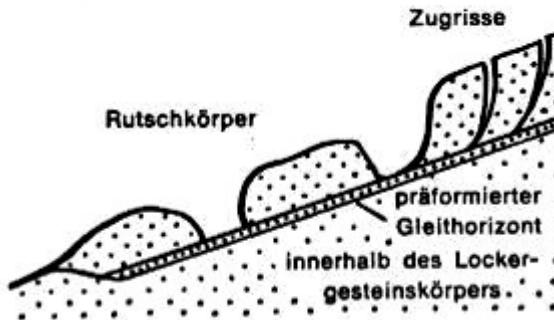
Translationsrutschungen

Rutschungen werden nach dem **Bewegungsprozess** in Translations- und Rotationsrutschungen untergliedert

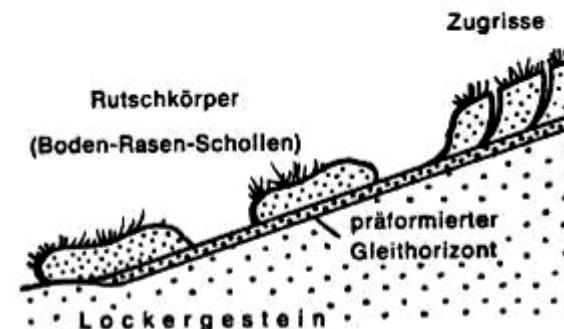
Translationsrutschungen



Blockrutschung
im Festgestein



Schollenrutschung
im Lockergestein



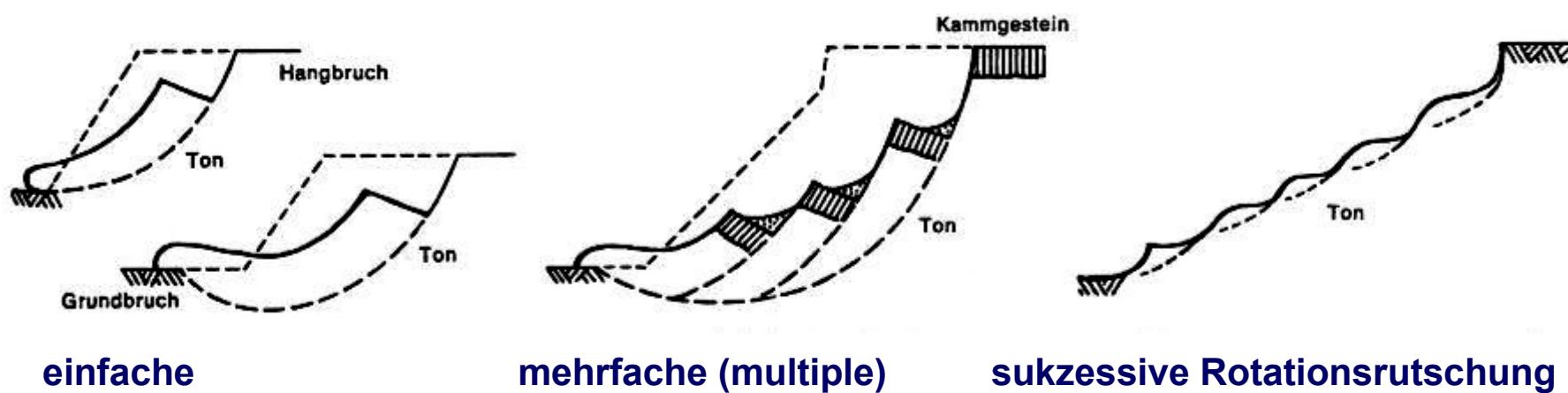
Translations-
Bodenrutschung

Wichtig bei der Entstehung von Translationsrutschungen sind **präformierte Gleitbahnen** im Untergrund

Massenselbstbewegungen

Rotationsrutschungen

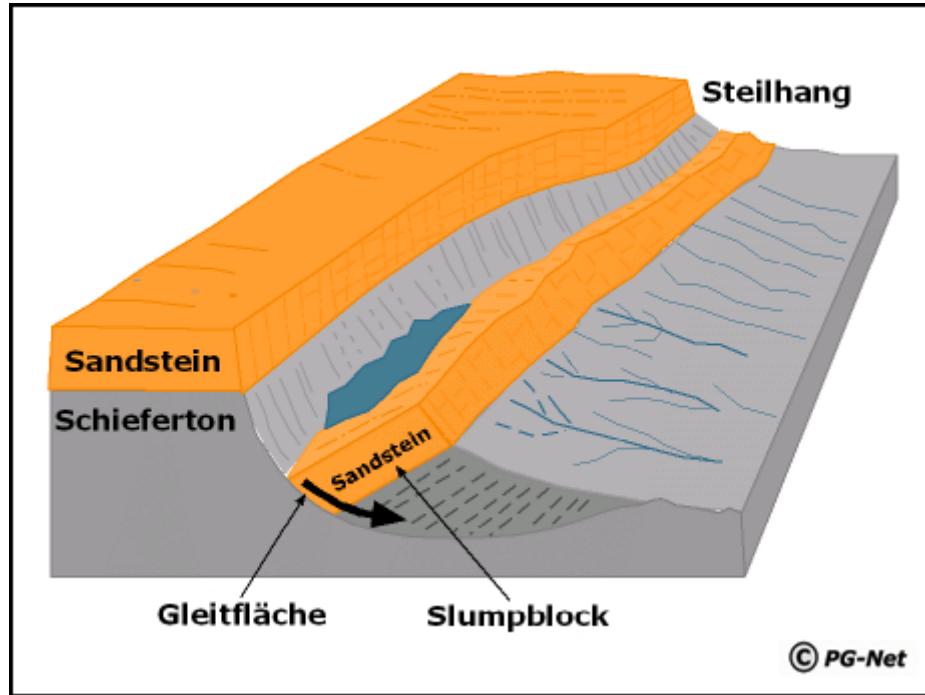
Bei der Rotationsrutschung kommt es zu einer **hangwärtigen Absenkung** der Scholle, so dass eine **Rotation quer zur Bewegung** erfolgt



Rotationsrutschungen treten oft **geschichteten Sedimentgesteinen** auf, wenn eine weiche plastisch verformbare Schicht (Tonstein) eine feste Gesteinsschicht (z.B. Kalkstein) unterlagert

Massensedebewegungen

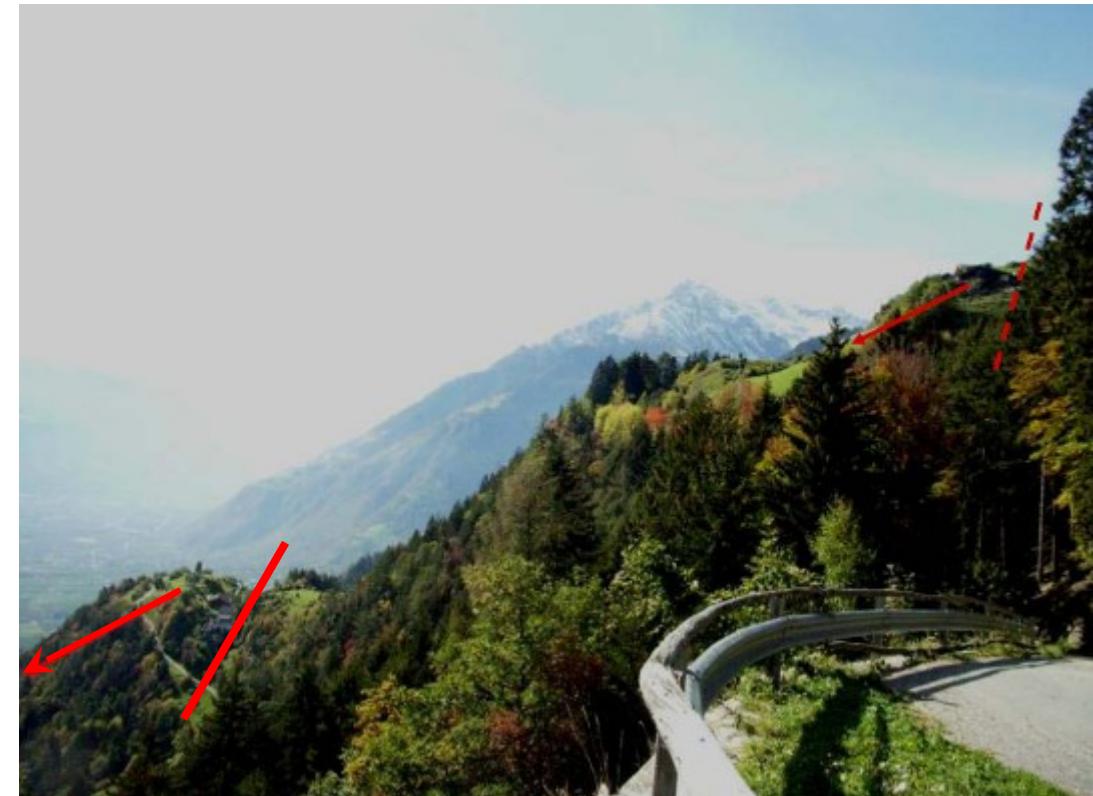
Rotationsrutschungen



Bei Rotationsrutschungen verlaufen die Gleitbahnen **tief im Hang**. Daher wird auch von tiefgreifenden Rutschungen mit **antithetischer Rotation** gesprochen.

Massenselbstbewegungen

Talzuschub und Bergzerreißung



Der Talzuschub ist die **größte Form** einer Gleitbewegung; leitet über zu den **Fließbewegungen**, da oft der Gesteinszusammenhang aufgelöst wird.

Massenselbstbewegungen

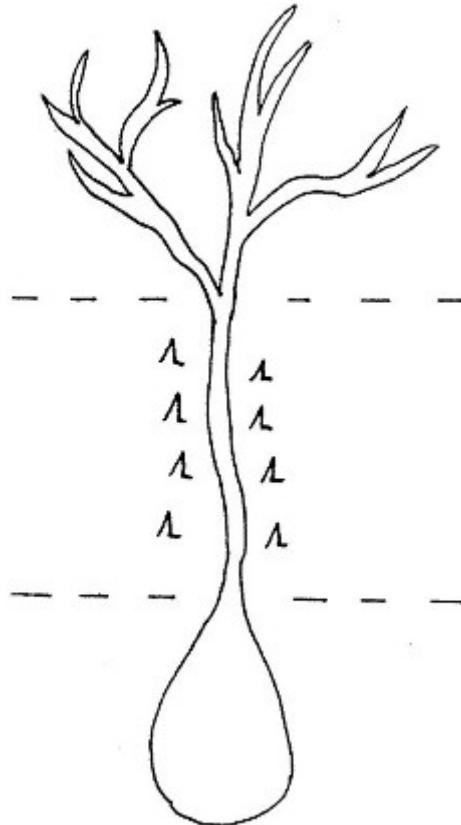
Fließbewegungen

Je nach Geschwindigkeit lassen sich die Fließbewegungen in **Muren** und **Kriechbewegungen** unterteilen.



Massenselbstbewegungen

Muren und Murkegel



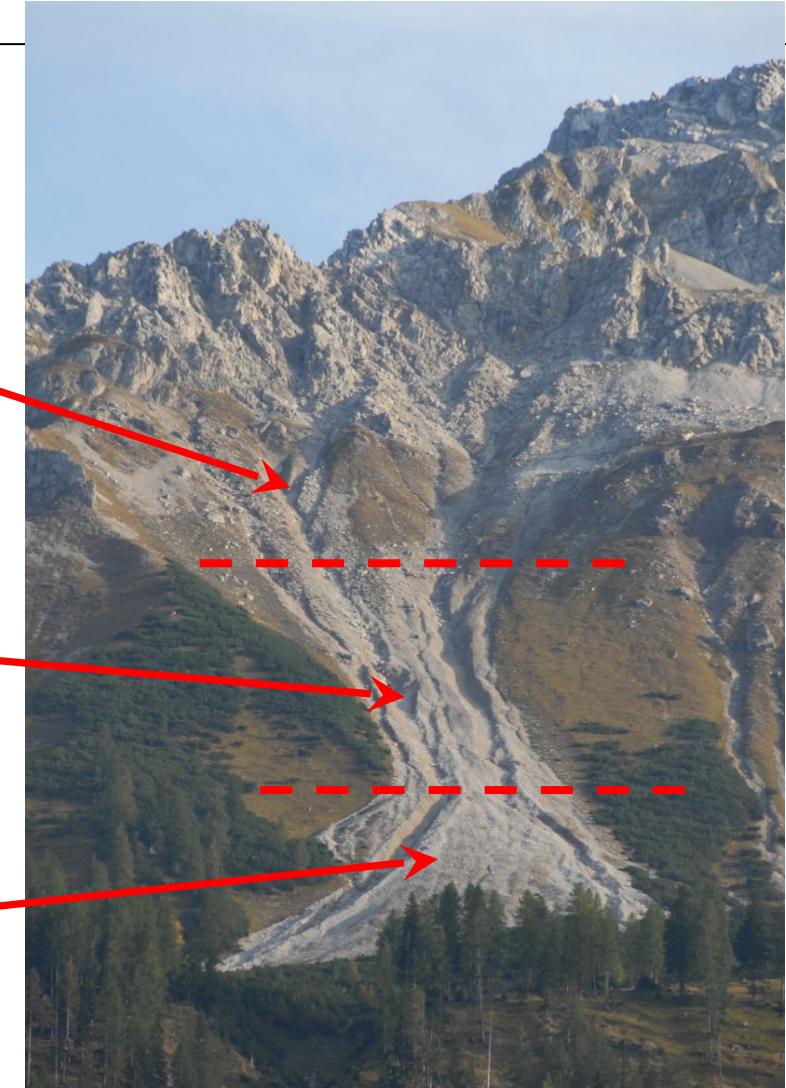
Muren lassen sich in
Abschnitte einteilen:

Entstehungsgebiet

Transportbahn

Ablagerungsgebiet

Das Ablagerungsgebiet weist meistens Neigungen
 $> 5^\circ$ auf und wird als **Murkegel** bezeichnet



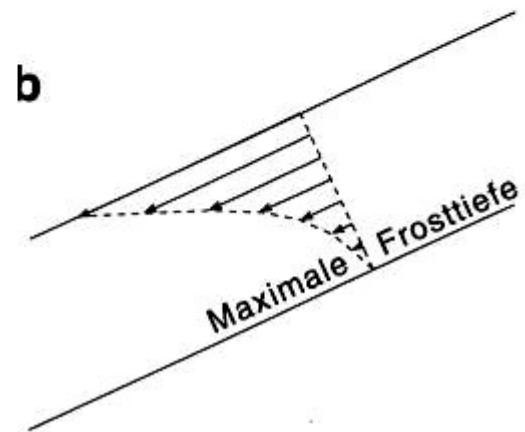
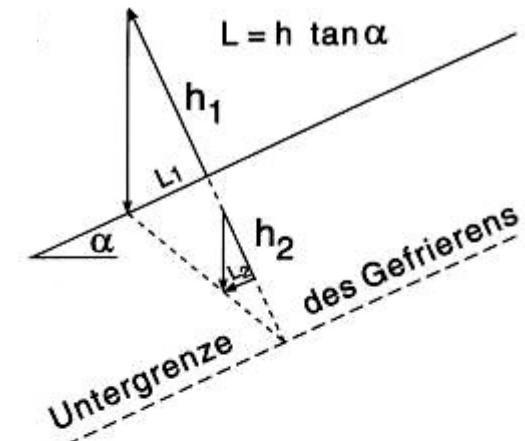
Massenselbstbewegungen

Kriechbewegungen



Gravitative Massenbewegungen:
Kriechen (Bunza, 1976, S. 52)

- Bodenkriechen läuft **schleichend** ab und führt zur Hangdenudation
- Bei rascherer Bewegung und Frosteinfluss tritt **Bodenfließen (Solifluktion)** auf



Bodenbewegung durch Frostwechsel
(Ahnert, 1996, S. 135)

Massenselbstbewegungen

Lawinen als Sonderform



- **Trockenschneelawinen** (Schneebrett/Staublawine)
- **Nassschneelawinen** (Fließlawine, Grundlawine)
- **Sulzströme** (Nassschneestrom)



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

Fluviale Formungsprozesse

Dimensionen fluvialer Formung

Die **Formung durch Wasser** spielt sich in verschiedenen räumlichen und zeitlichen Dimensionen ab:

- Formung auf der Oberfläche durch **Regentropfen**
- Flächenhafte **Spülprozesse** an der Oberfläche
- Quasi flächenhafte Formung in **Rillen** und **Rinnen**

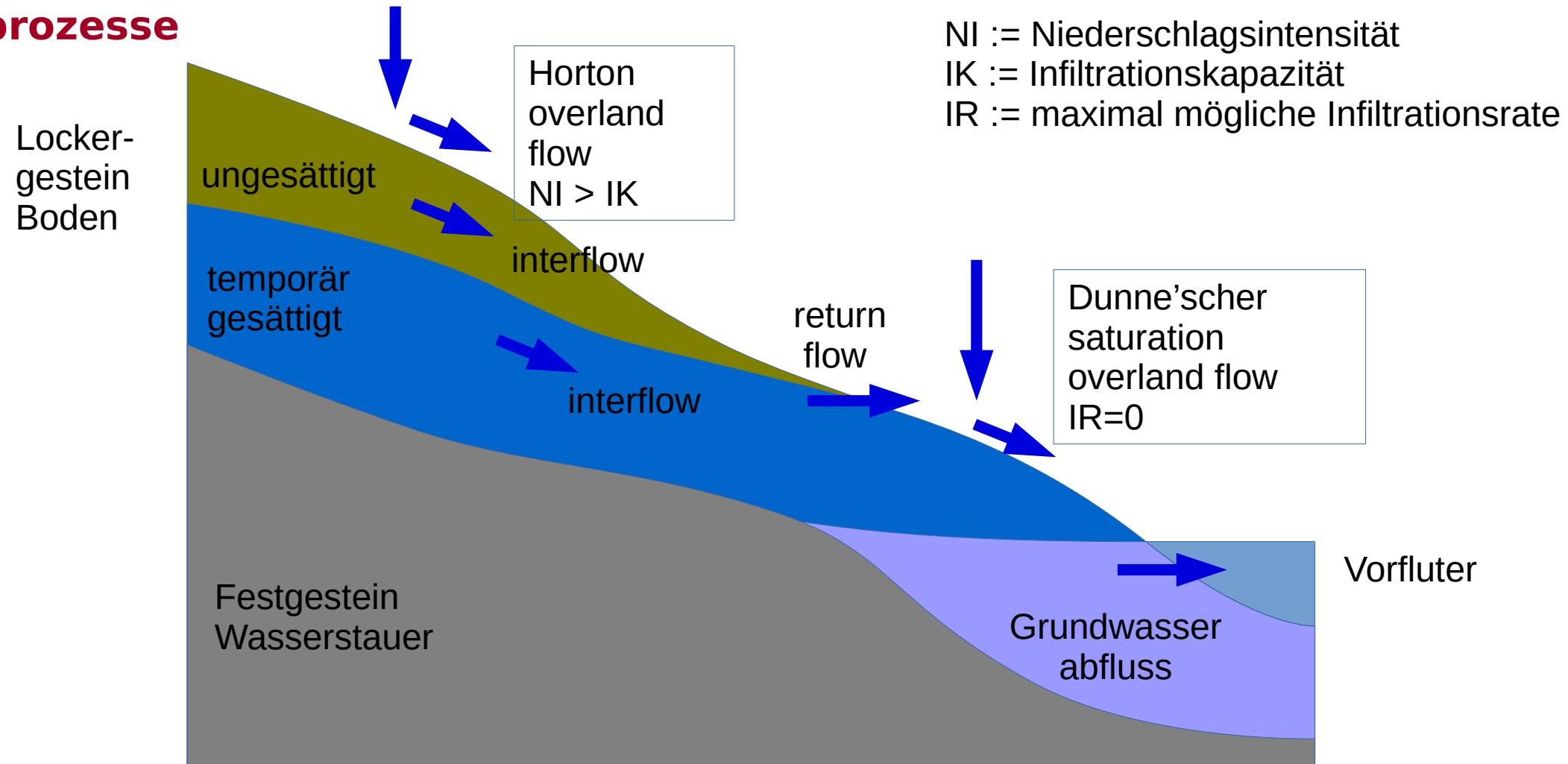
**Flächenspülung /
Spüldenudation**

-
- Übergang zu **linearer Erosion** in Rillen, Gräben und Tälern
 - Erosion, Transport und Sedimentation in **Flusssystemen**

Erosion

Fluviale Formungsprozesse

Abflussprozesse



Fluviale Formungsprozesse

Oberflächenabtrag

**UniversalSoilLossEquation /
AllgemeineBodenAbtragsGleichung**

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

mit: R = Erosivität der Niederschläge

K = Erodierbarkeit des Bodens

LS = Hanglängen- und Neigungsfaktor

C = Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor

P = Erosionsschutzfaktor

Fluviale Formungsprozesse

Niederschlagsenergie

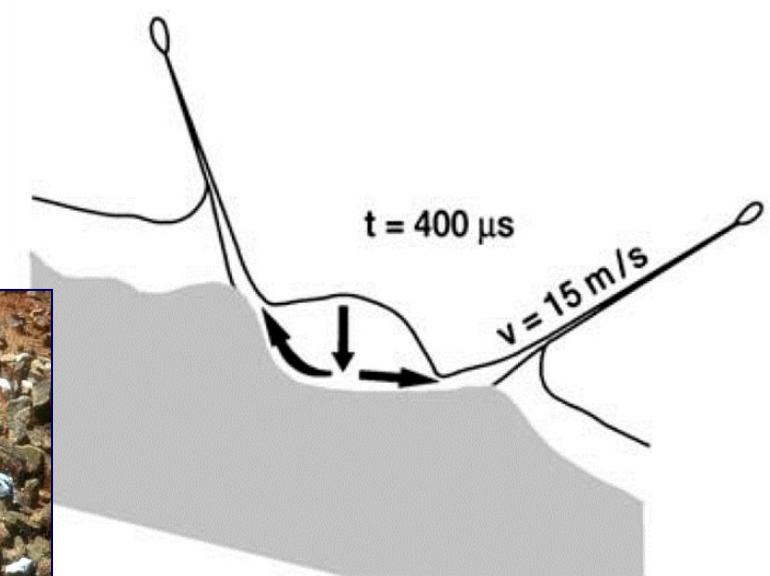
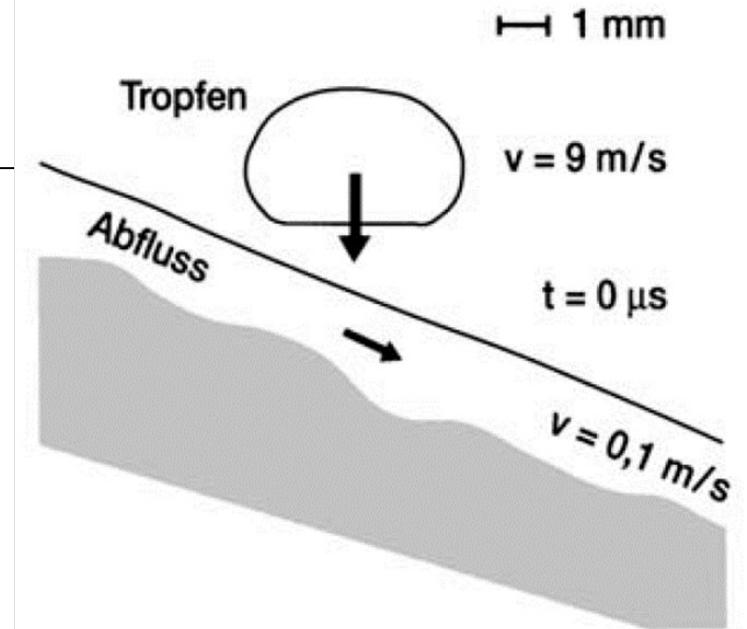
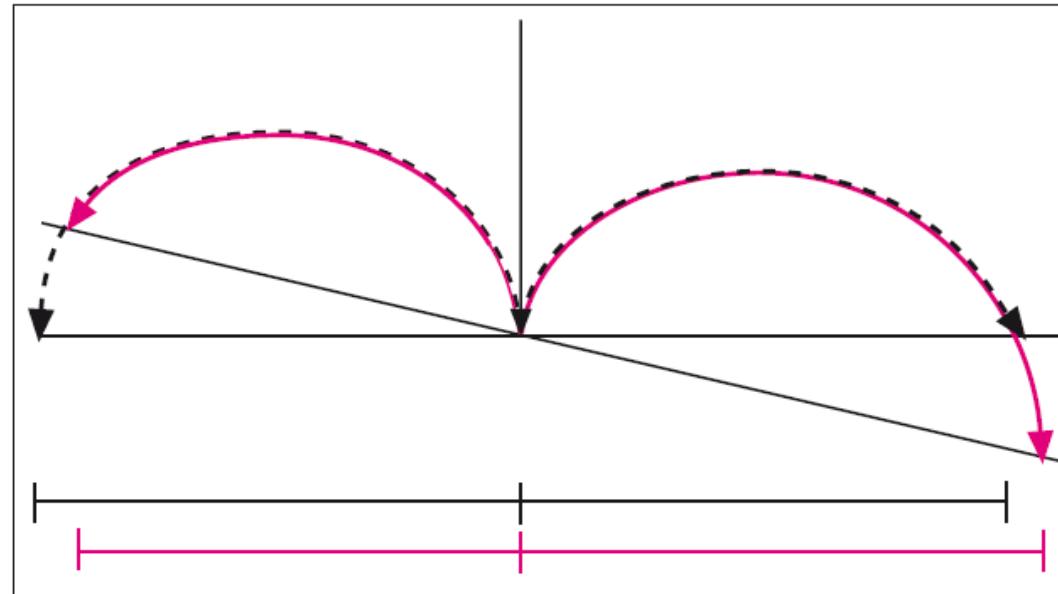
Art	Intensität	mittlerer Durchmesser	Fallgeschwindigkeit	kinetische Energie
	[mm/h]	[mm]	[m/s]	[kJ/m ² •h]
Sprühregen	0,2	0,10	0,20	10 ⁻³
Nieselregen	0,5	1,00	4,20	10 ⁰
Leichter Regen	1,0	1,20	4,90	10 ¹
Starker Regen	15,0	2,10	6,90	10 ³
Gewitterregen	100,0	3,00	8,40	10 ⁴

Fallgeschwindigkeiten und kinetische Energie ausgewählter Niederschlagsarten (aus Auerswald 1998, 34)

Fluviale Formungsprozesse

Wirkung von Rain-Splash

- In Abhängigkeit der **kinetischen Energie** beginnt die Formung beim Auftreffen des Tropfens → **Splash-Erosion**
- Bei zunehmender Schichtdicke des **Wasser-films** verringert sich der Splash-Effekt



Zepp (2017, S. 128)

Fluviale Formungsprozesse

Flächenspülung Reynoldszahl

$$Re = \frac{v \cdot R}{\gamma}$$

mit: R = hydraulischer Radius [m] (Gewässertiefe)

v = Fließgeschwindigkeit [m/s]

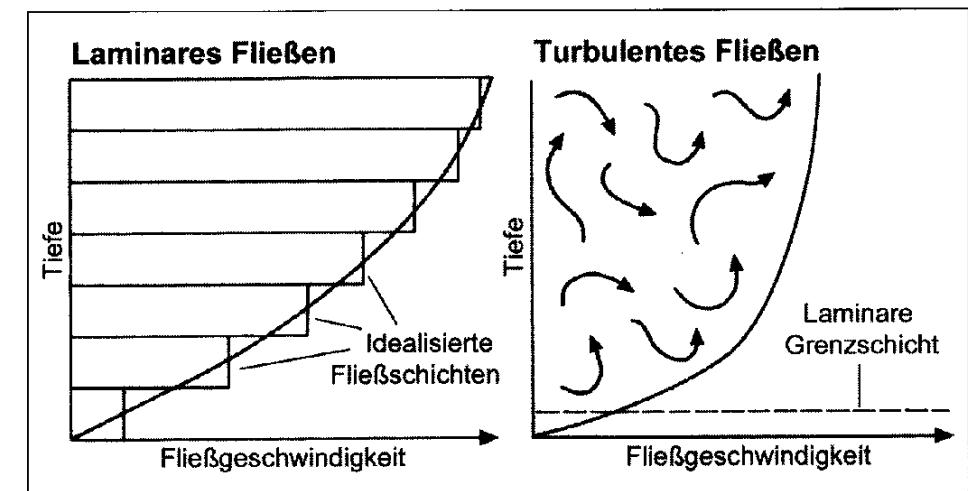
γ = kinematische Viskosität von Wasser [m^2/s]

$Re > Re_{krit} \Rightarrow$ laminar \rightarrow turbulent

$Re_{krit} = \sim 2300$ bei Rohrleitungen

$Re_{krit} < 2300$ bei geringerem Widerstand

- Beim Übergang zum turbulenten Fluss nimmt **Erosionsleistung** zu
- Beginn von **linearen Erosionsformen**
- Ansatz von Erosionsrillen



Zepplin 2003, S. 123.

Fluviale Formungsprozesse

Bodenerosion - Schäden

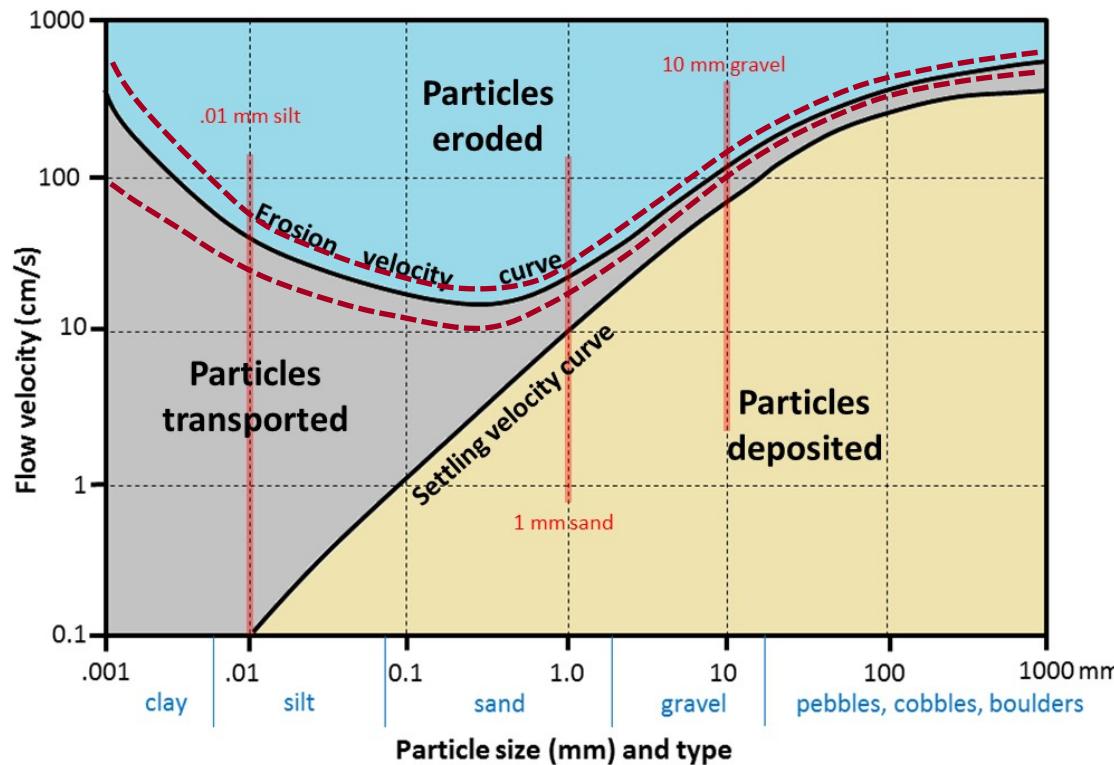
- Schäden treten auf den Flächen durch **Bodenabtrag** und durch **Sedimentation** auf → **On-Site Schäden**
- Bodenerosion führt zu **Stoffausträgen** (Feststoffe, Nährstoffe und Schadstoffe)
- Schadwirkung an anderen Stellen → **Off-Site Schäden**



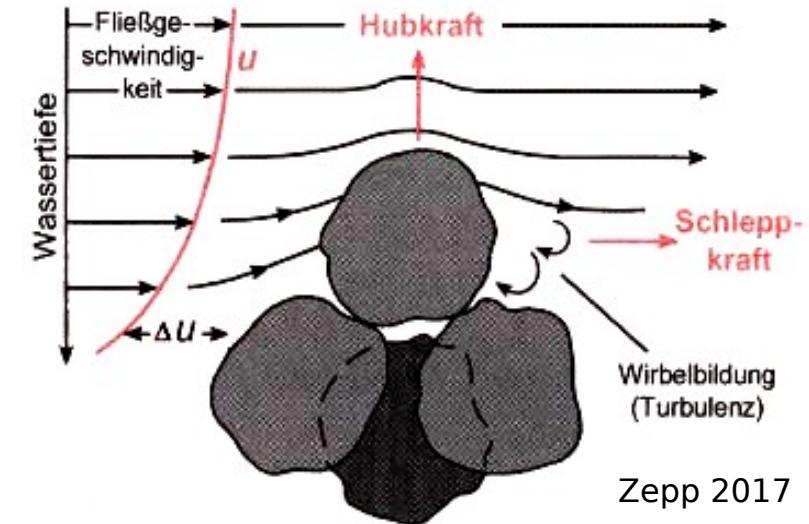
Fluviale Formungsprozesse

Erosion/Denudatin - Transport - Akkumulation

Hjulström-Diagramm (!)



S. Earle, 2014



- Aufgrund unterschiedlicher Kornformen und Sortierung ist **Grenzgeschwindigkeit** ein Band
- **Mittelsand** ist leicht erodierbar
- Ton ist aufgrund hoher **Kohäsion** schlecht erodierbar

Fluviale Formungsprozesse

Belastungsverhältnis

$$B = L / S$$

B =: Belastungsverhältnis
L =: Masse der Last
S =: Schleppkraft

$$S = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

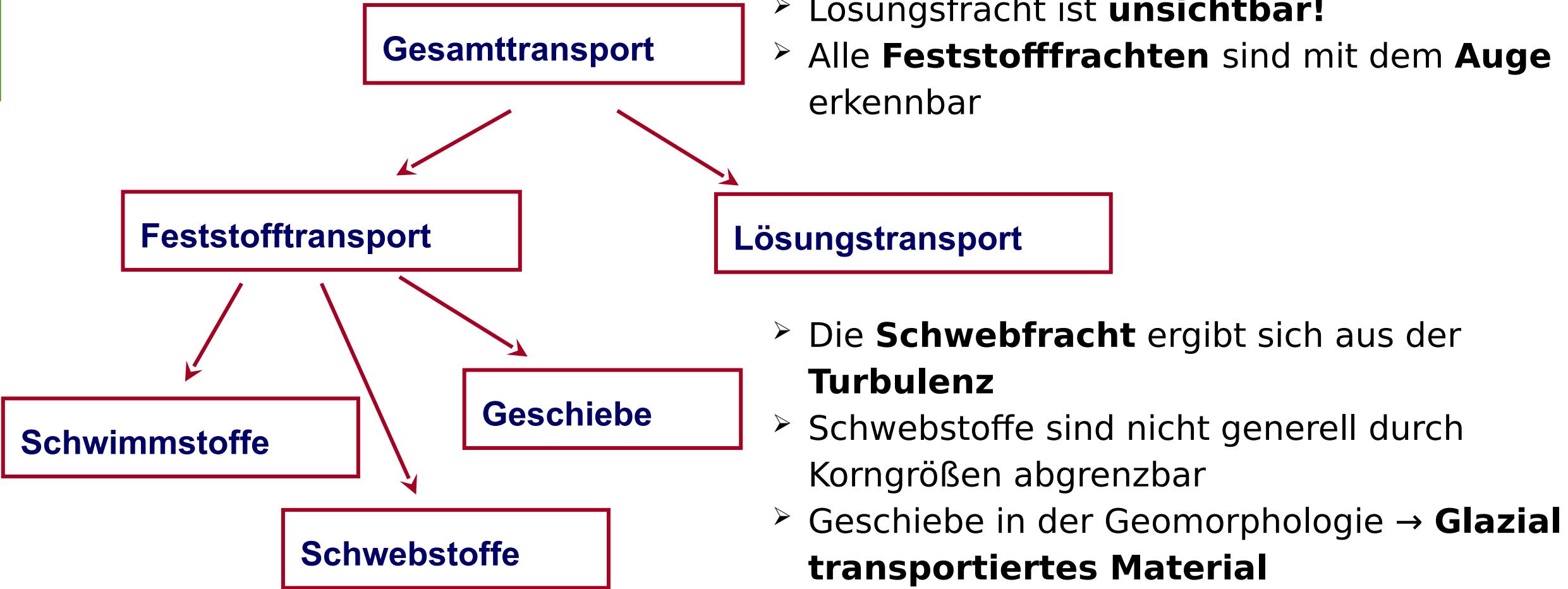
S =: Schleppkraft
m =: Masse des Wassers
v =: Fließgeschwindigkeit

$B > 1 \rightarrow$ Akkumulation/Sedimentation

$B < 1 \rightarrow$ mögliche Erosion/Denudation

Fluviale Formungsprozesse

Stofftransportarten



Betrifft alle Stoffe (organisch und minерogen (anorganisch))!

Fluviale Formungsprozesse

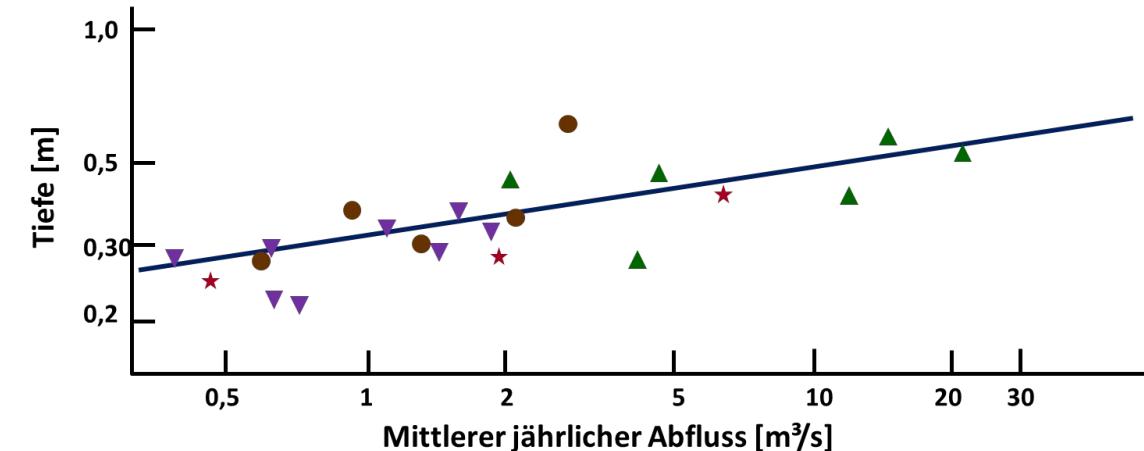
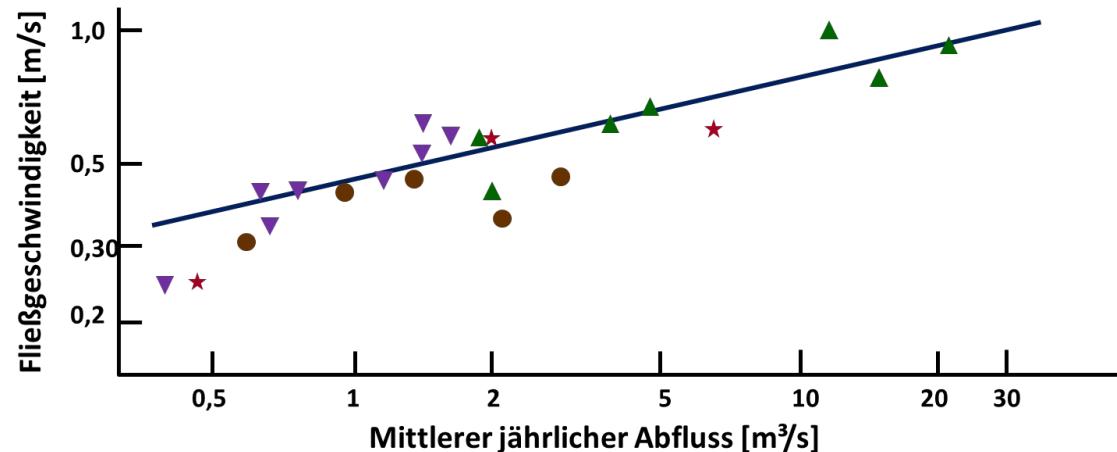
Flüsse: Laufmuster/Grundrisstypen

- Im Grundriss sind verschiedene **Laufmuster** von Flüssen unterscheidbar
- **1. Gewundene Laufmuster (Mäander)** bei geringem Gefälle
- **2. Verzweigte Laufmuster** bei hoher Feststoffführung
- **3. Geradliniger gestreckter Verlauf** bei steilem Gefälle im Gebirge

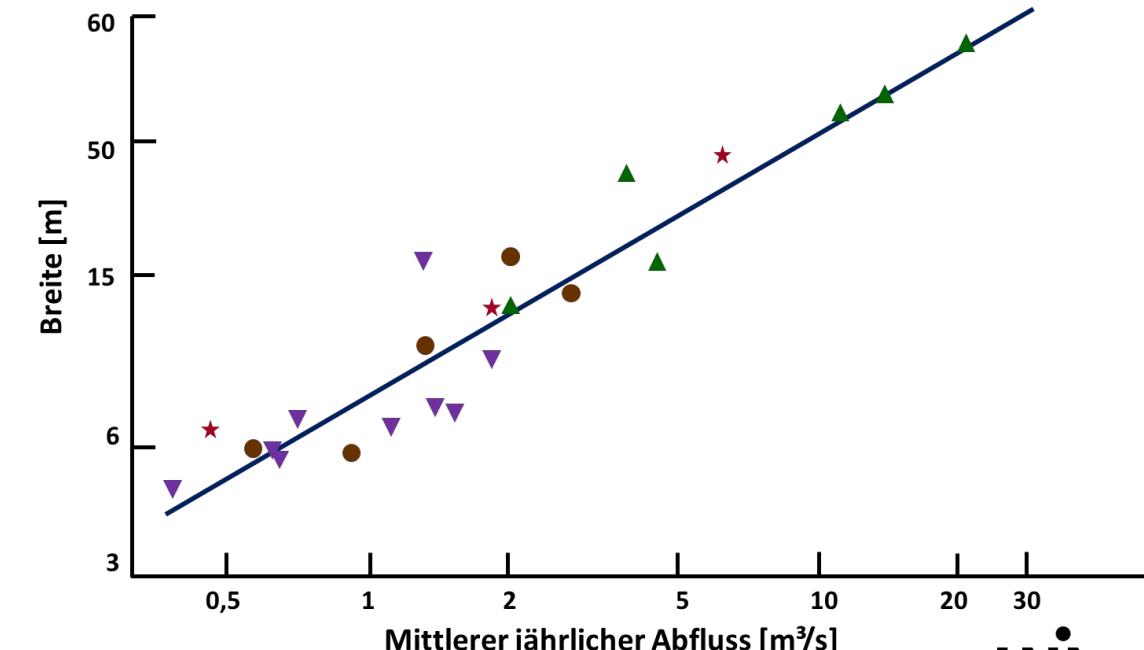


Fluviale Formungsprozesse

Hydraulische Geometrie von Gewässern



- Geometrische Eigenschaften von Flüssen ändern sich regelhaft → **hydraulische Geometrie**
- Abfluss als wesentliche steuernde Größe



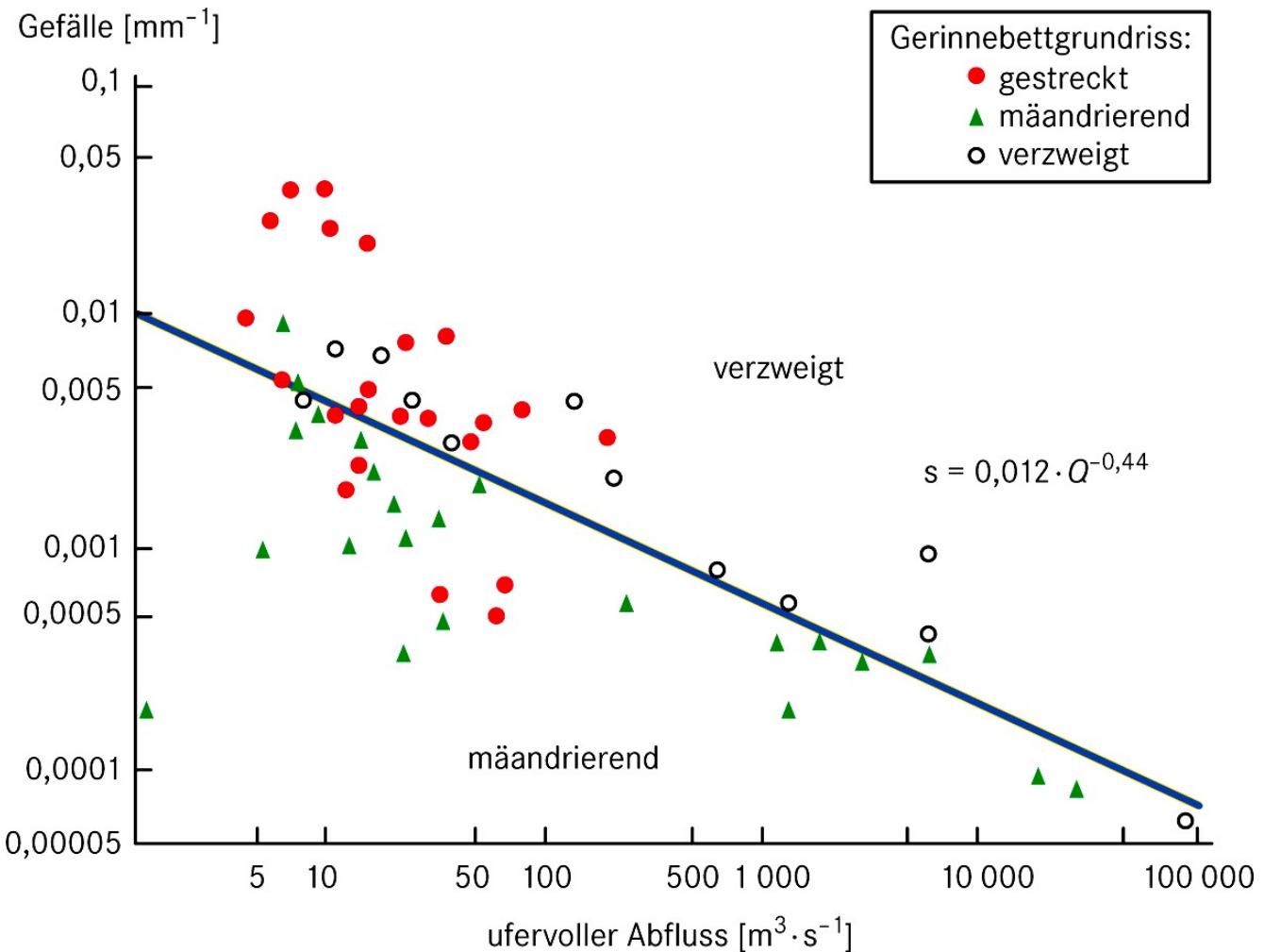
Fluviale Formungsprozesse

Hydraulische Geometrie von Gewässern

Abfluss und Gefälle als
wesentliche steuernde Größen
für **Laufmuster**

1 mm/m

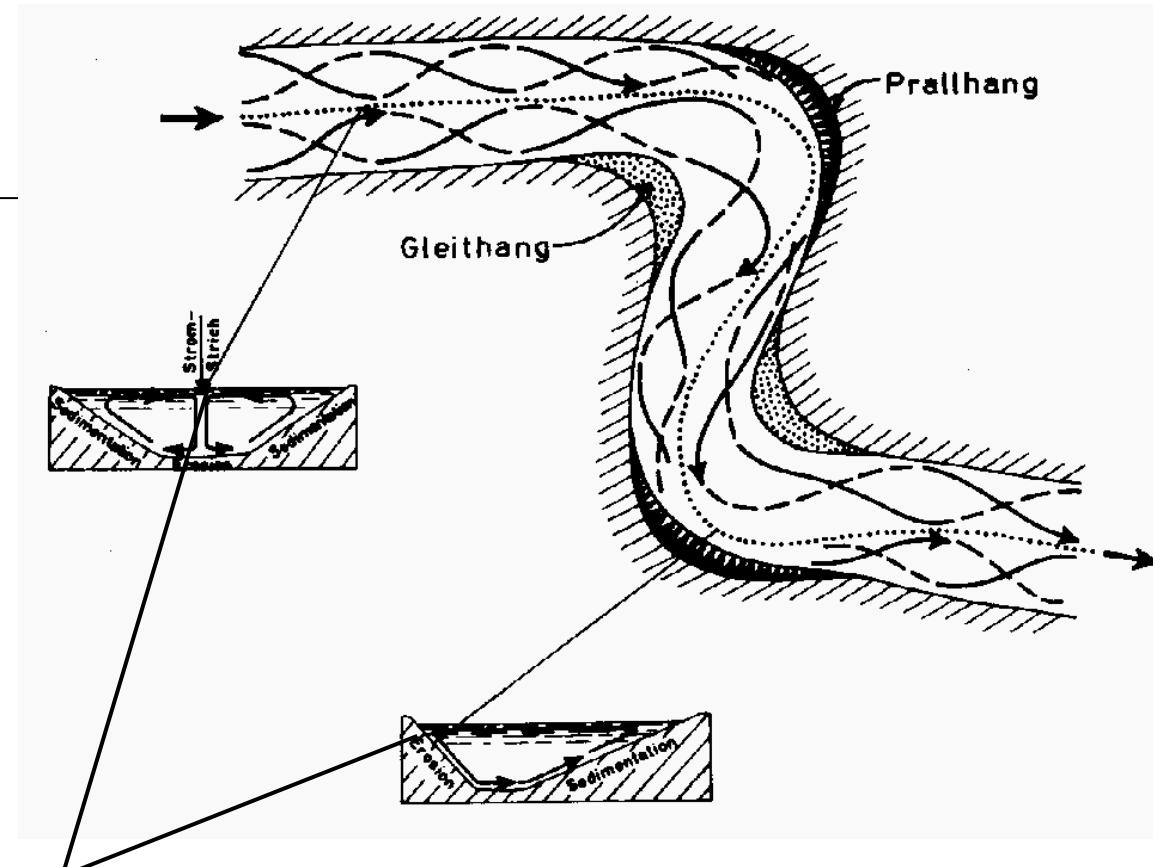
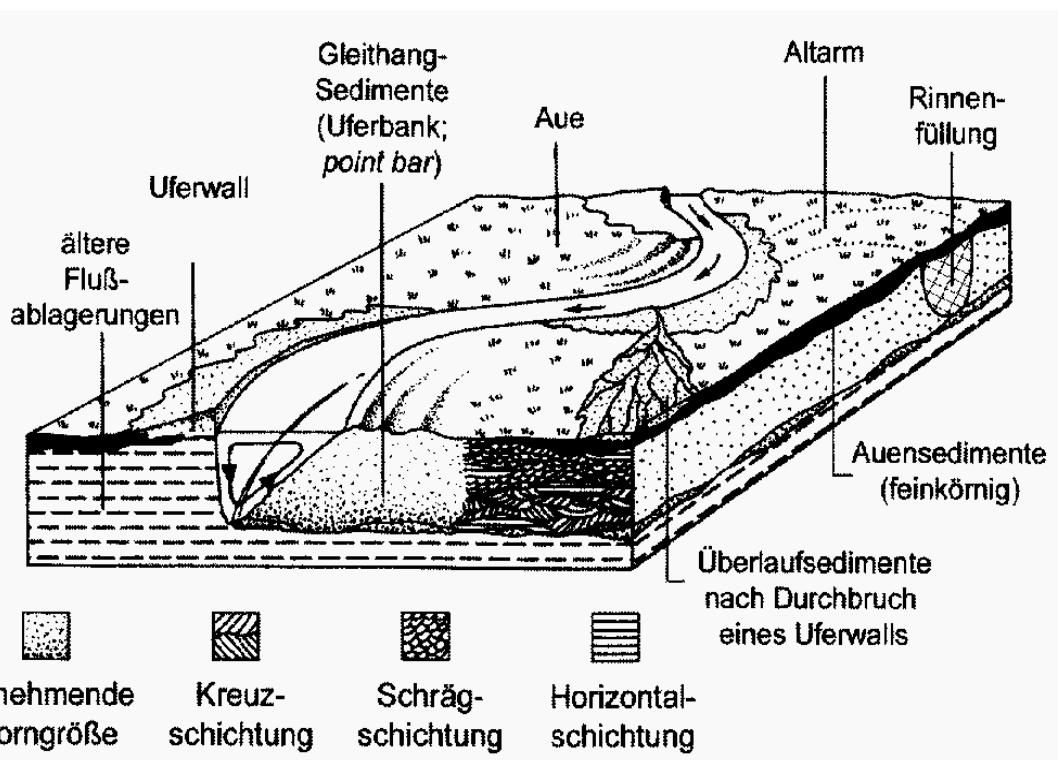
Amazonas
0.05 mm/m



Fluviale Formungsprozesse

Gewässer - Laufmuster

- Im **mäandrierenden Fluss** pendelt der **Stromstrich**
- Durch **Massenträgheit** ergeben sich Prall- und Gleithänge

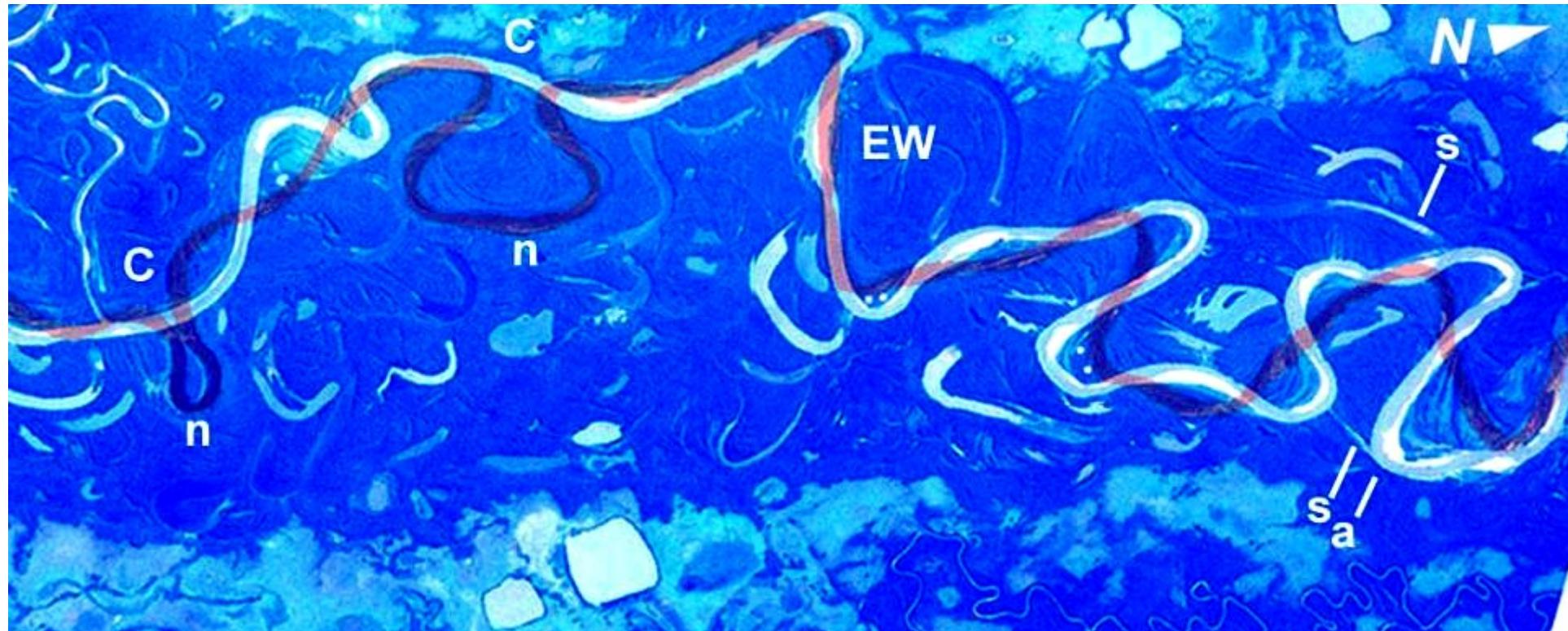


Stromstrich

- Am **Prallhang** erfolgt Erosion
- Am **Gleithang** Akkumulation
- Als Folge **wandern** die Mäander

Fluviale Formungsprozesse

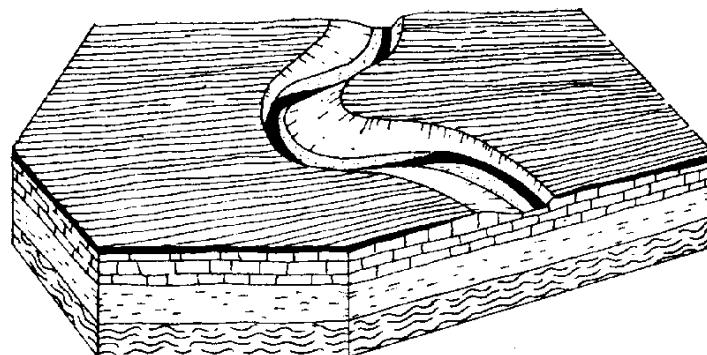
Gewässer - Mäanderflüsse



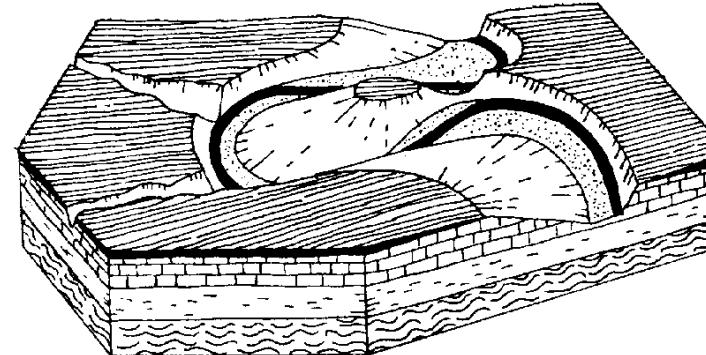
Flussabwärtige Verlagerung von Mäandern im Laufe der Zeit am Beispiel des Rio Mamore River in Bolivien (NASA 2003)

Fluviale Formungsprozesse

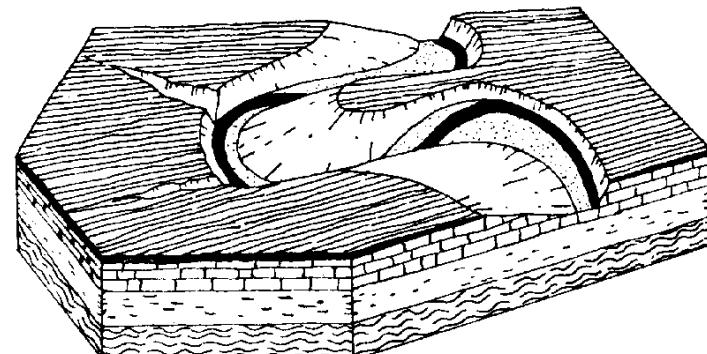
Gewässer - Talmäander → Umlaufberge



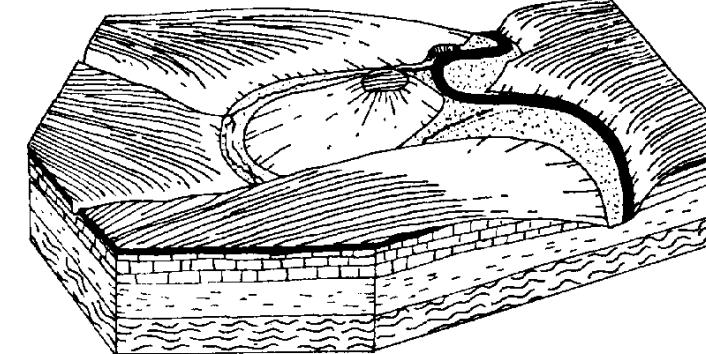
a)



c)



b)



d)

(Richter 1980, S. 89)



Unterschied: Talmäander versus Flussmäander

Fluviale Formungsprozesse

Gewässer - verzweigte Laufmuster

Unterscheidung:
Braided River
(Flußverwilderung)
vs.
dauerhafte
Flußverzweigung



Viel grobes
Frachtmaterial

stark schwankende
Wasserführung

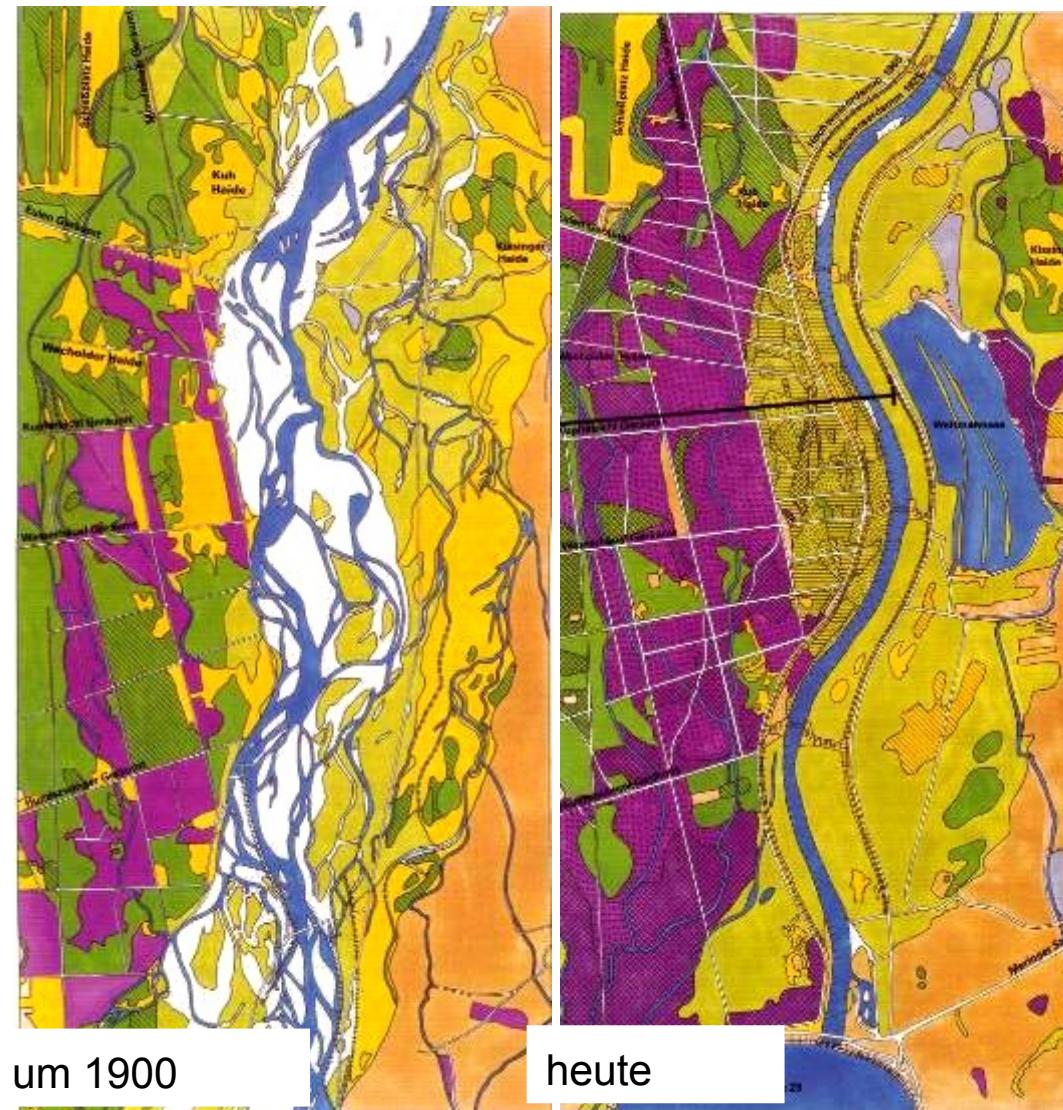
bei geringerer
Wasserführung:
steiles Sohlgefälle

→ Belastungs-
verhältnis oszilliert
um 1

Fluviale Formungsprozesse

Gewässer - verzweigte Laufmuster

Lechverbauung



- Durch vielfältige Maßnahmen hat der **Mensch** in die Flusssysteme eingegriffen
- Die verzweigten Flüsse gibt es heute kaum noch
- Durch **Staustufen** kommt es zum Rückhalt der Feststoffe
- Als Folge **tiefen sich die Flüsse ein**
- Es erfolgt die Ausbildung eines **festgelegten Gerinnebettes**

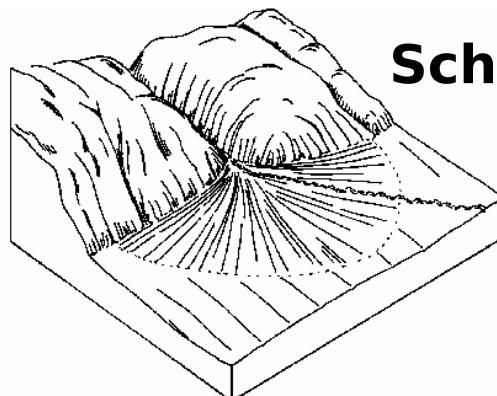
Fluviale Formungsprozesse

Gewässer - Sedimentation

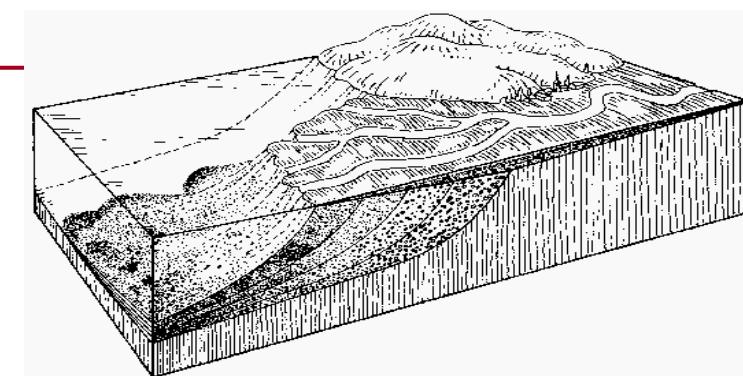
Sedimentation findet statt, wenn die **Fließgeschwindigkeit** für den Transport nicht ausreicht oder die Masse der Last zu hoch ist. => $BV > 1$

Ursachen für Fließgeschwindigkeitsabnahme:

- Verringertes **Gefälle**
- **Aufweitung** des Gerinnes
- **Mündung** in ein stehendes Gewässer
- Abnahme des **Abflusses**



Schwemmfächer



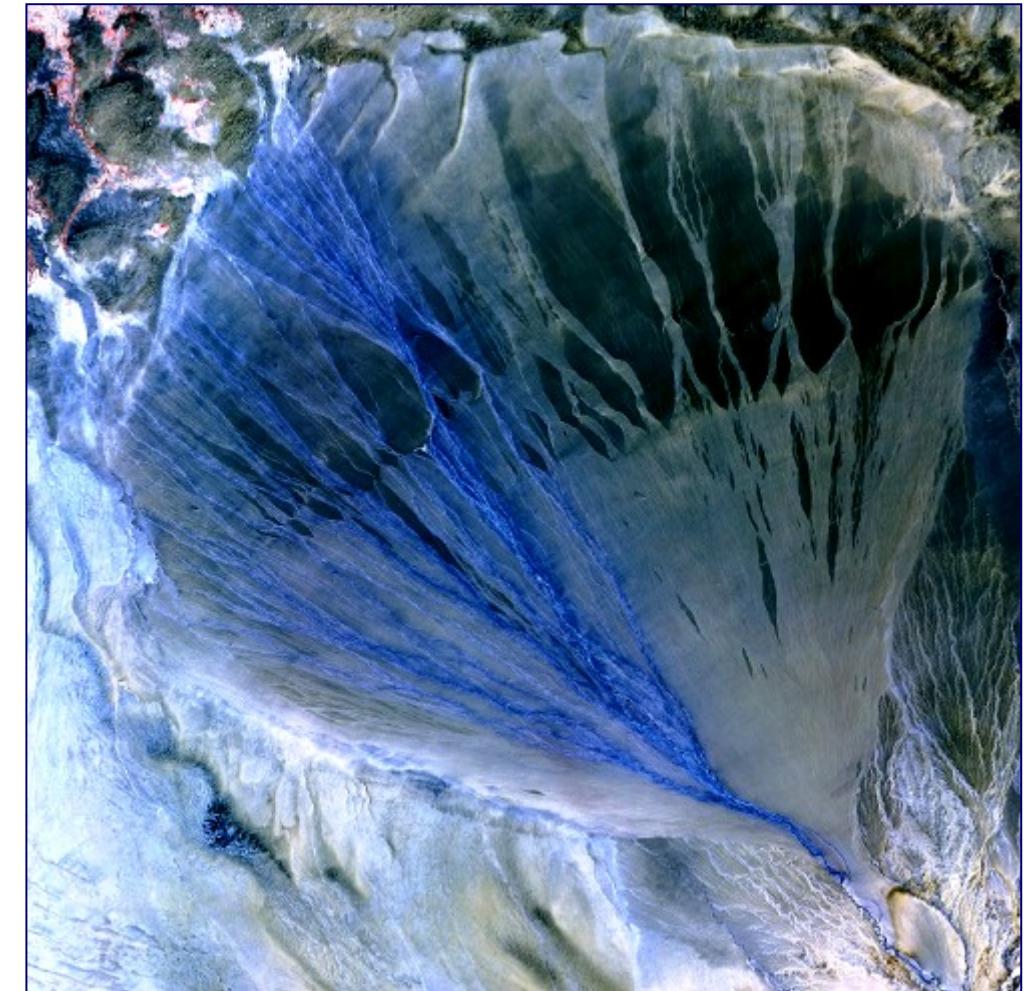
Deltas

$$Q = v \cdot A$$

mit: Q = Abfluss [m^3/s]
v = Fließgeschwindigkeit [m/s]
A = Fließquerschnitt [m^2]

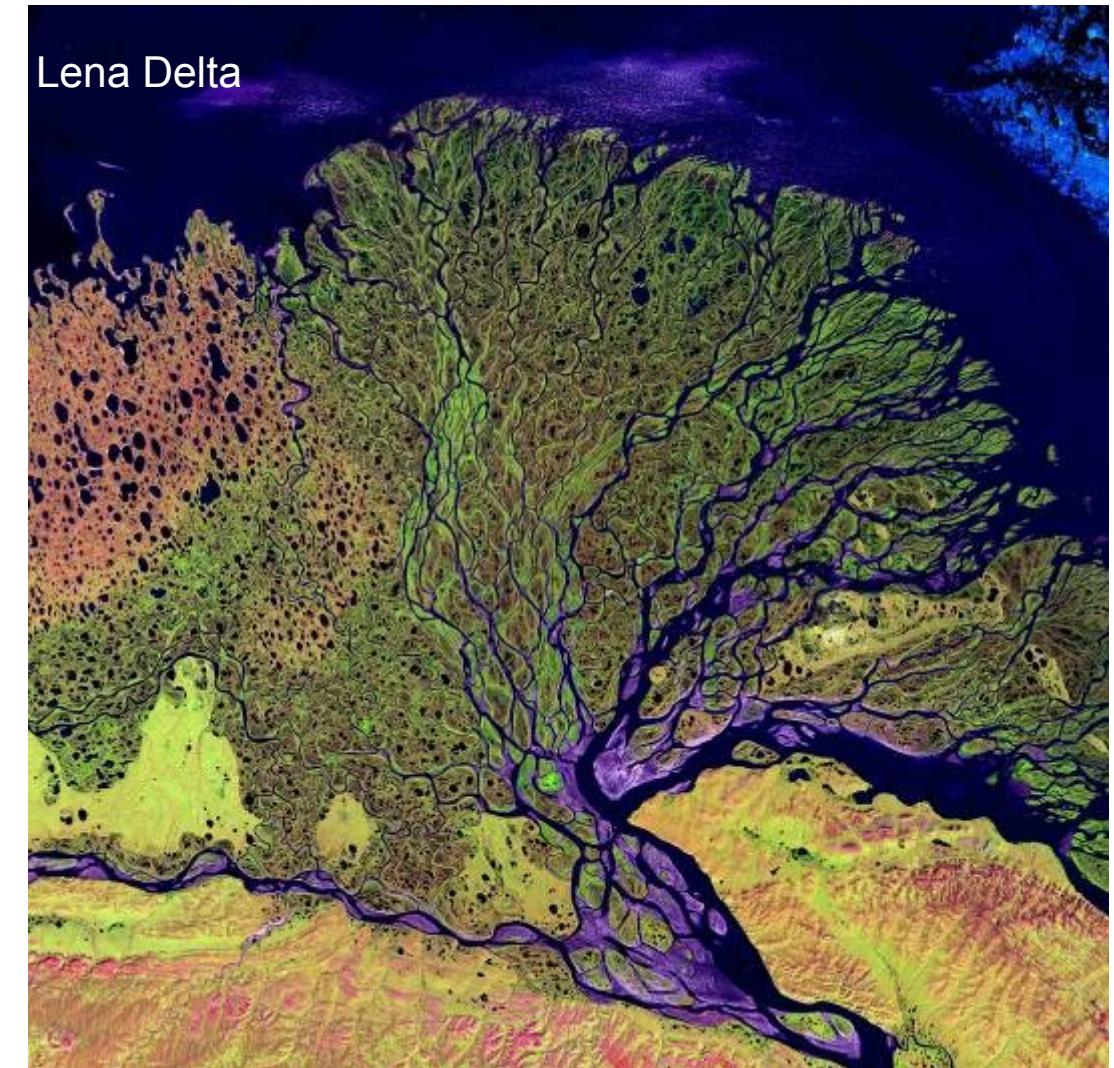
Fluviale Formungsprozesse

Schwemmfächer



Fluviale Formungsprozesse

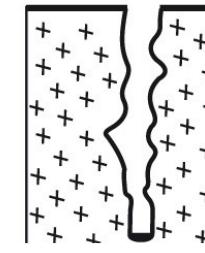
Flussdeltas



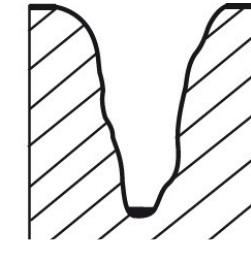
Fluviale Formungsprozesse

Die Talformen

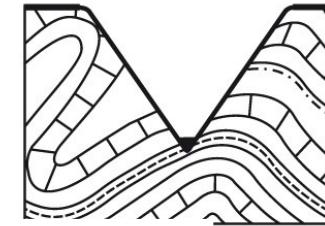
- Verhältnis von **Erosion zu Denudation** Ursache für Talquerschnitte
- Rasche Erosion → steile Talhänge
- Erosion < Denudation → flache Talquerschnitte
- Steile Talhänge oft bei junger Hebung → **Hochgebirge**
- Flache Täler oft auf **alten Landoberflächen** → Afrika



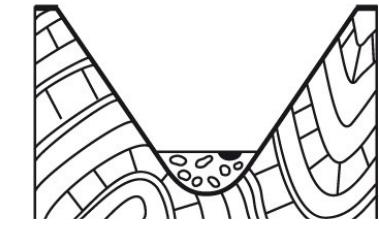
Klamm



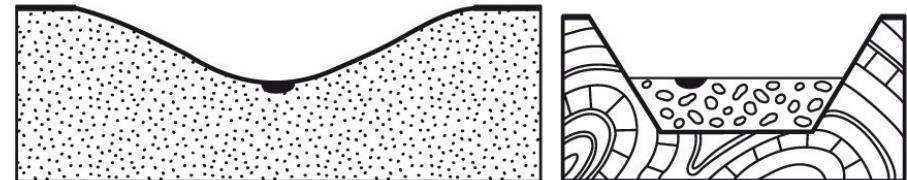
Schlucht



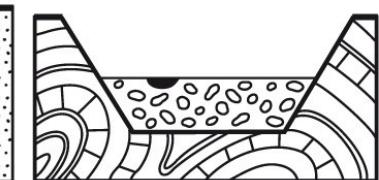
Kerbtal



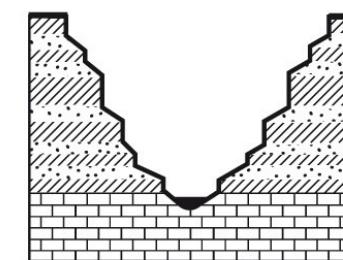
Sohlenkerbtal



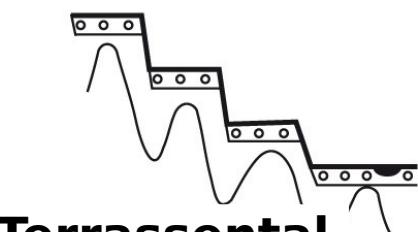
Muldental



Sohlental



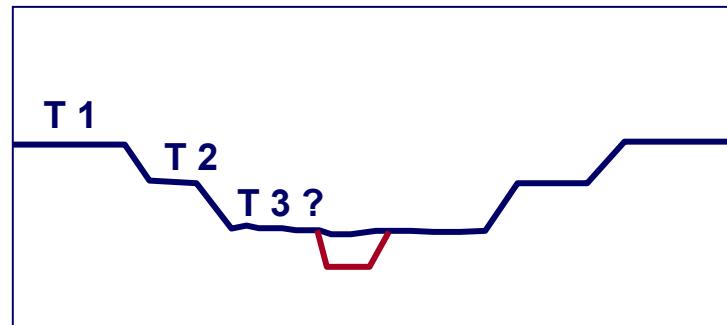
Canyon



Terrassental
halbseitig

Fluviale Formungsprozesse

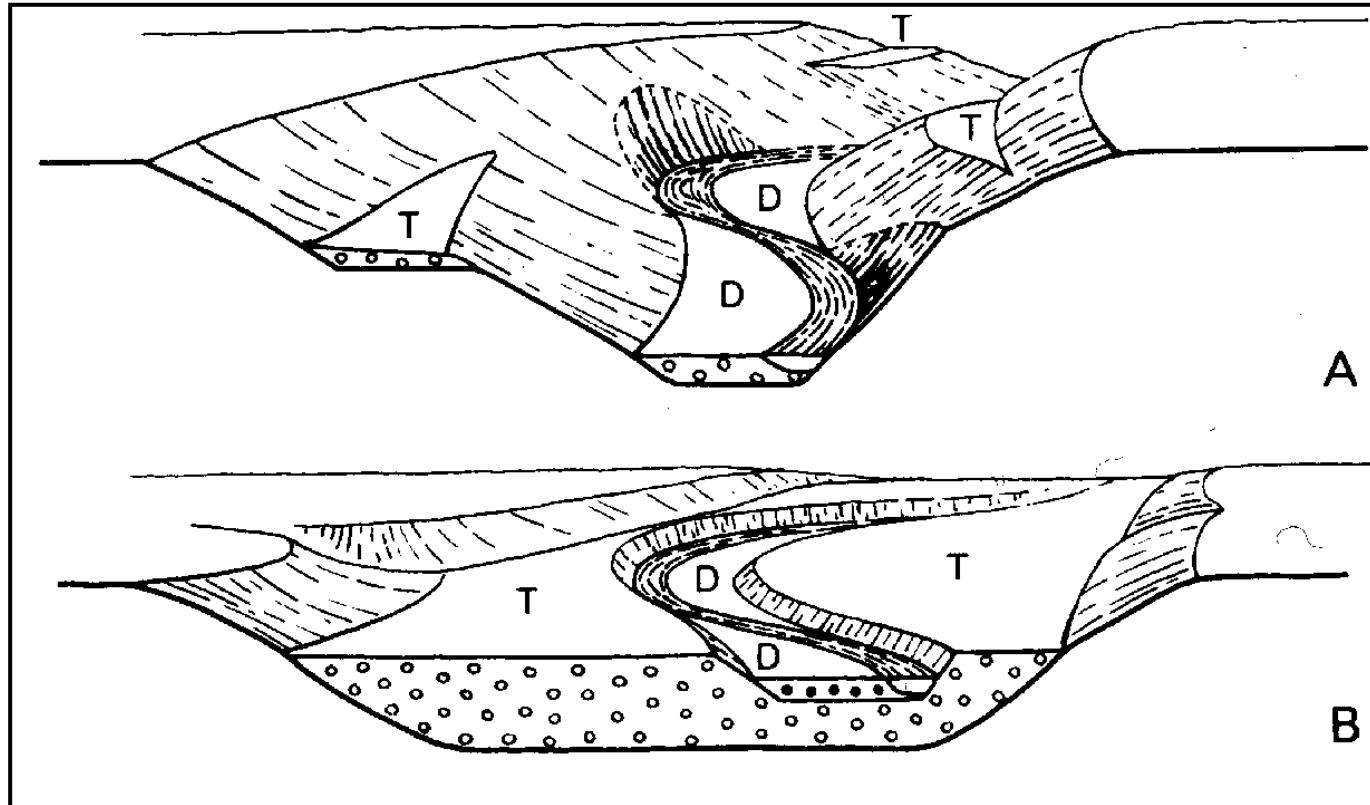
Fluss - Terrassen



- **Flussterrassen sind Verebnungen** entlang von Flüssen
- Terrassen entstehen durch **Aufschüttung** und / oder **Einschneidung**
- Ursache für Wechsel von Sedimentation und Erosion **klimatisch**
- Ursache für Erosion oft **tektonisch**

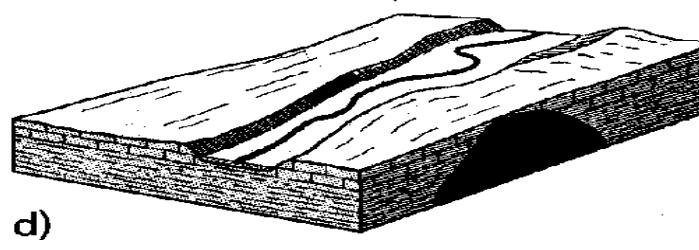
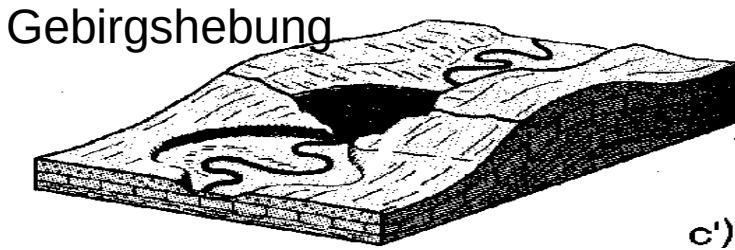
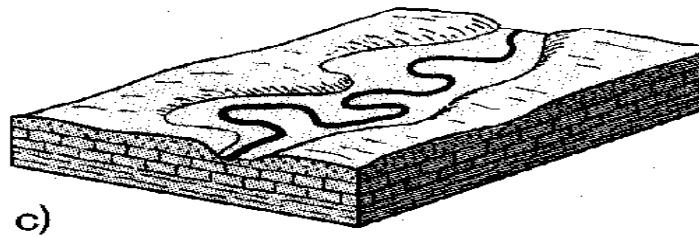
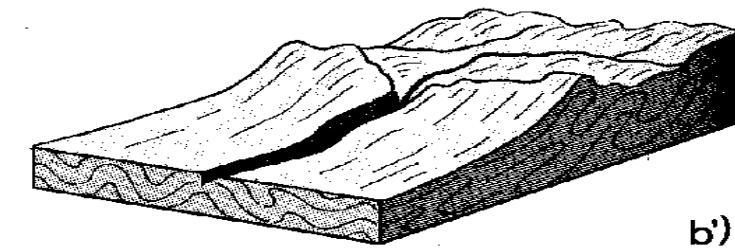
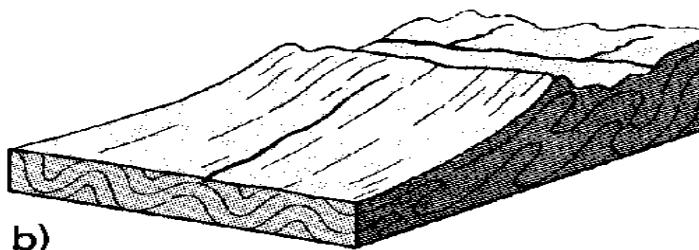
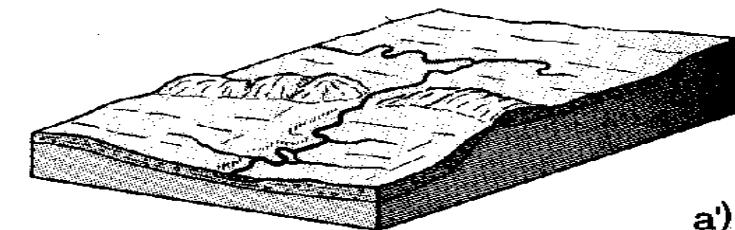
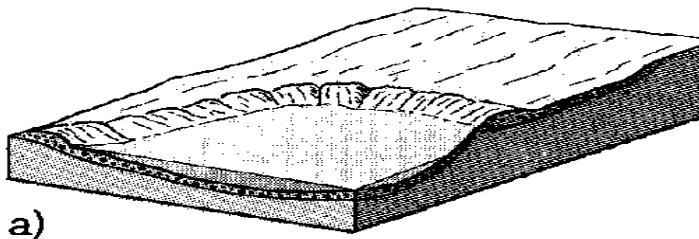
Fluviale Formungsprozesse

Gewässer - hydraulische Geometrie



Die Entstehung von Flussterrassen. A) Terrassen durch Erosion, B) Terrassen durch den Wechsel von Erosion und Akkumulation (Pannekoek, 1976, S. 276)

Fluvial



A → A') Überlaufstal
z.B. an Zungenbecken

B → B') Regressionstal mit
Anzapfung

C → C') antezedenter
Durchbruch

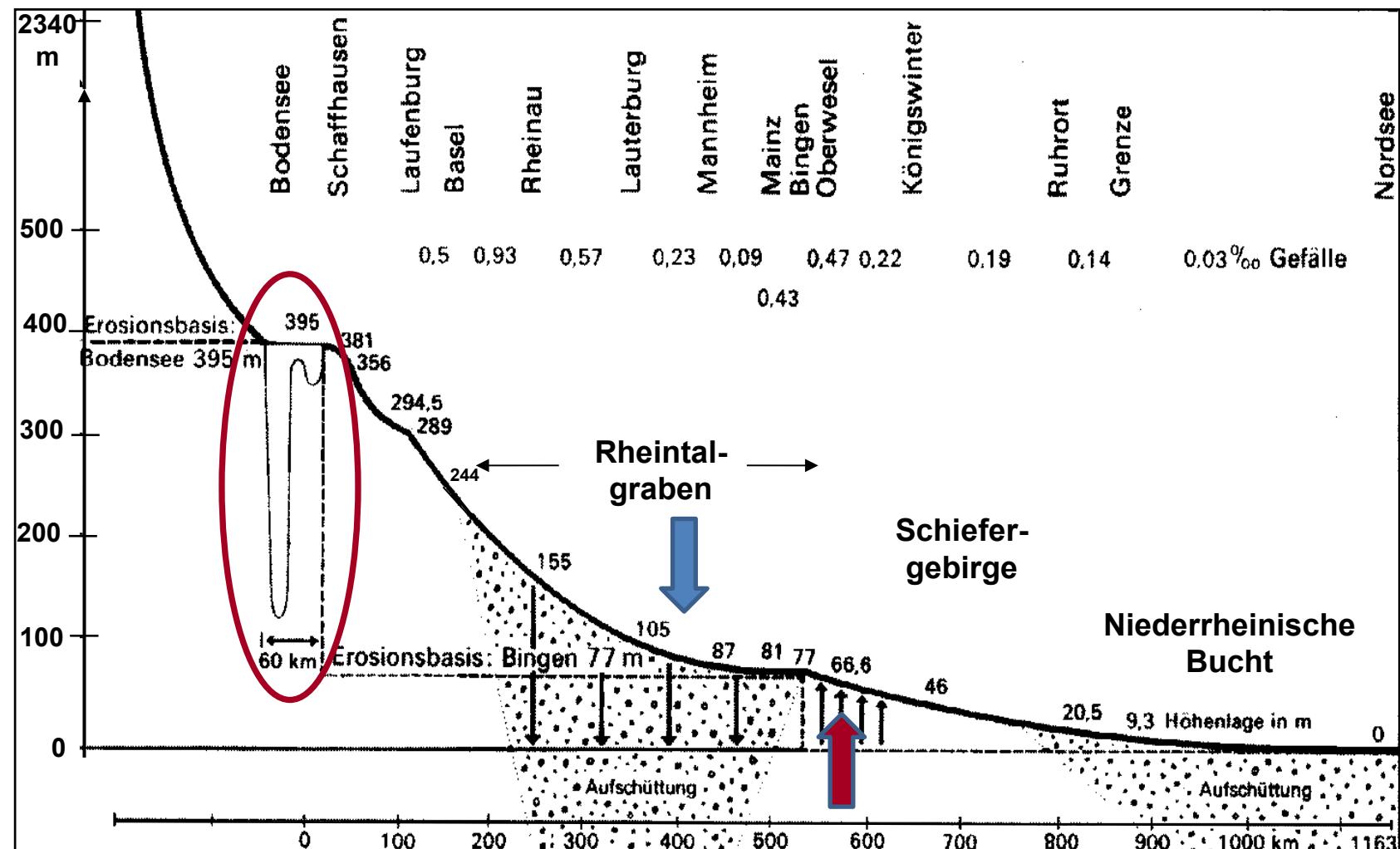
D → D') epigenetischer
Durchbruch

Fluviale Formungsprozesse

Täler - Längsprofil

Die Gefällekurve des Rheins als Resultat von Erosion, Akkumulation und Hebung

→ Konzept des **Ausgleichsgefälles**
(Zepp 2003, S. 155)



Fluviale Formungsprozesse

Zusammenfassung

