Numerische Modellierung von geomorphologischen Prozessen

Michael Dietze

GFZ German Research Centre for Geosciences, Section 5.1 Geomorphology

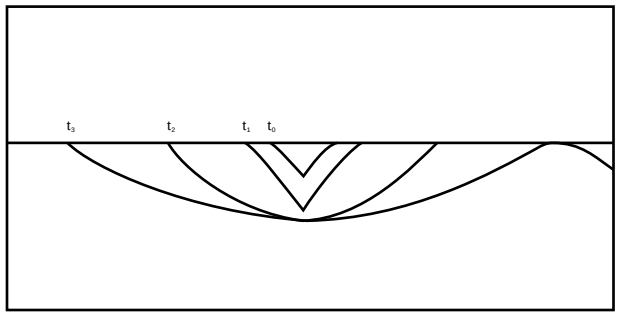
Numerische Modellierung von geomorphologischen Prozessen

Michael Dietze

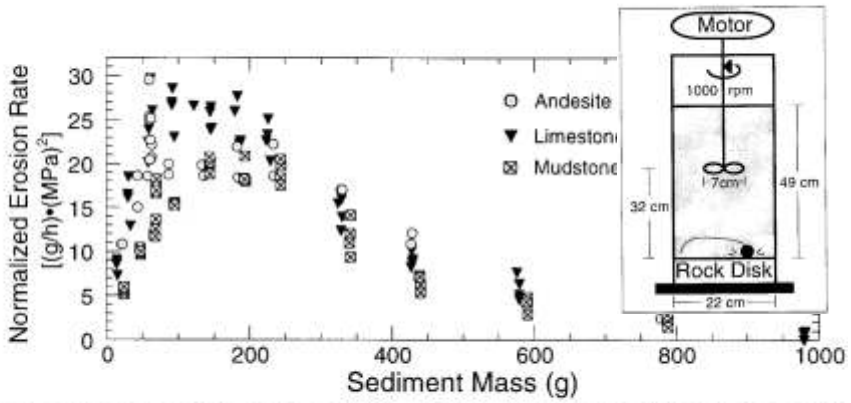
GFZ German Research Centre for Geosciences, Section 5.1 Geomorphology

Typen

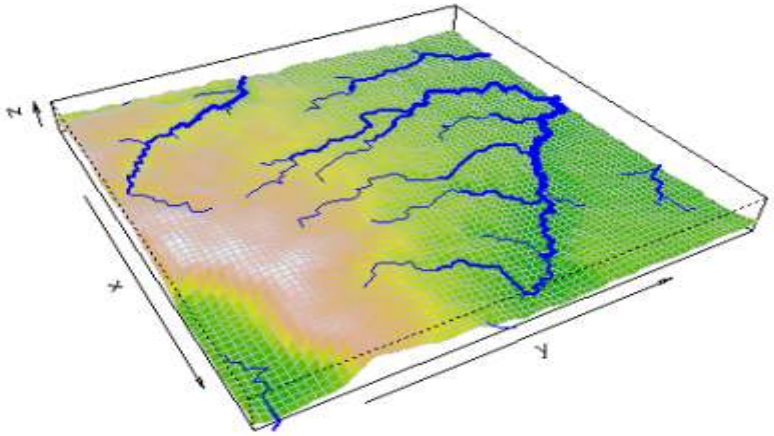
qualitativ	physikalisch/experimentell	numerisch



nach Carson & Kirkby (1972)



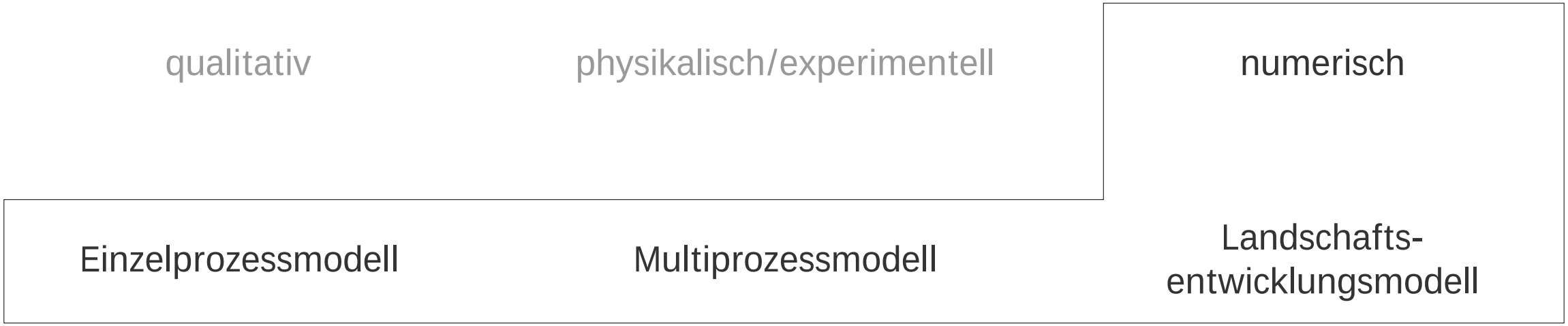
Sklar & Dietrich (2001)



eigene Darstellung

nach Pazzaglia (2003)

Typen



z.T. nach Pazzaglia (2003)

Zweck numerischer Prozessmodellierung

Untersuchung langzeitlich bedeutsamer Prozesse	
Quantifizierung von Prozessen und Unsicherheiten	explorativ
Sedimentbudgetierung	
Testen geomorphologischer Hypothesen	erklärend
Abschätzung von (zukünftigen) Szenarios	
Verknüpfung von rezenter und vergangener Dynamik	prognostisch
Untersuchung von Prozessinteraktionen/kopplungen	
“Unabhängiger” Erklärungsansatz	interpolierend
Raum-zeitliche Interpolation	

z.T. nach van de Wiel

Eine Vielzahl von Modellen und Anwendungsbereichen

Wassererosion
Takken et al. (1999)

Verwitterung
Heimsath et al. (1997)

Frostverwitterung
Williams & Robinson (2001)

Bodenkriechen
Minasny & McBratney (2006)

Pflugerosion
Heuvelink et al. (2006)

Gletscherfließen
Egholm et al. (2012)

Winderosion
Okin et al. (2006)

Dünenbildung
Baas (2007)

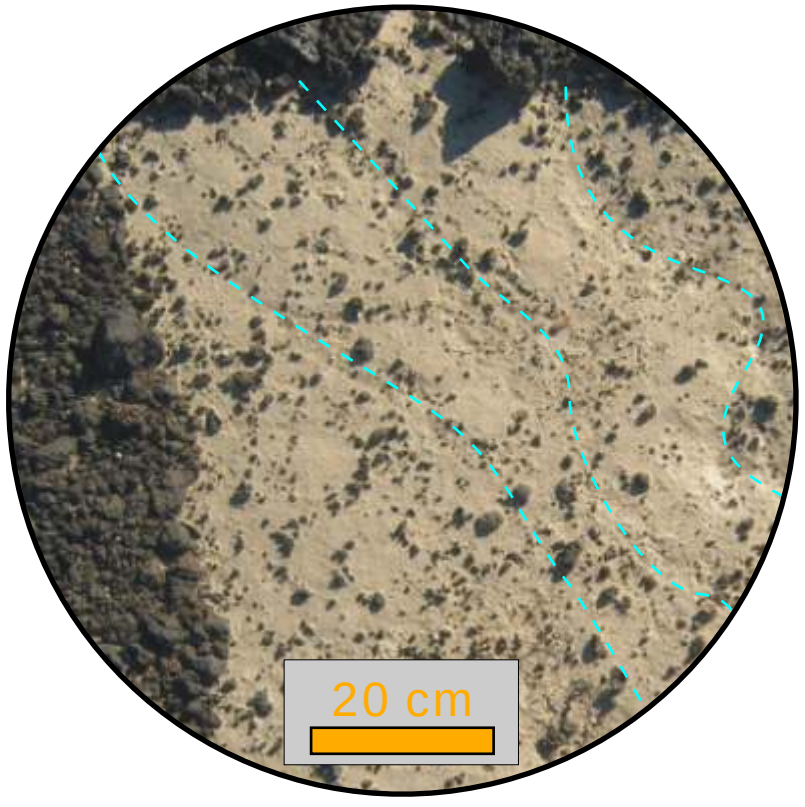
Rutschungen
Claessens et al. (2007)

Solifluktion
Matsuoka et al. (2005)

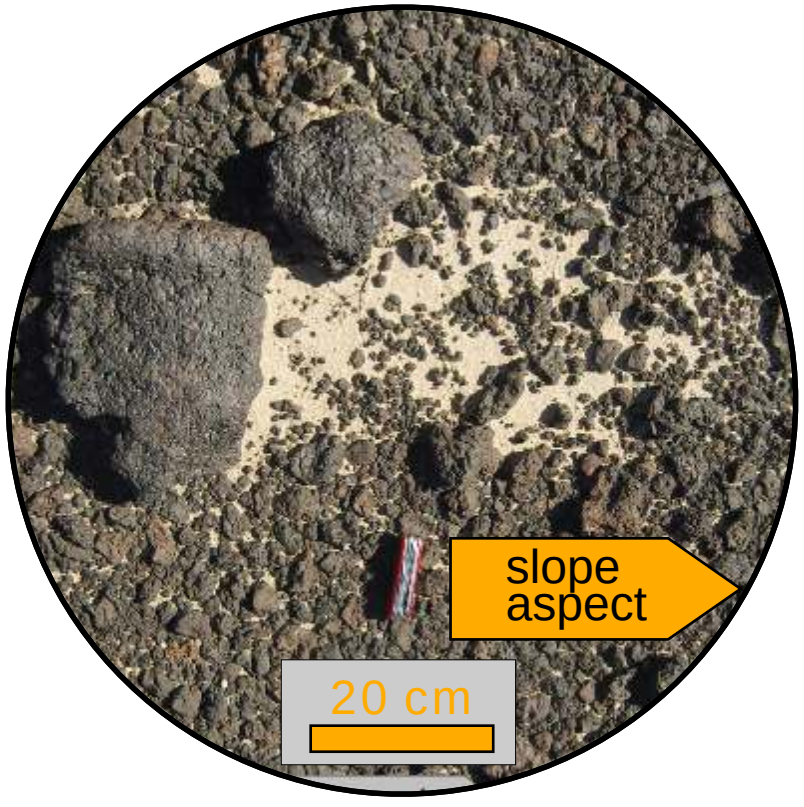
Dynamik von Steinpflastern in ariden Gebieten

$\phi = 40 \pm 14\ °$

Steinpflaster mit präferentieller Einregelung

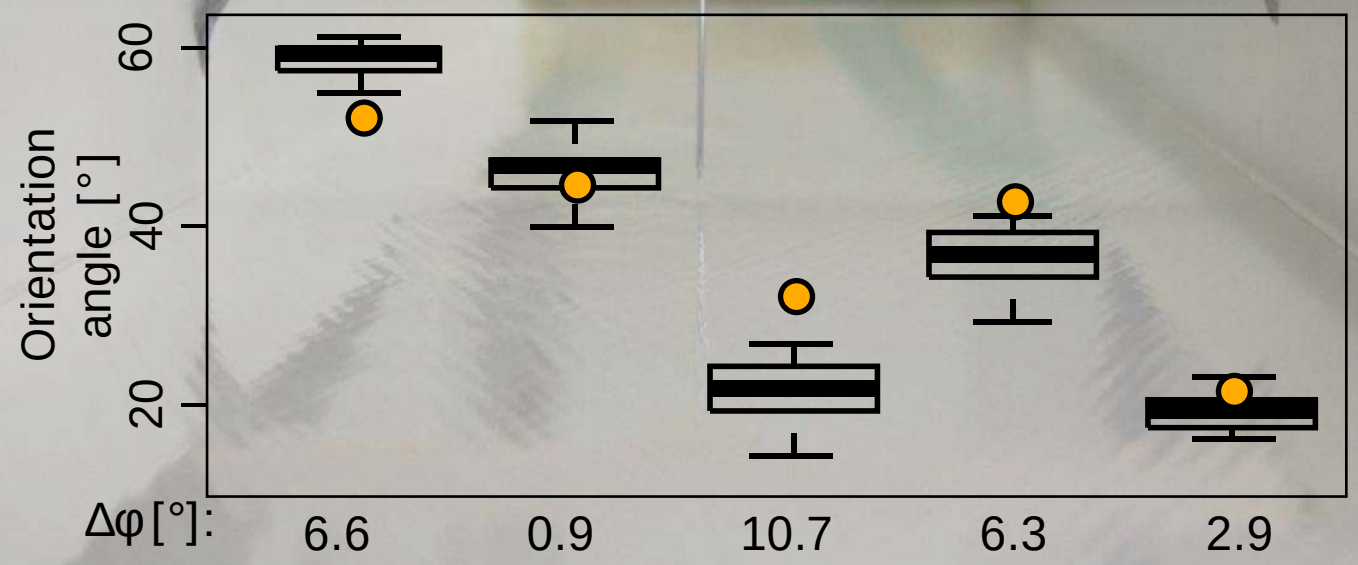


Laterale Wiederbedeckung von gestörten Flächen



Fehlende Bedeckung hinter Hindernissen

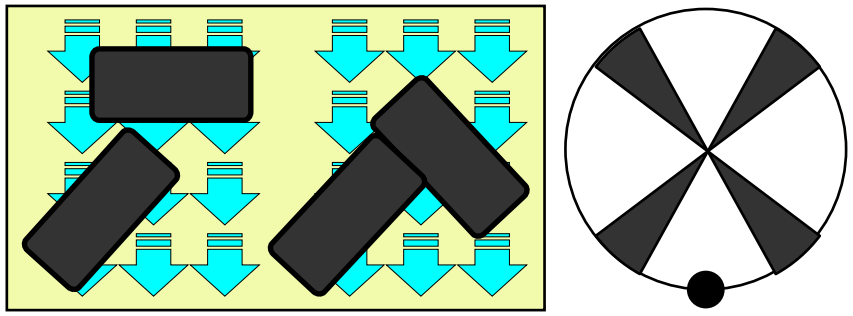
Laborexperimente zum Einregelungsmuster



Konzeptionelles und numerisches Modell

Randbedingungen

- Ebener, feinkörniger Untergrund
- Transport durch Wasser
- Rotation nach Kollision



Schubkraft $F_A = F_R$ Reibungskraft

Konzeptionelles und numerisches Modell

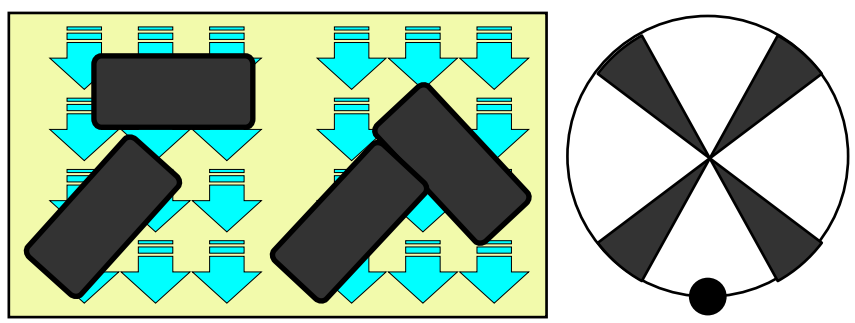
Randbedingungen

- Ebener, feinkörniger Untergrund
- Transport durch Wasser
- Rotation nach Kollision

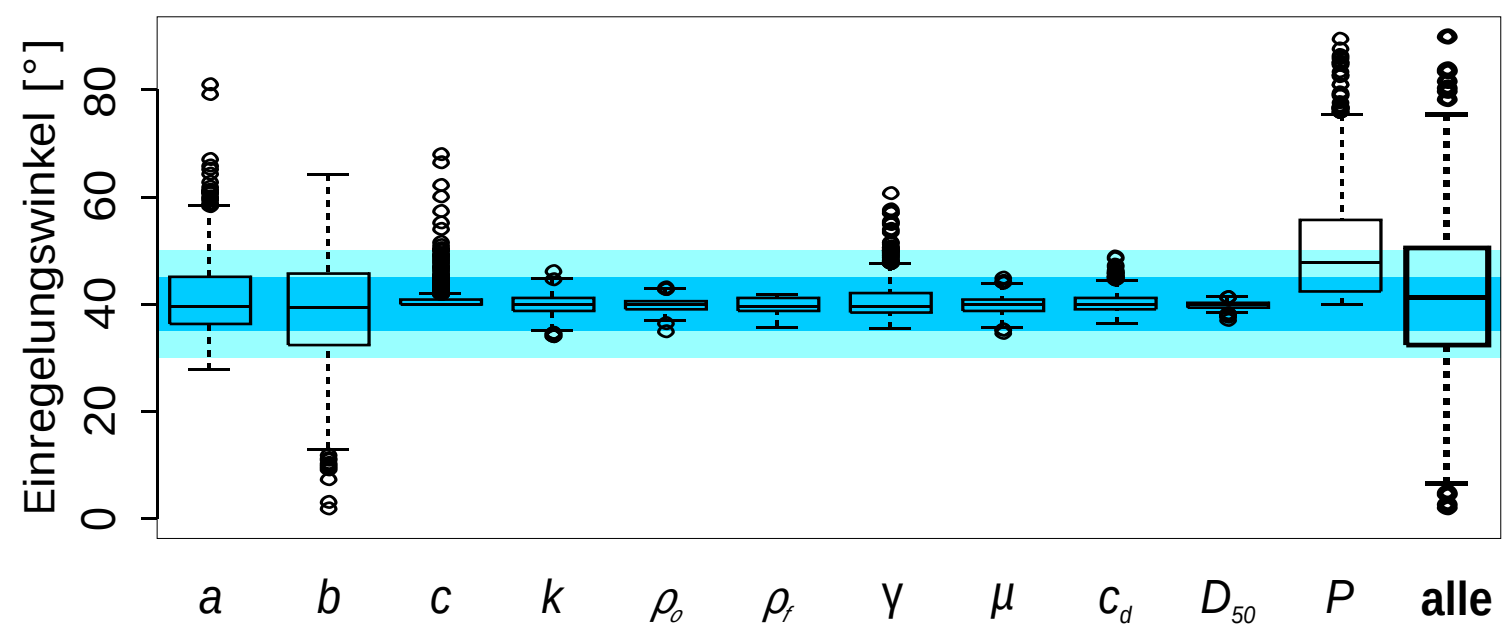
$$\frac{1}{2}\cdot\rho_W\cdot C_f\cdot\bar{v}_O^{\,2}\cdot A_O=F_A$$

$$F_R=V_O\cdot g\cdot(\rho_O-\rho_W)\cdot\cos(\gamma)\cdot\mu$$

$$\phi=\arccos\left(\frac{2\cdot V_o\cdot g\cdot(\rho_o-\rho_w)\cdot\cos(\gamma)\cdot\mu}{\rho_w\cdot\bar{v}^2\cdot C_w\cdot c\cdot\sqrt{a^2+b^2}}\right)-\arctan\left(\frac{b}{a}\right)$$



Schubkraft $F_A=F_R$ Reibungskraft



Modellparameter

Dietze et al. (2013)

Numerische Multi-Prozess-Modelle

EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS
Earth Surf. Process. Landforms **38**, 299–316 (2013)
Copyright © 2012 John Wiley & Sons, Ltd.
Published online 18 October 2012 in Wiley Online Library
(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/esp.3330

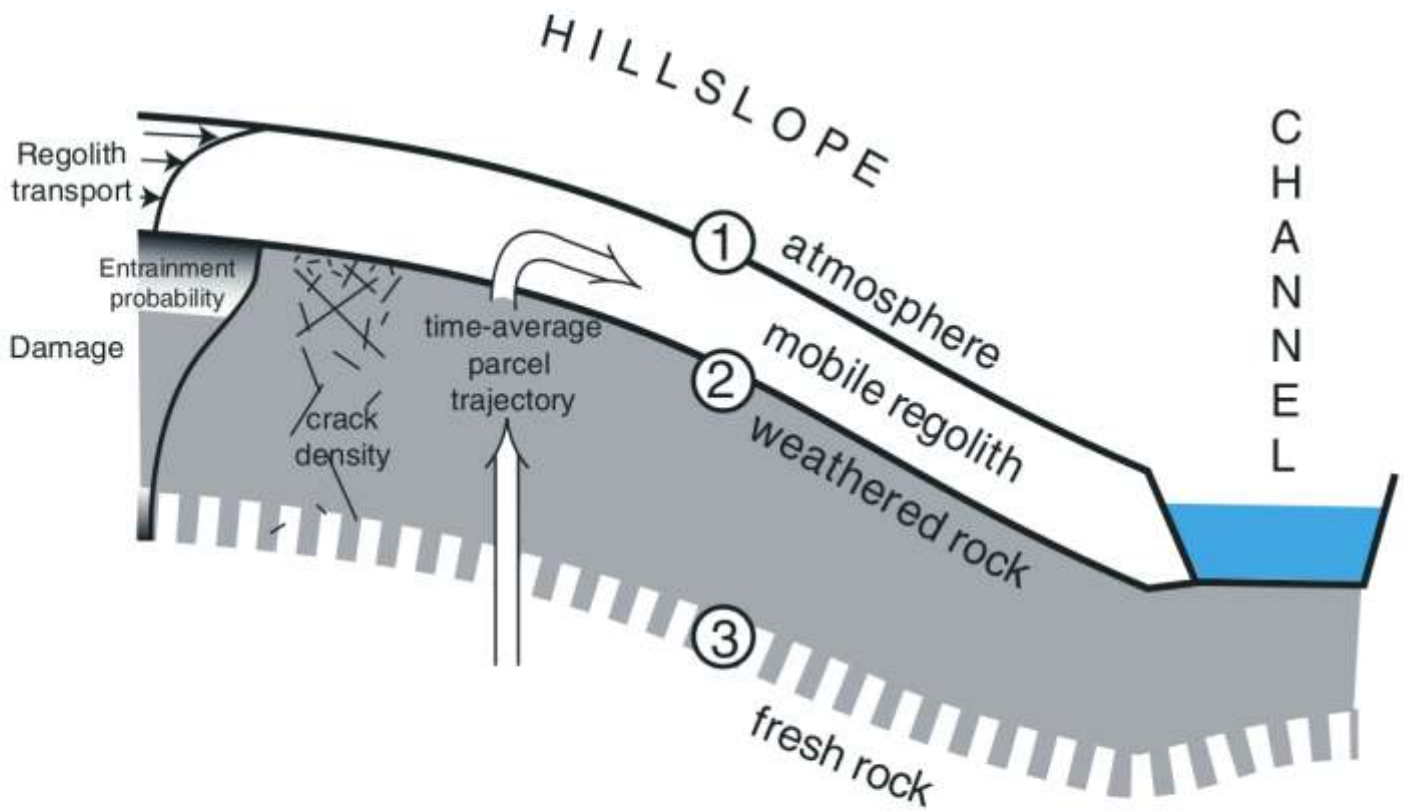
Rock damage and regolith transport by frost: an example of climate modulation of the geomorphology of the critical zone

Robert S. Anderson,[1,2*] Suzanne P. Anderson[1,3] and Gregory E. Tucker[2,4]

Ein physikalisch basiertes prozessorientiertes Modell zur Entwicklung des oberflächennahen Untergrundes

Konzeptionelles Modell

Ein physikalisch basiertes prozessorientiertes Modell zur Entwicklung des oberflächennahen Untergrundes



Anderson et al. (2013)

Interaktion der Geokomponenten

Transformation von Festgestein in "Regolith"

Transportprozesse am Hang

Veränderung der Materialeigenschaften

Pfadabhängigkeit

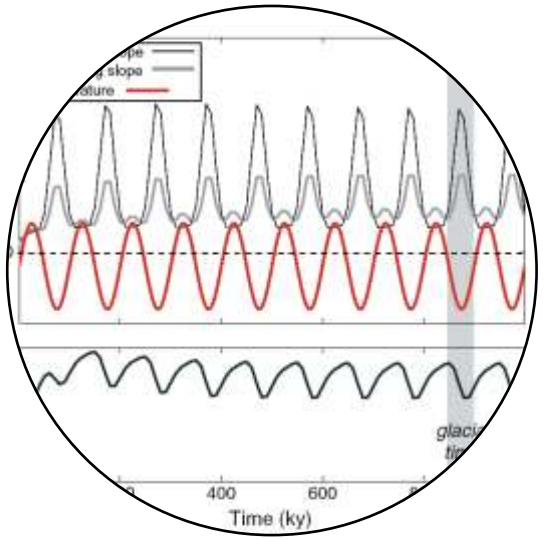
Vielschichtigkeit der Verwitterung

Unterschiedliche Zeitskalen

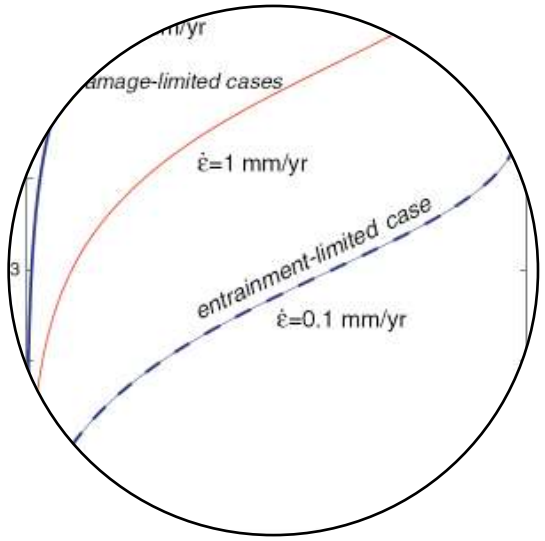
Numerisches Modell

Ein physikalisch basiertes prozessorientiertes Modell zur Entwicklung des oberflächennahen Untergrundes

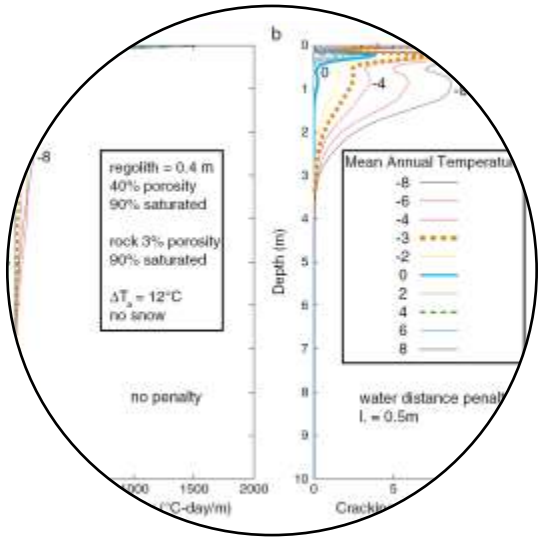
Klima/Temperatur



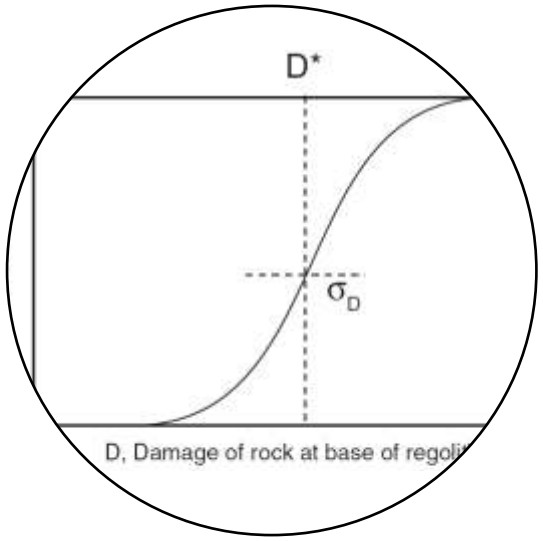
Materialveränderung



Frostsprengung



Hangprozesse



$$T_s = \bar{T}_s + \Delta T_a \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + \Delta T_d \sin\left(\frac{2\pi t}{1}\right)$$

$$\bar{T}_s(x,t) = \bar{T}_{s0} + \Delta T \sin(2\pi t/P) + a\frac{\partial z}{\partial x}$$

$$\dot{D} = \dot{D}_o e^{-(\dot{\varepsilon} t / z_{damage})}\left[1 - \frac{D}{D_{crit}}\right]$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{\rho c}\frac{\partial Q_h}{\partial z}$$

$$Q_h = -k\frac{\partial T}{\partial z}$$

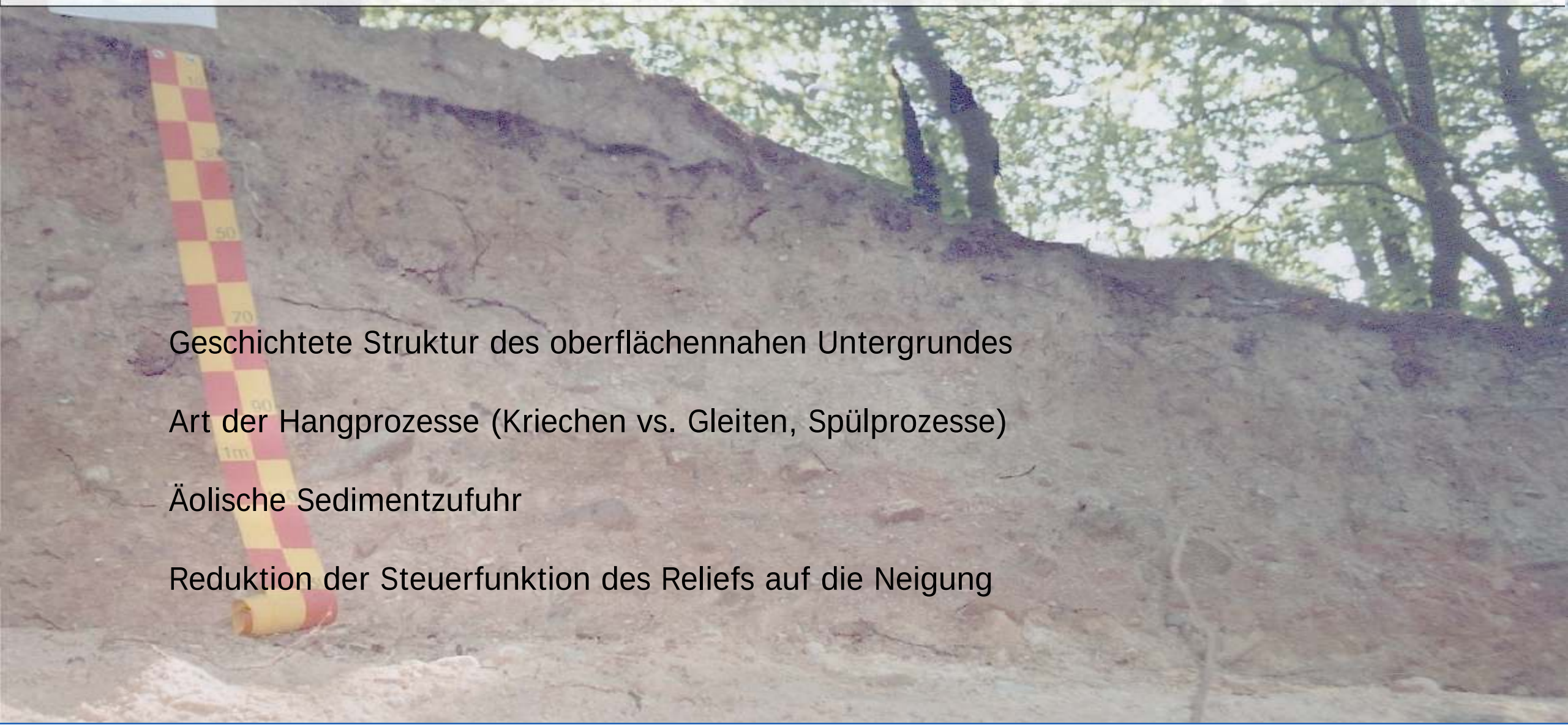
$$\dot{w} = \left(\dot{w}_0 e^{-H/H_*}\right)\frac{1}{2}\left[1 + \tanh\left(\frac{D - D_*}{\sigma_D}\right)\right]$$

$$Q = -\frac{1}{2} f \beta \zeta_*^2 \left[1 - e^{-H/\zeta_*}\left(1 + \frac{H}{\zeta_*}\right)\right]\frac{\partial z}{\partial x}$$

Anderson et al. (2013)

Adäquater Reduktionismus?

Ein physikalisch basiertes prozessorientiertes Modell zur Entwicklung des oberflächennahen Untergrundes



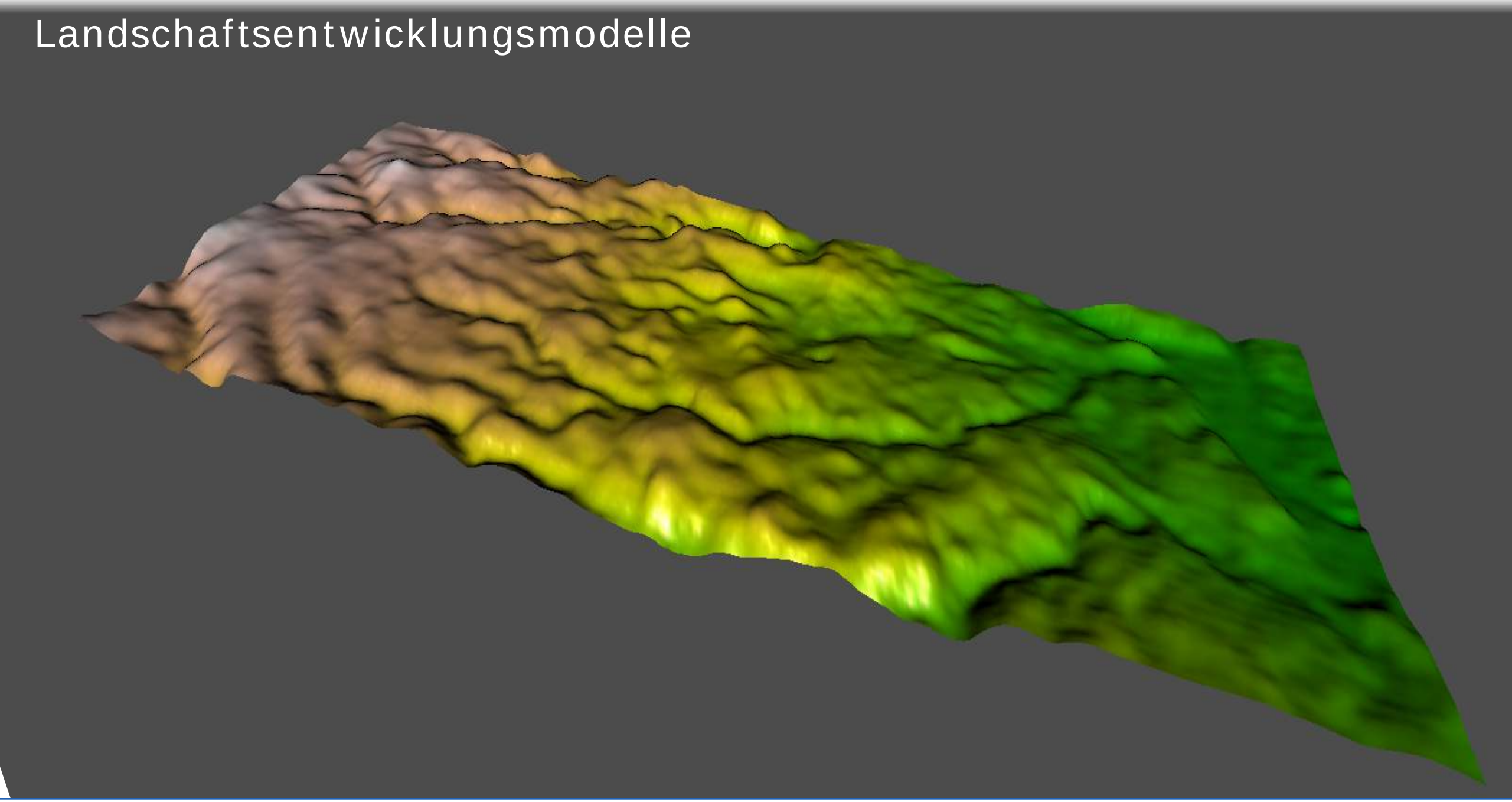
Geschichtete Struktur des oberflächennahen Untergrundes

Art der Hangprozesse (Kriechen vs. Gleiten, Spülprozesse)

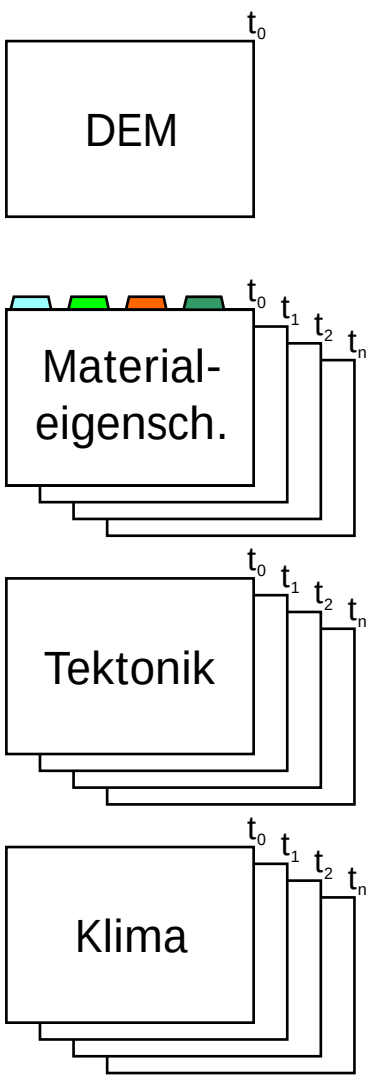
Äolische Sedimentzufuhr

Reduktion der Steuerfunktion des Reliefs auf die Neigung

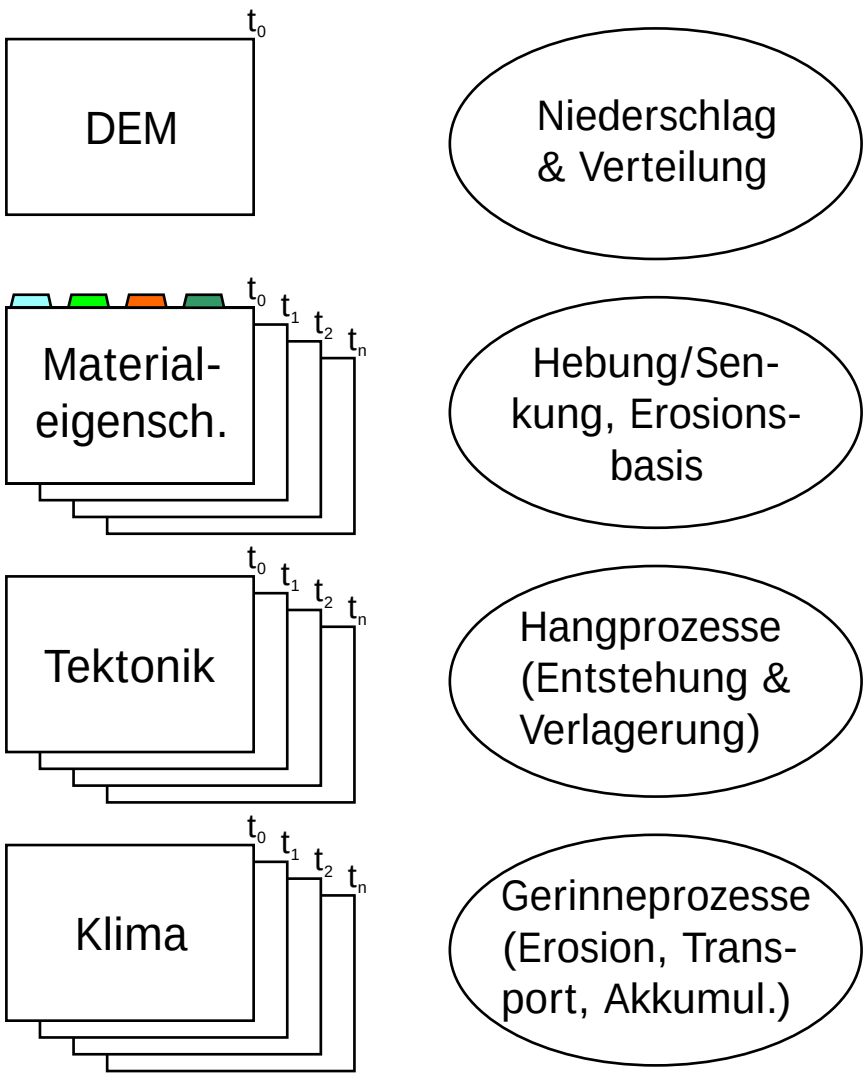
Landschaftsentwicklungsmodelle



Landschaftsentwicklungsmodelle - Prinzip



Landschaftsentwicklungsmodelle - Prinzip



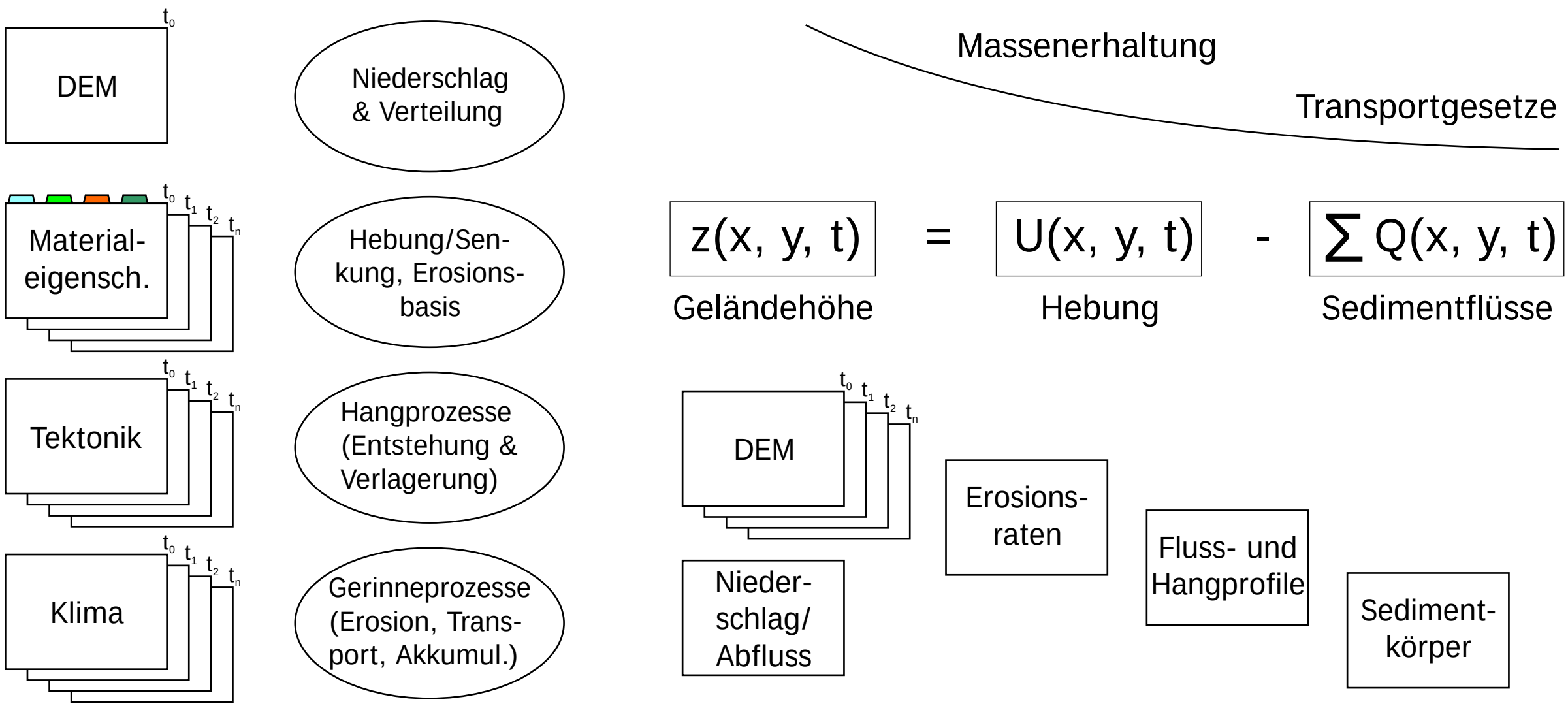
Massenerhaltung

Transportgesetze

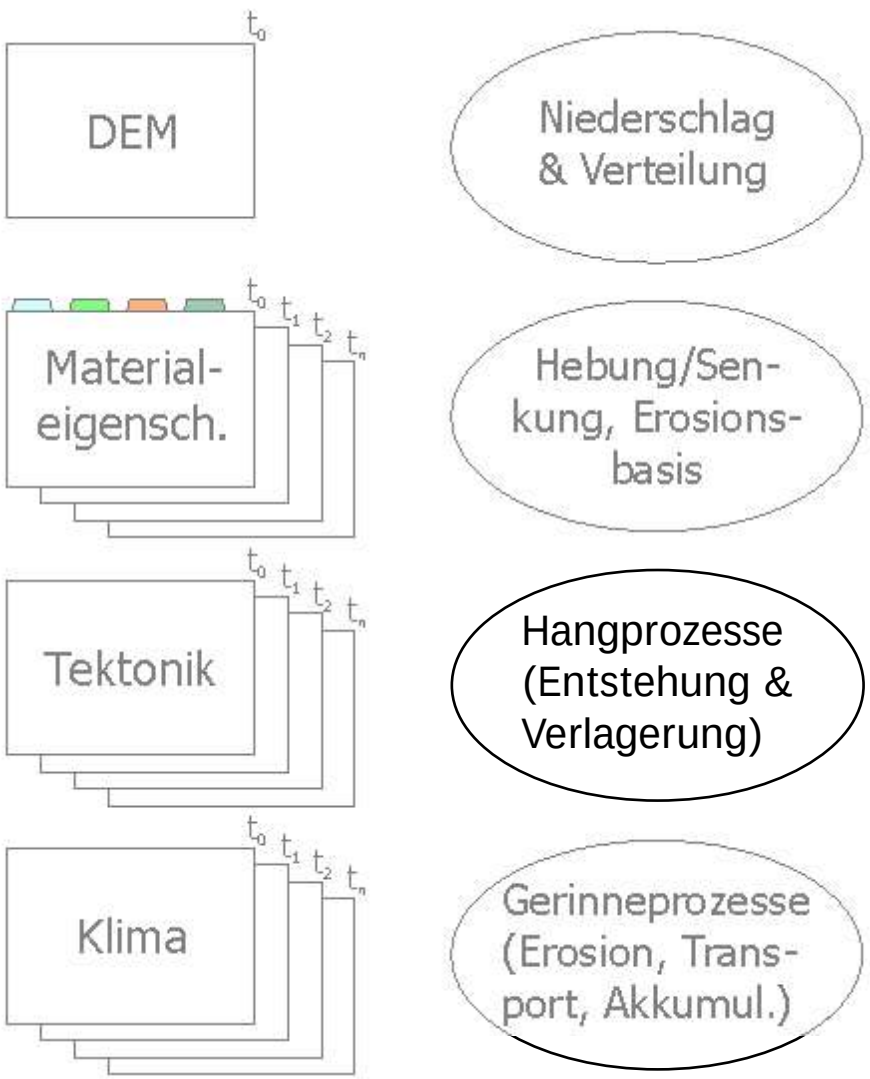
$$z(x, y, t) = U(x, y, t) - \sum Q(x, y, t)$$

Geländehöhe | Hebung | Sedimentflüsse

Landschaftsentwicklungsmodelle - Prinzip



Landschaftsentwicklungsmodelle - Prinzip

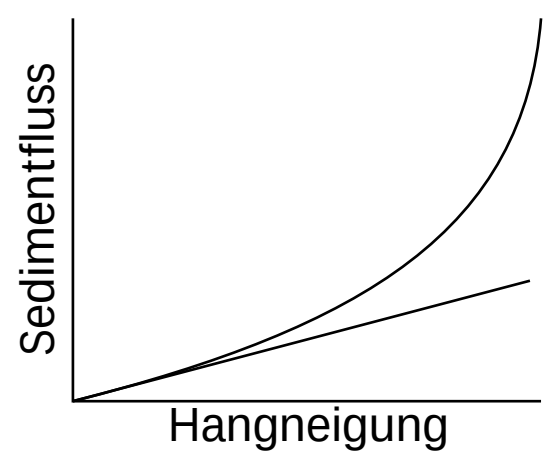


Massenerhaltung

Transportgesetze

$$z(x, y, t) = U(x, y, t) - \sum Q(x, y, t)$$

Geländehöhe — Hebung — Sedimentflüsse



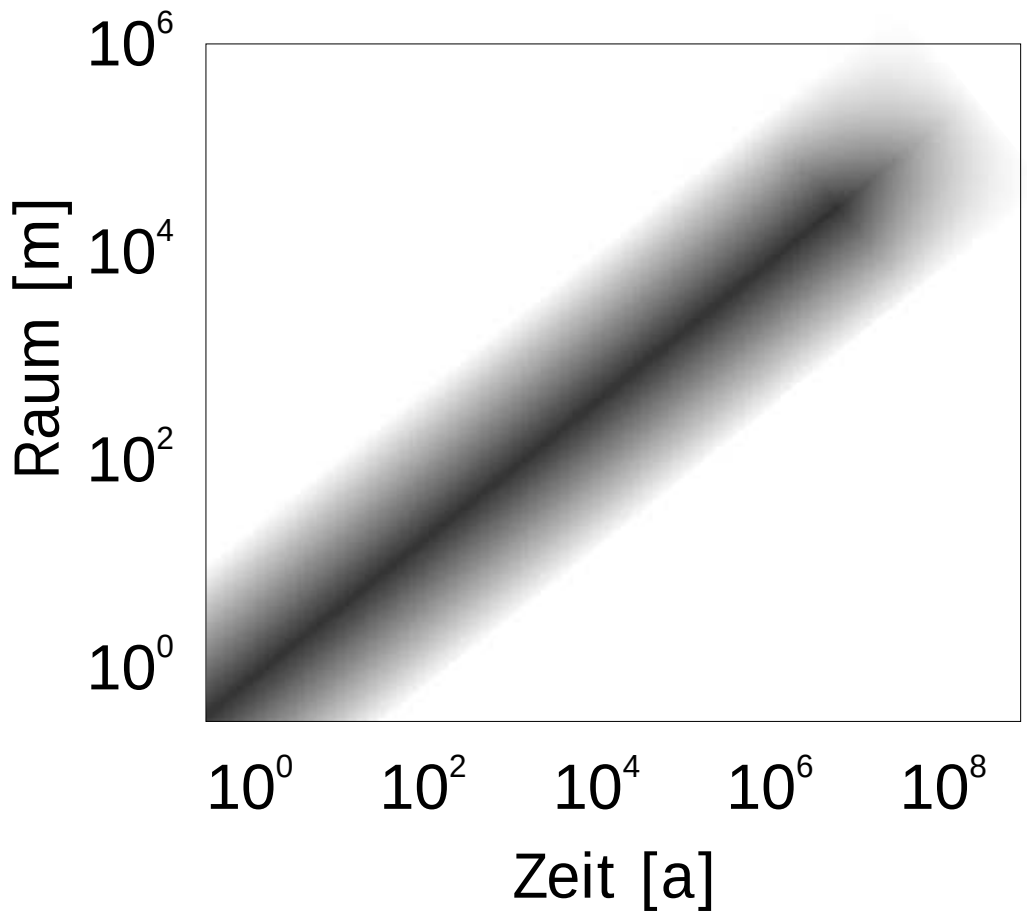
$$\mathbf{q}_s = \frac{-K_D \nabla \eta}{1-(|\nabla \eta|/S_c)^a}$$

Howard (1994)

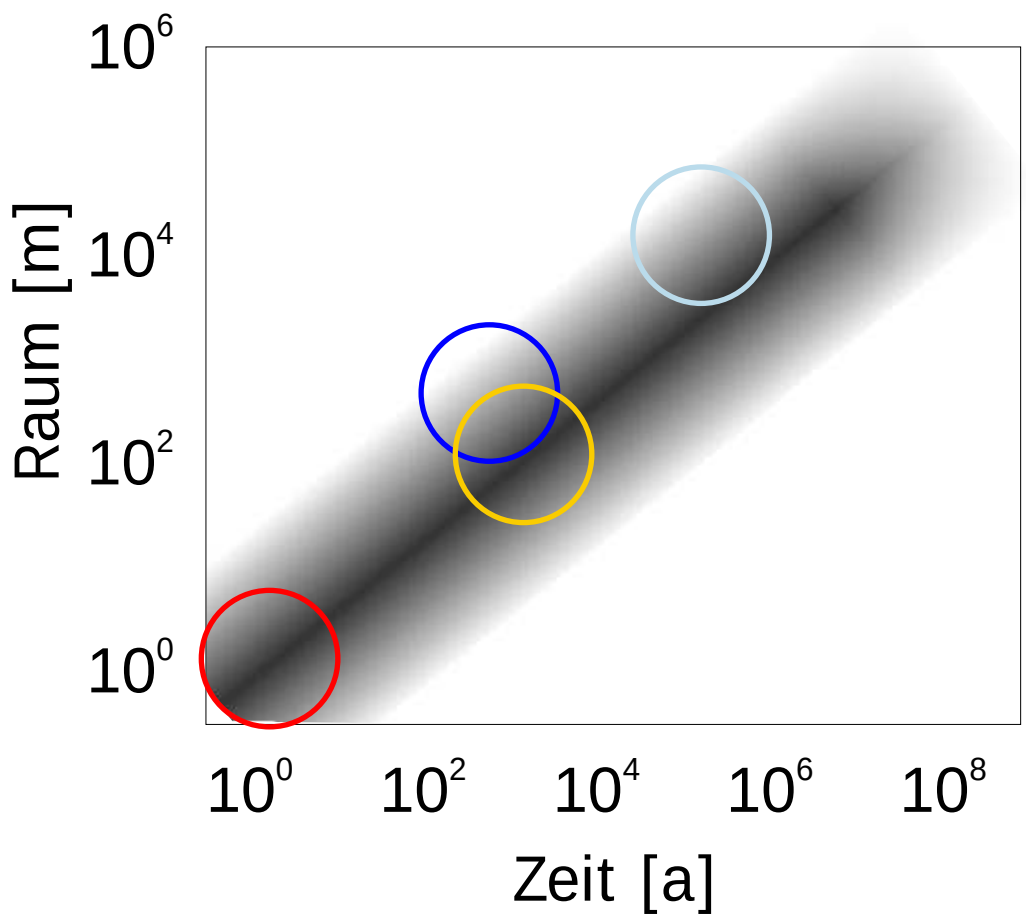
$$\mathbf{q}_s = -K_c \nabla \eta$$

e.g. Tucker & Hancock (2010)

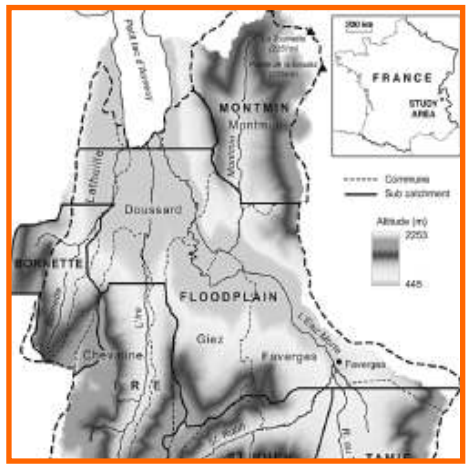
Bearbeitete Skalenbereiche



Bearbeitete Skalenbereiche

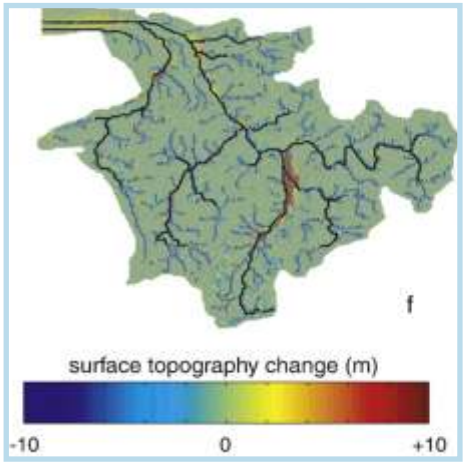


CAESAR



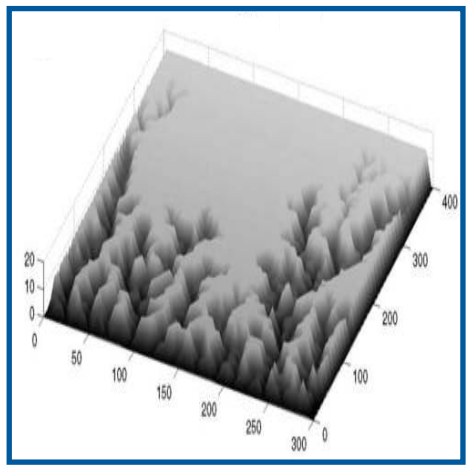
Welsh et al. (2009)

CHILD



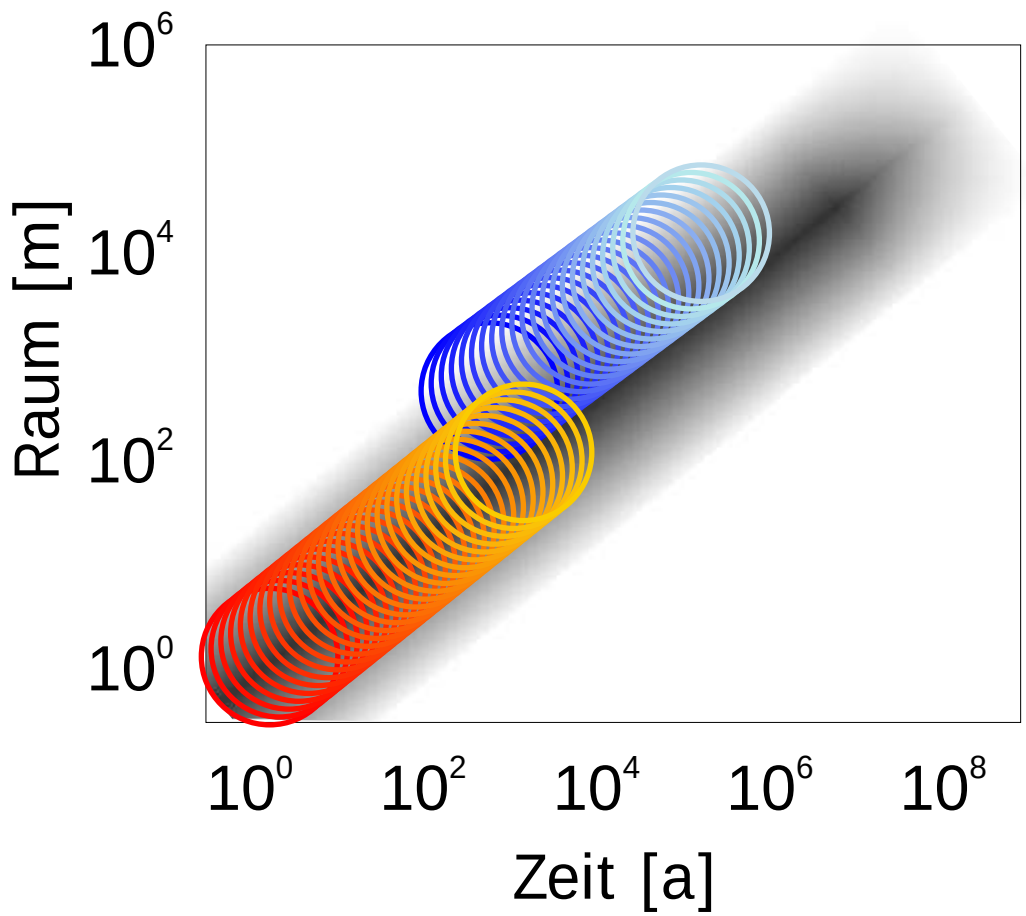
van Balen et al. (2010)

Coulthard et al. (2012)

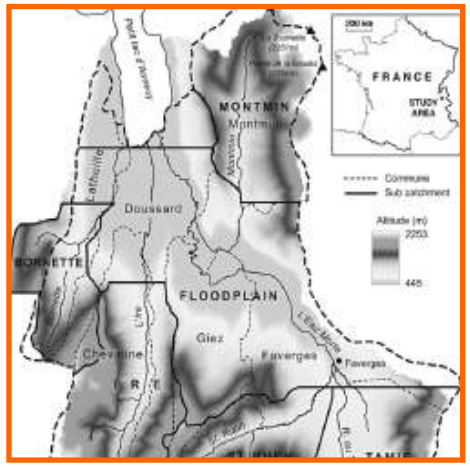


Instanbulluoglu et al. (2005)

Bearbeitete Skalenbereiche

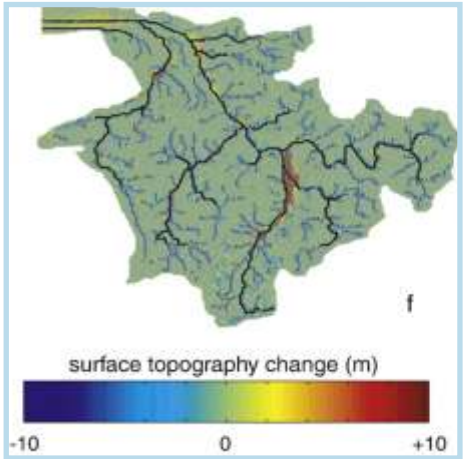


CAESAR



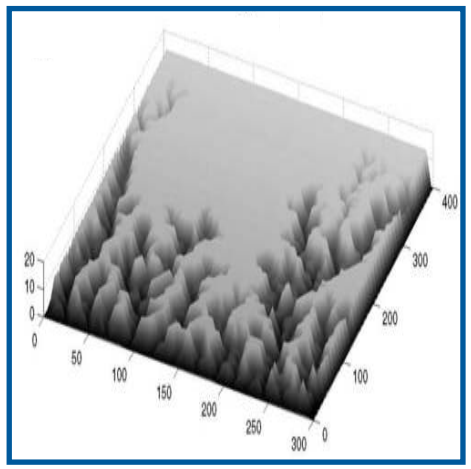
Welsh et al. (2009)

CHILD



van Balen et al. (2010)

Coulthard et al. (2012)



Instanbulluoglu et al. (2005)

Evaluation - numerische Prozessmodelle

Unabhängig, auf “Gesetzen” aufbauend	“Gesetze” (transport laws) oft kaum empirisch untermauert
Skalierbar durch empirische Parameter	Parameterisierung benötigt Geländedaten
Möglichkeit der Quantifizierung und Unsicherheitsabschätzung	Unsicherheitsabschätzung erst am Anfang

Offene Fragen

Wie stark ist die Brückenfunktion von Landschaftsentwicklungsmodellen zwischen "funktionaler" und "historisch genetischer Geomorphologie"?

Welche Bedeutung können numerische Prozessmodelle haben für Fragestellungen zu "Emergentismus", "Pfadabhängigkeit" oder "Formenkonvergenz"?

In welchem Rahmen können Geomorphologen Kenntnisse zur Verbesserung von Modellen einbringen?

Welche Bedeutung haben raum-zeitlich aufgelöste Informationen zu Prozessen, Materialflüssen usw. als Schnittstelle zu Nachbarwissenschaften?