



Modellierung flachgründiger Rutschungen am Beispiel des Laternsertals (Vorarlberg) – Voraussetzungen, Limitationen und Potenziale

Thomas Zieher^{1,2}, Martin Rutzinger^{1,2}, Gertraud Meißl¹,
Clemens Geitner¹, Frank Perzl³, Gerhard Markart³,
David Leidinger⁴, Herbert Formayer⁴

(1) Institut für Geographie, Universität Innsbruck

(2) Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (IGF), Österreichische Akademie der Wissenschaften

(3) Abteilung Wildbachprozesse & Hydrologie, Bundesforschungszentrum für Wald (BFW)

(4) Institut für Meteorologie (BOKU-Met), Universität für Bodenkultur Wien



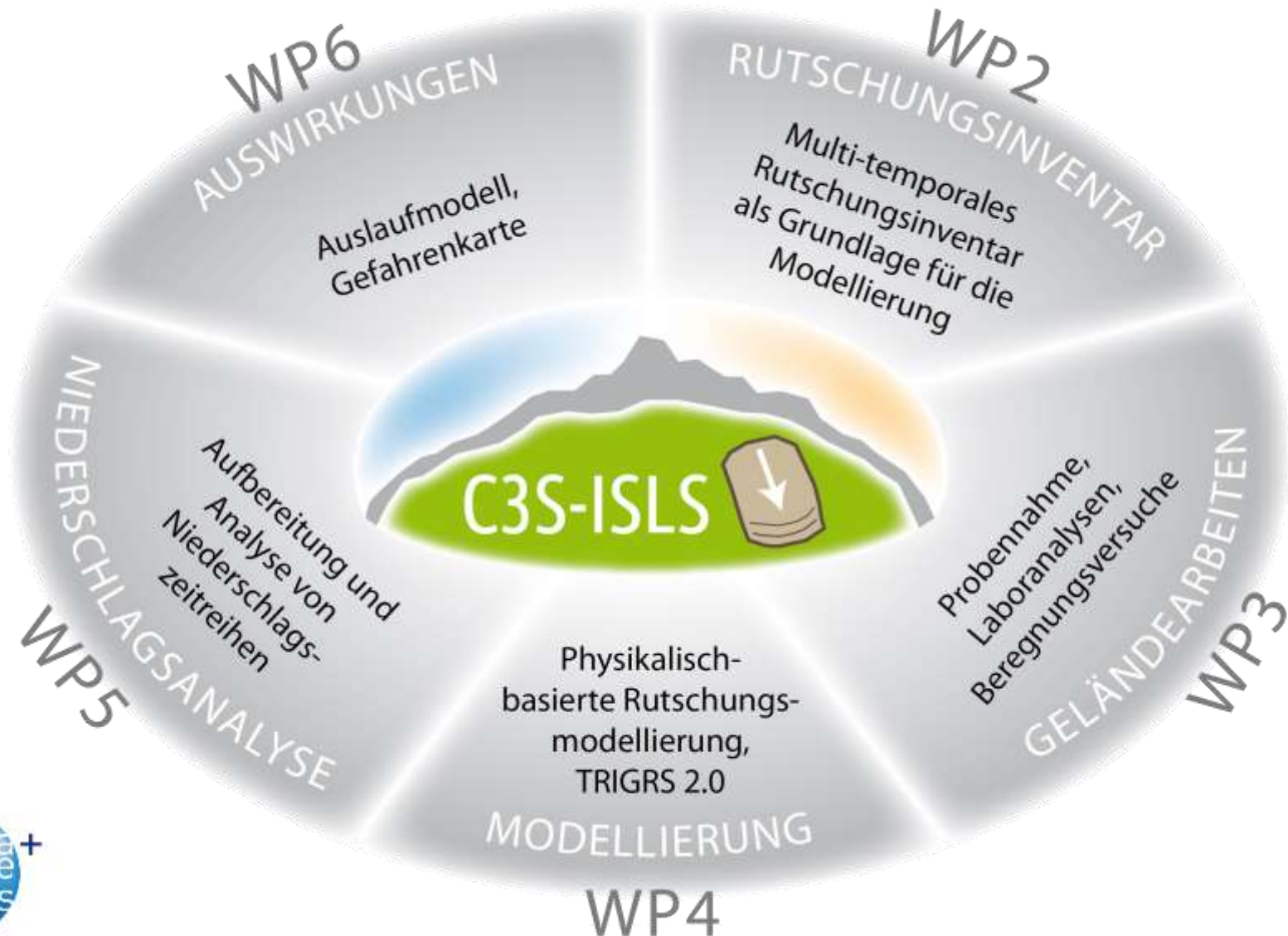
Innsbrucker Hofburggespräche
06.04.2017



Projekt C3S-ISLS

Climate induced system status changes at slopes
and their impact on shallow landslide susceptibility

WP1: Projektmanagement



Gliederung

- ① Definitionen & Untersuchungsgebiete
- ② Überblick – Modellierungsansätze
- ③ Physikalisch-basiertes Modell – TRIGRS 2.0
- ④ Modellkalibrierung & -validierung
- ⑤ Potenziale



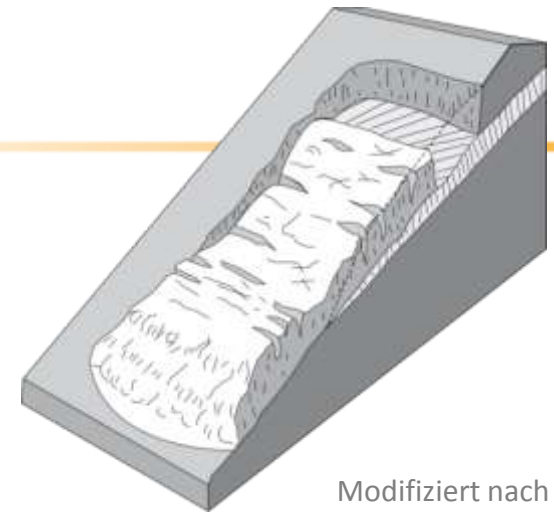
Definitionen & Untersuchungsgebiete

Definitionen

Flachgründige Rutschung (C3S-ISLS)

- Translationsrutschung im Lockermaterial
- Tiefe der Gleitfläche bis 2 m

→ Häufig Übergang zu Schuttlawinen und Gerinnemuren



Modifiziert nach
Wieczorek & Snyder 2009



Fotos: BFW, 2005

Landslide susceptibility

“The propensity of an area to undergo landsliding” (Crozier and Glade 2005, p. 34)

dt. Anfälligkeit/Suszeptibilität eines Gebiets gegenüber Massenbewegungen
(„Rutschungsanfälligkeit“)

Untersuchungsgebiete

Einzugsgebiete des Laternsertals und Kleinwalsertals, Gemeinden Au und Schnepfau

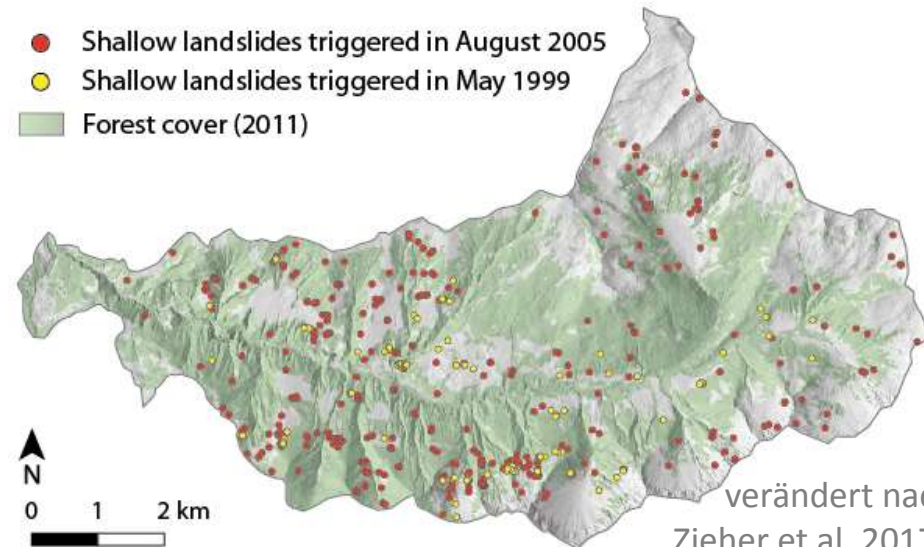
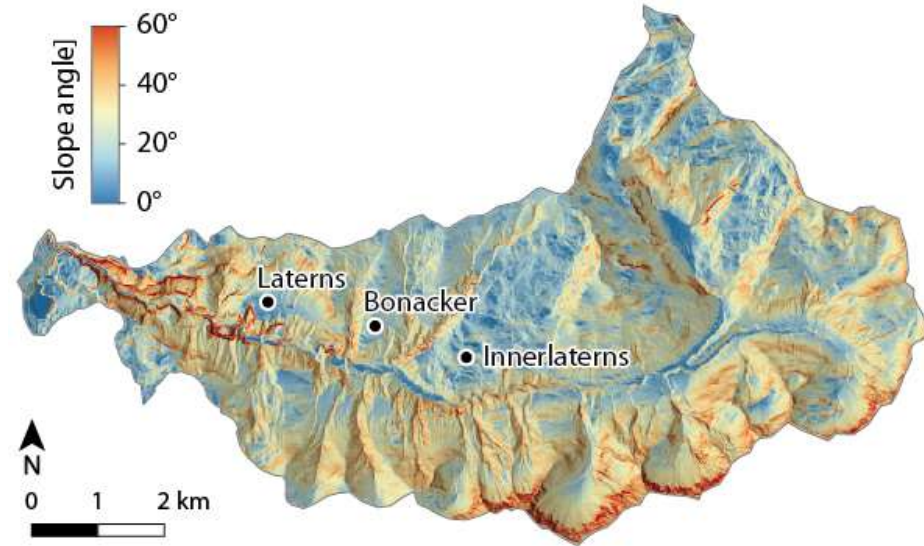
- Dominiert von Flysch und Decken des Helvetikums
- In etwa die Hälfte der Fläche der Untersuchungsgebiete ist zwischen 25-45° geneigt
- Besonders von flachgründigen Rutschungen betroffen (Mai 1999, August 2005)



Datenquelle (Geologie): GBA

Untersuchungsgebiet Laternsertal

- Einzugsgebiet der Frutz, 52 km²
- Höhenlage 500 – 2000 m
- Dauersiedlungen auf der nördlichen Talseite
- 651 Einwohner (Gde. Laterns)
- Quartäre Talverfüllung bis ca. 1000 m
- Tiefgründige Massenbewegungen
- 50% des EZG bewaldet
- Hauptsächlich Fichte und Tanne, Buche unterhalb von 1300 m
- Dokumentierte Rutschungsereignisse
 - 21./22. Mai 1999 (n = 82)
 - 22./23. August 2005 (n = 356)





Überblick – Modellierungsansätze

Überblick – Modellierungsansätze

Statistisch

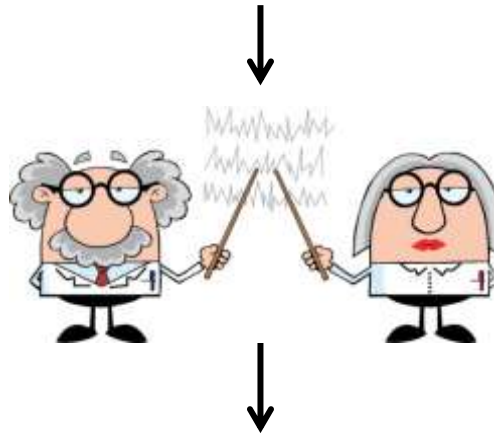
Parameterkarten,
Rutschungsinventar



Suszeptibilitäts - Karte
(qualitativ)

Heuristisch

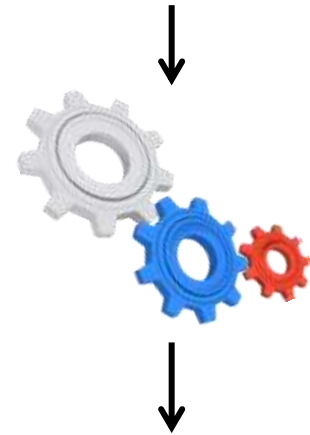
Parameterkarten



Suszeptibilitäts - Karte
(qualitativ)

Deterministisch

Physikalische
Parameter (-karten)



Factor of safety - Karte
(quantitativ)

gering

Prozessverständnis

hoch

Voraussetzungen

Statistisch

Parameterkarten

- Ableitungen von DEMs
- Thematische Karten
 - Geologie
 - Landbedeckung
 - ...

z.B. Guzzetti et al. 2006: Diskriminanzanalyse, 46 Parameterkarten

Rutschungsinventar

- Training
- Validierung

Heuristisch

Parameterkarten

- Ableitungen von DEMs
- Thematische Karten
 - Geologie
 - Landbedeckung
 - ...

z.B. Pellicani et al. 2014: qualitative Kombination von 5 Parameterkarten

Rutschungsinventar

- Validierung

Deterministisch

Karten der Eingangsparameter

- Geotechnik
- Hydrologie
- Landbedeckung

Meteorol. Daten (raumzeitl.)

- Niederschlag
- Temperatur

Rutschungsinventar

- Kalibrierung
- Validierung

regional

Maßstab

lokal



Physikalisch-basiertes Hangstabilitätsmodell
TRIGRS 2.0 (USGS)

Physikalisch-basiertes Modell – TRIGRS 2.0 (USGS)

Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis

Dynamisches geohydraulisch/
geomechanisches Modell

$$FS(Z, t) = \frac{\tan\phi}{\tan\delta} + \frac{c' + c_r - \psi(Z, t) \cdot \gamma_w \cdot \tan\phi}{s_t + \gamma \cdot Z \cdot \sin\delta \cdot \cos\delta}$$

Parameter:

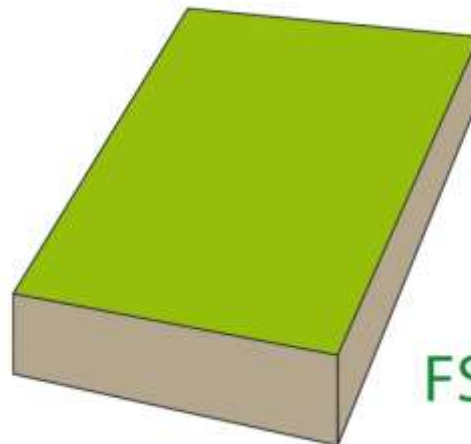
Hydraulische Leitfähigkeit*
Spezifischer Speicherkoeffizient*
<i>Initialer Hangwasserspiegel**</i>
<i>Niederschlag**</i>
Innerer Reibungswinkel*
Kohäsion*
<i>Hangneigung**</i>
<i>Regolitmächtigkeit**</i>
Wichte
Durchwurzelungskohäsion
Vegetationsauflast
Durchwurzelungstiefe

*sensitive Parameter

**Gegebene Parameter/Szenario

Räumliche Auflösung: 10 m

- ϕ innerer Reibungswinkel [°]
- c' Kohäsion [Pa]
- ψ Porenwasserdruck [m]
- c_r Durchwurzelungskohäsion [Pa]
- s_t Vegetationsauflast [Pa]
- γ_w Wichte Wasser [N/m³]
- γ Wichte Lockermaterial [N/m³]
- Z Regolitmächtigkeit [m]
- δ Hangneigung [°]



FS = 2.0

Zeitlicher Verlauf des
Porenwasserdrucks
über Diffusionsmodell
(Iverson, 2000)

+

Modell der unendlich
langen Böschung
(z.B. Hammond 1992)

Modellvalidierung – geohydraulische Komponente

Dauerberegnungsversuch

- Rutschungsanfälliger Hang
- 100 m² (20 x 5 m)
- Intensität (konst.): 27.5 mm/h

Monitoring mit Geoelektrik-Profil

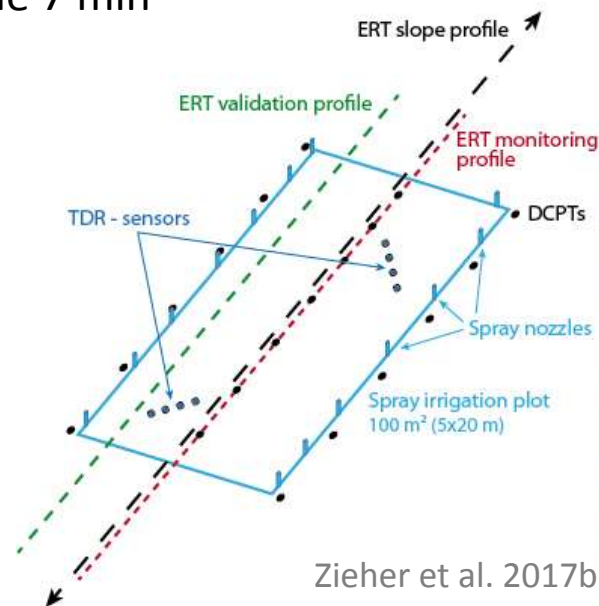
- 6 Referenzmessungen vor Beregnung
- Danach Messungen alle 7 min

Bodenphysik

- TDR-Sonden
- Probennahme

Rammsondierungen

- Lockermaterialaufbau
- Plausibilisierung ERT

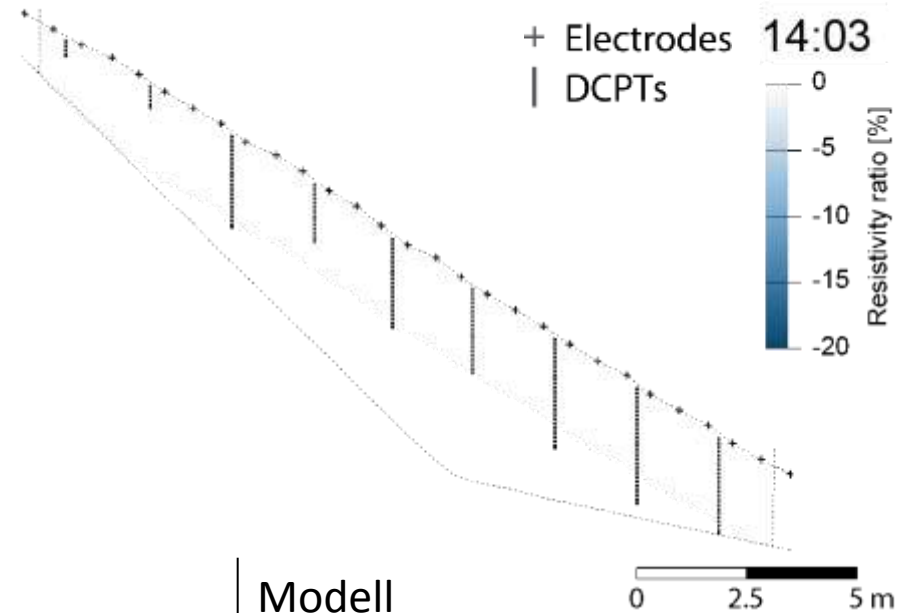


Zieher et al. 2017b

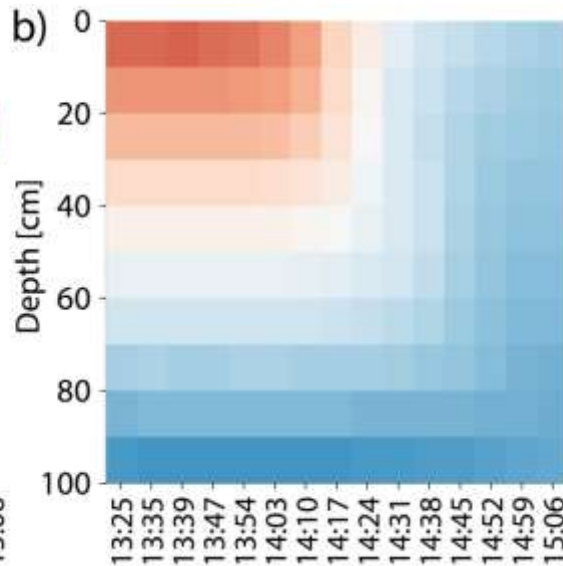
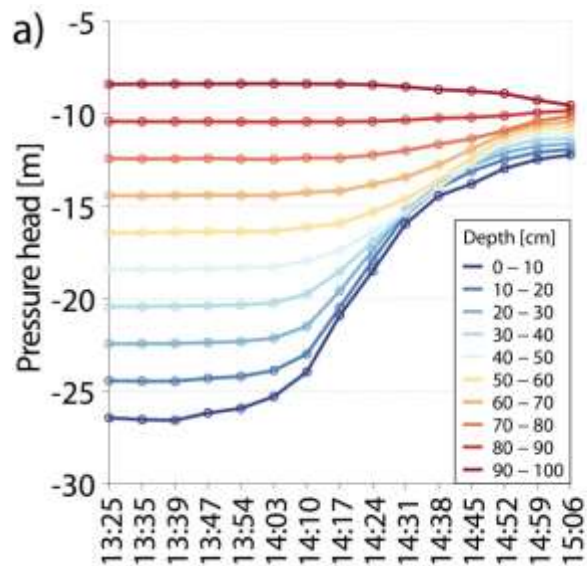


Modellvalidierung – geohydraulische Komponente

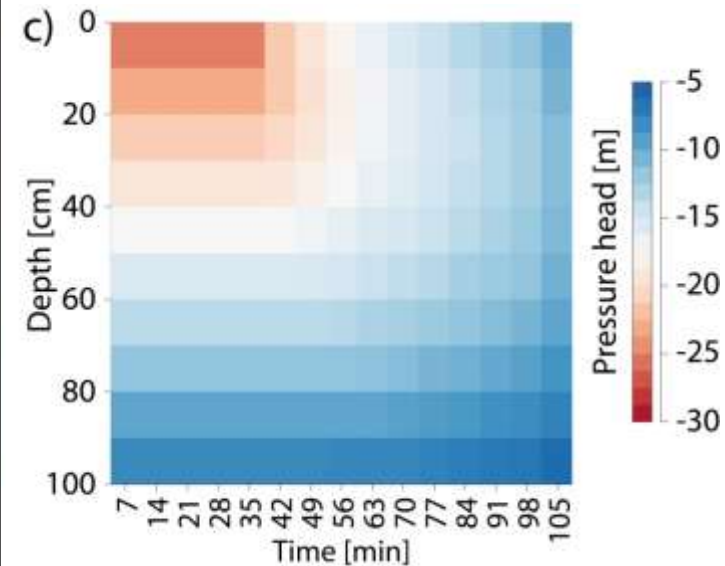
- Widerstandsreduktion durch zunehmenden Wassergehalt
- Vertikal-dominierte Infiltration
- Skaliert zu Porenwasserdruck und verglichen mit Modellergebnis



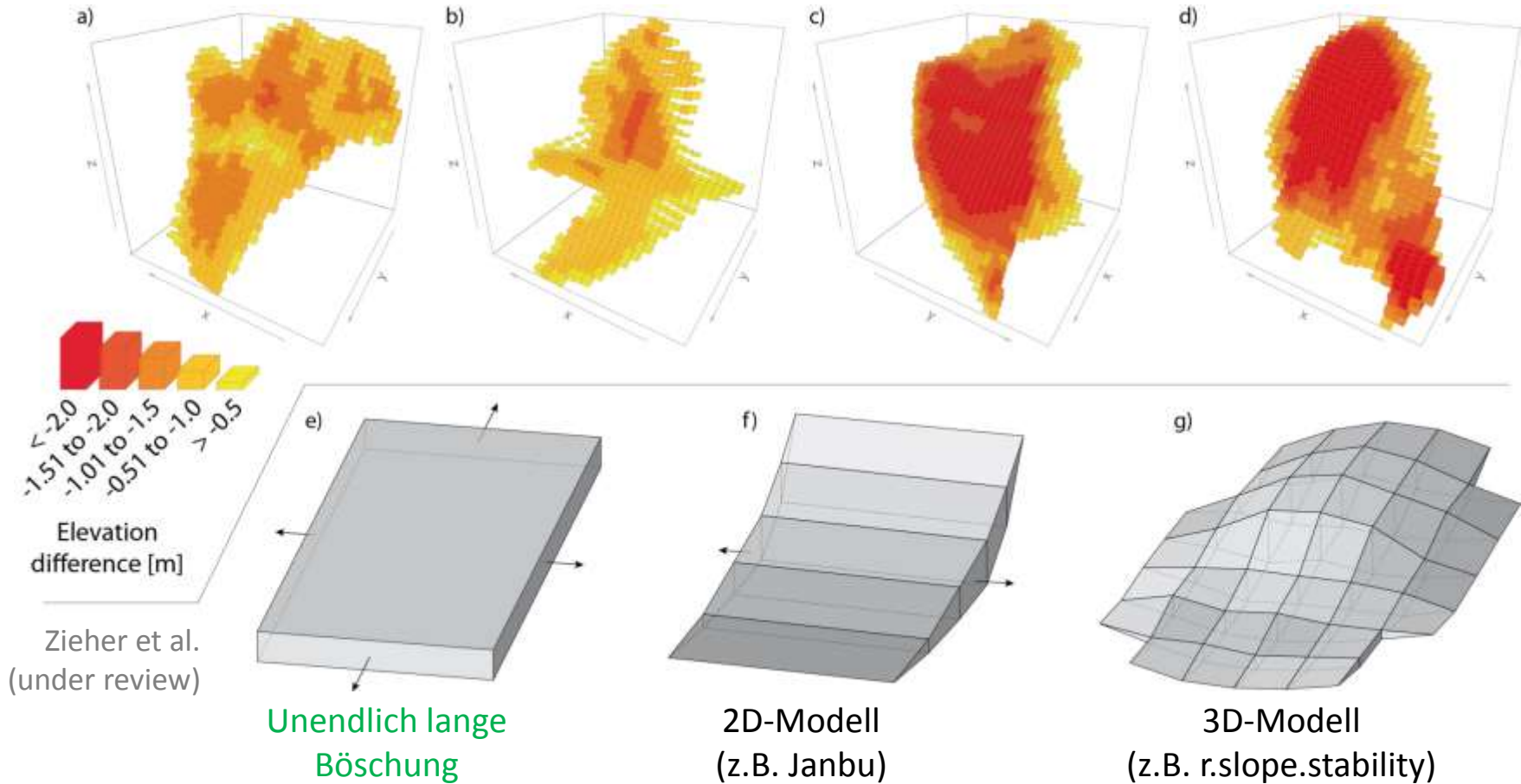
Beobachtung (Mittel über Profil)



Modell



Modellvalidierung – geomechanische Komponente



Rutschungsgeometrie (Rutschkörper aus DDTM)

→ Modell der unendlich langen Böschung überschätzt Rutschungsvolumen

→ Bietet jedoch eine konservative „Anschätzung“ der Hangstabilität

Limitationen – TRIGRS 2.0

Hyd. Komponente

Vereinfachte Hanghydrologie (1D)

- Kein interflow
- Kein preferential flow

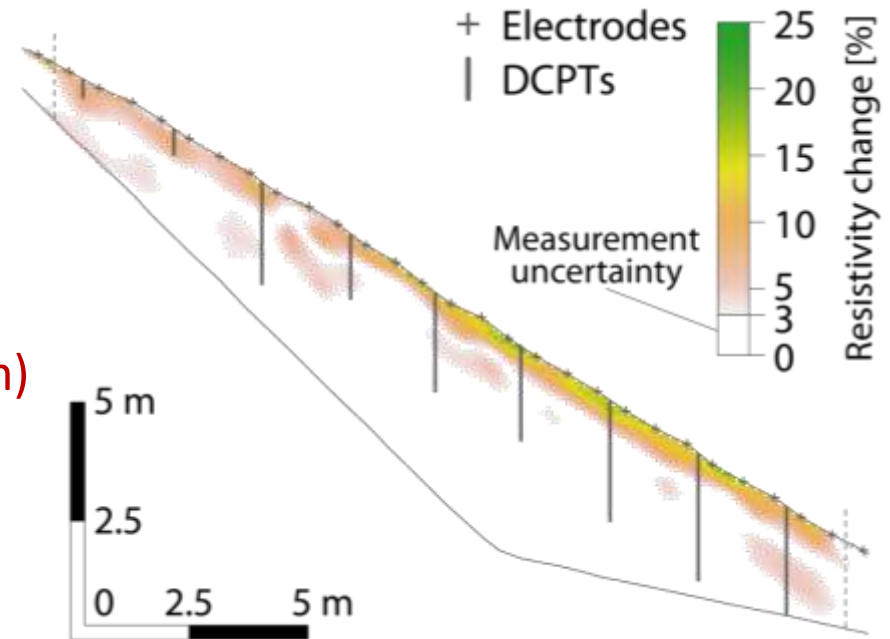
„Geringe“ räumliche Auflösung (10 m)

- Kleinräumige Infiltrationsmuster werden nicht abgebildet

Mech. Komponente

Vereinfachte Rutschungsgeometrie

- Einschätzung von Rutschungsvolumina nicht möglich
- Konservative Anschätzung der Hangstabilität
- Geeignet für einen regionalen Überblick (Hinweiskarte)
- Identifikation von potenziellen „Hot Spots“



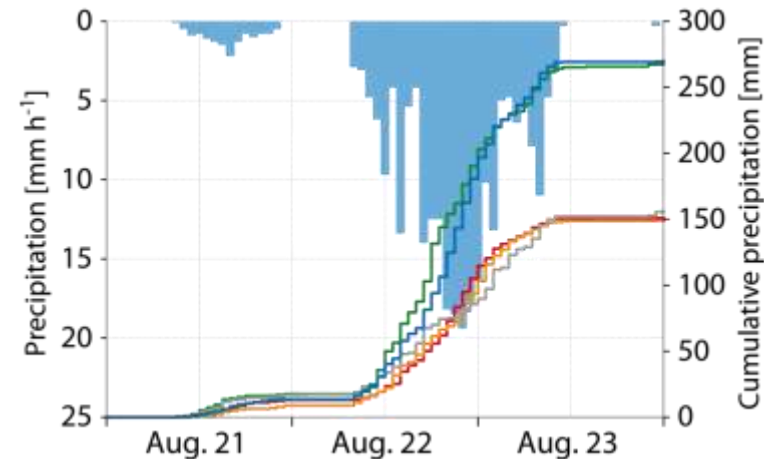
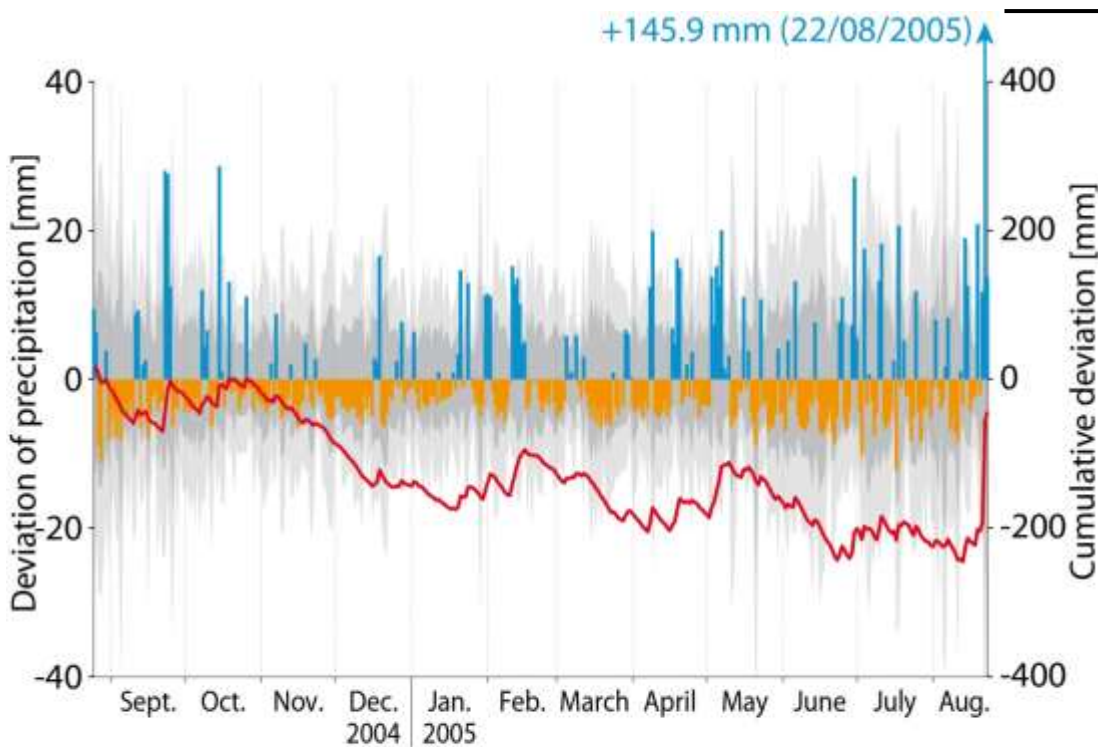
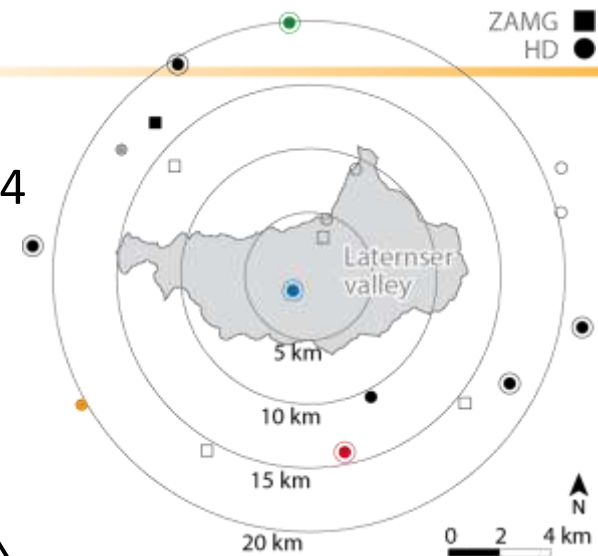
verändert nach
Zieher et al. 2017b



Modellkalibrierung & -validierung

Niederschlagsereignis 22./23. August 2005

- Unterdurchschnittlicher Niederschlag ab Nov. 2004
- Feuchter Februar und Mai
- Vermutlich geringe Vorfeuchte



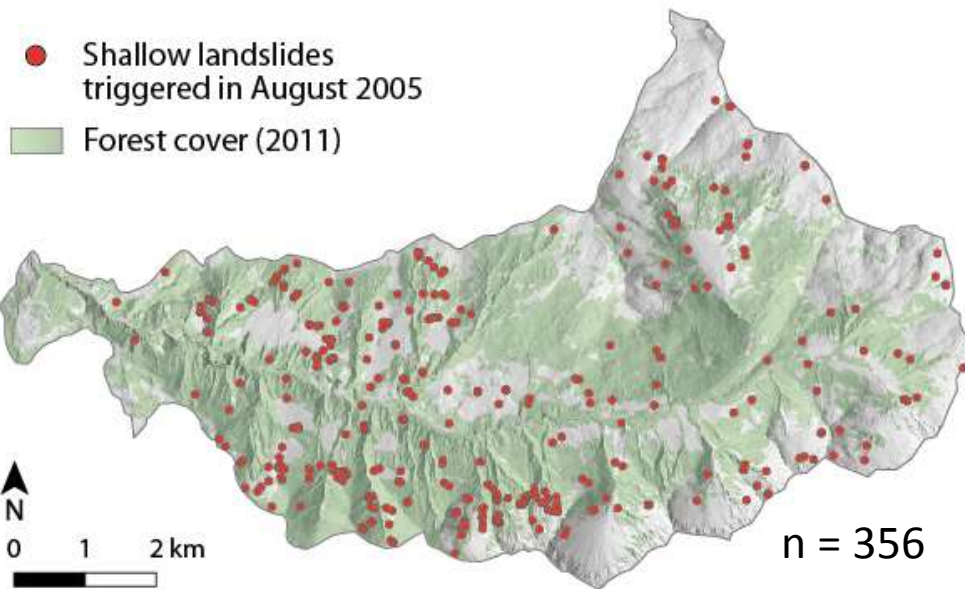
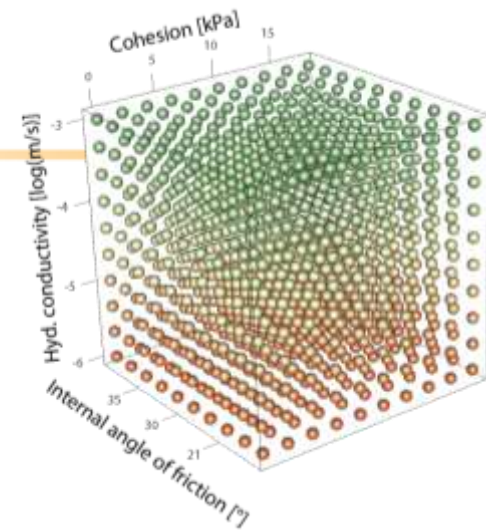
- Cumulative deviation
- █ Positive deviation
- █ Negative deviation
- █ Standard deviation from long-term mean
- █ Two-fold standard deviation from long-term mean

- Sehr hohe Intensität
- Über 200 mm an einem Tag

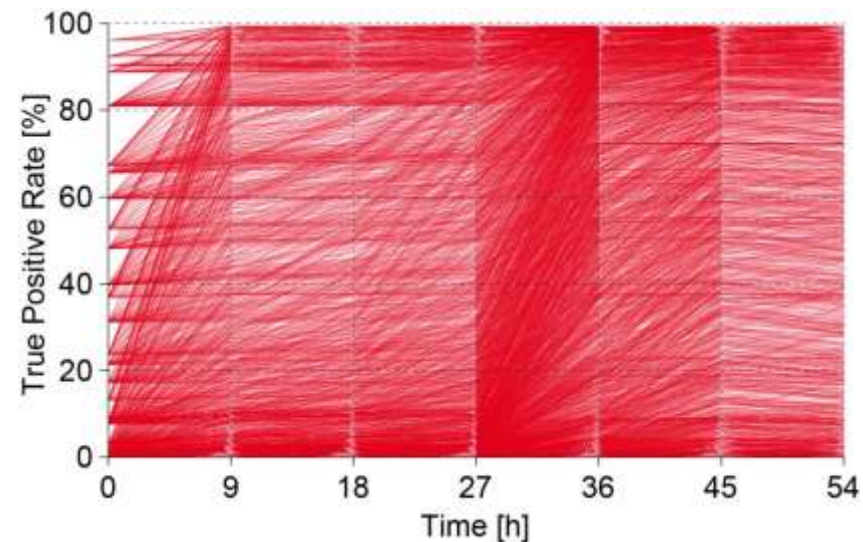
verändert nach Zieher et al. 2017a

Modellkalibrierung

- Niederschlagsereignis 22./23. August 2005 für Kalibrierung
- Spannweiten der vier sensitiven Parameter abgeleitet aus Laborversuchen und vorhandenen Daten
 - Jeweils 10 diskrete Abstufungen
- Simulationen mit allen Parameterkombinationen (HPC)
 - Ausgabe von 7 Zeitschritten nach je 9h (gesamt 54h)

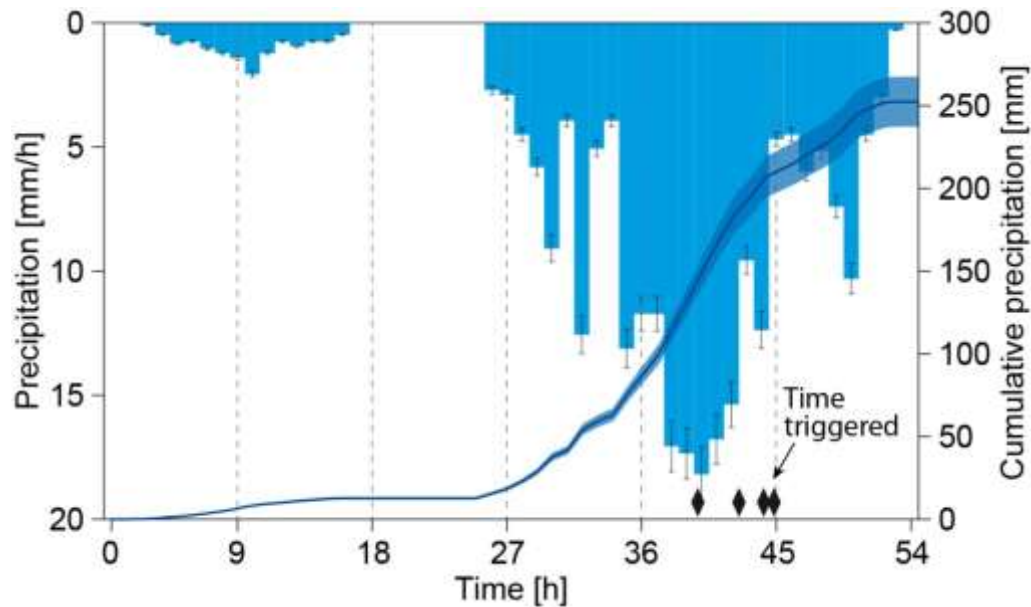


Vorhergesagte Rutschungen
(10.000 zeitabhängige Durchläufe):



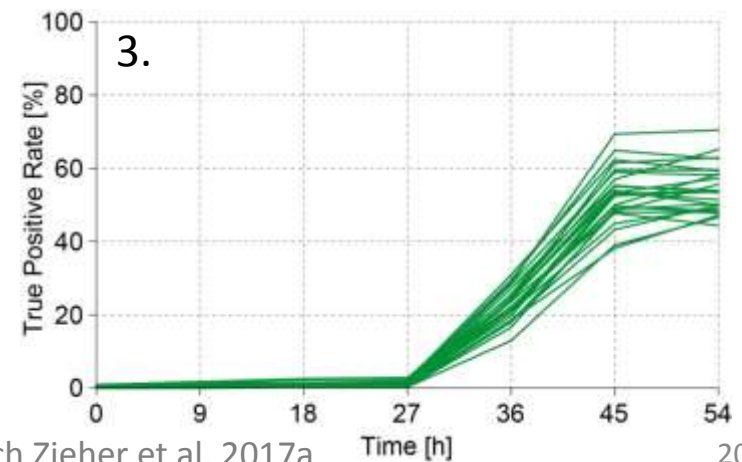
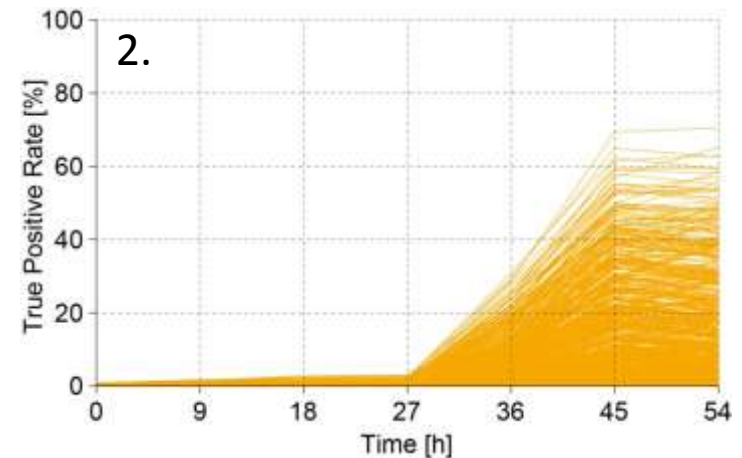
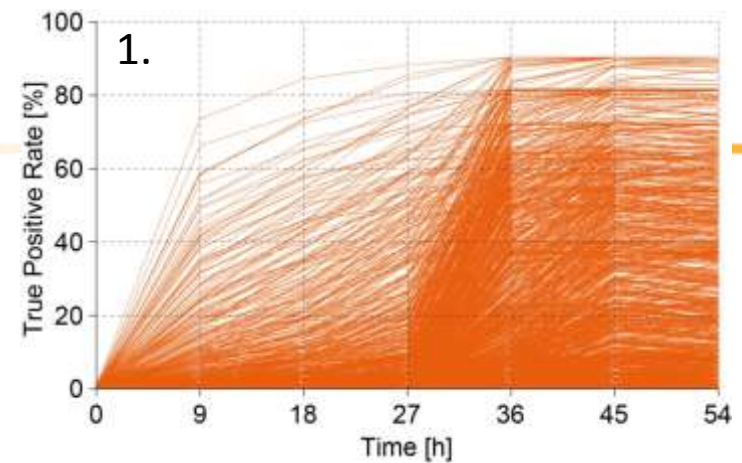
verändert nach Zieher et al. 2017a

Modellkalibrierung – Plausibilisierung



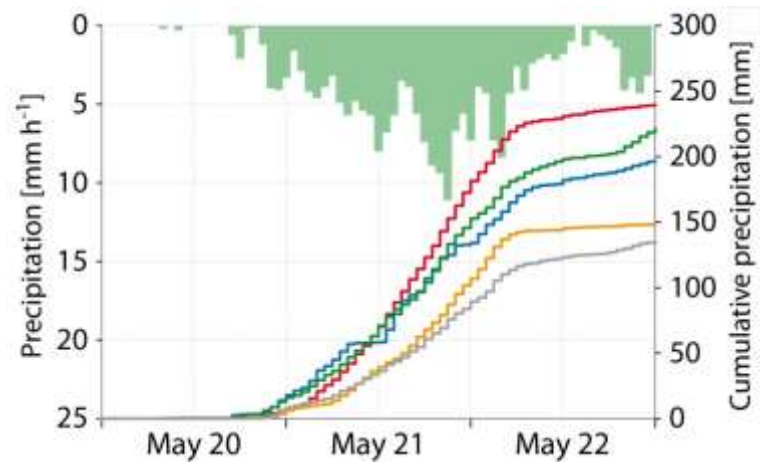
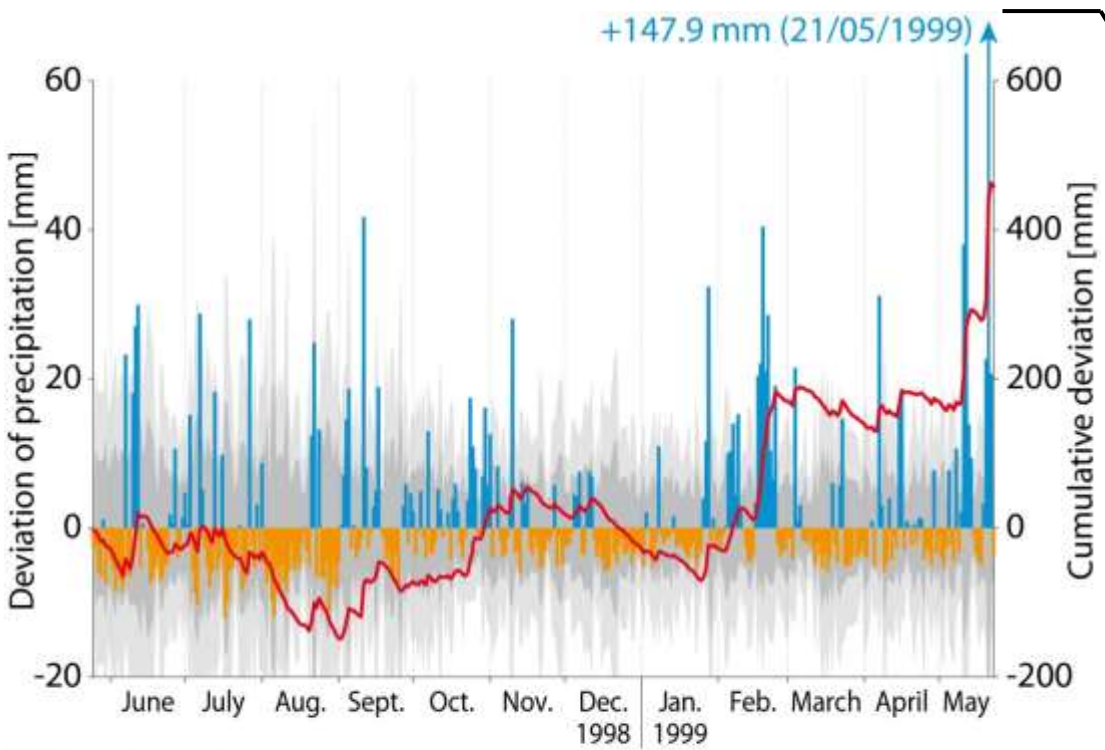
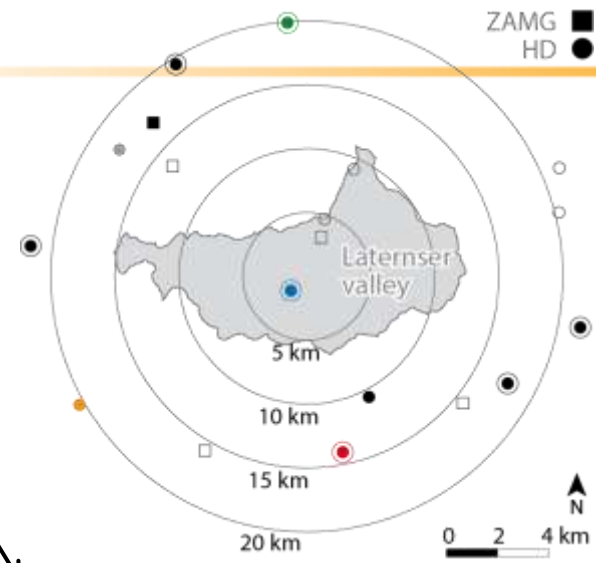
Beobachtungen:

1. Keine Rutschungen zum Zeitpunkt $t = 0$
2. Die meisten Rutschungen ereigneten sich nach der maximalen Niederschlagsintensität (36-45h)
3. Auswahl von Parameterkombinationen, die die meisten Rutschungen erklären ($n = 25$)



Niederschlagsereignis 21./22. Mai 1999

- In etwa ausgeglichen bis Februar
- „Lawinenwinter“ 1999
- Vermutlich hohe Vorfeuchte



~ Cumulative deviation
| Positive deviation
| Negative deviation
■ Standard deviation from long-term mean
■ Two-fold standard deviation from long-term mean

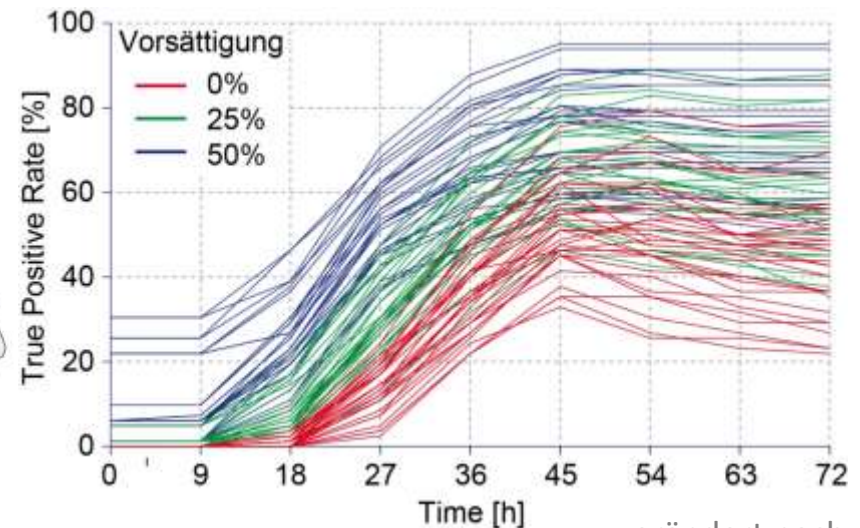
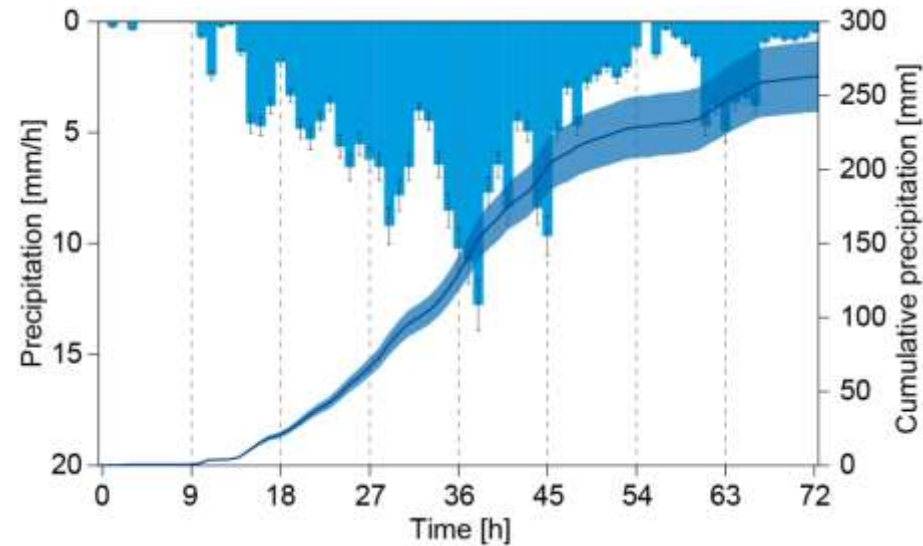
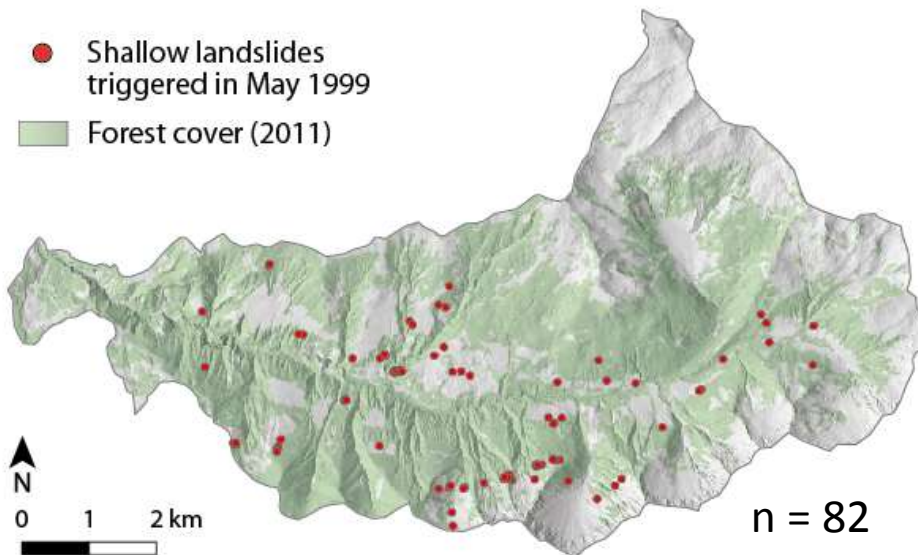
→ Lang anhaltender Niederschlag
→ Über 200 mm in zwei Tagen

verändert nach Zieher et al. 2017a

Modellkalibrierung – Validierung

- Ensemble der besten 25 Parameterkombinationen
- Mit Niederschlagsereignis 21./22.Mai 1999 angetrieben
- Die meisten Rutschungen nach maximaler Niederschlagsintensität vorhergesagt

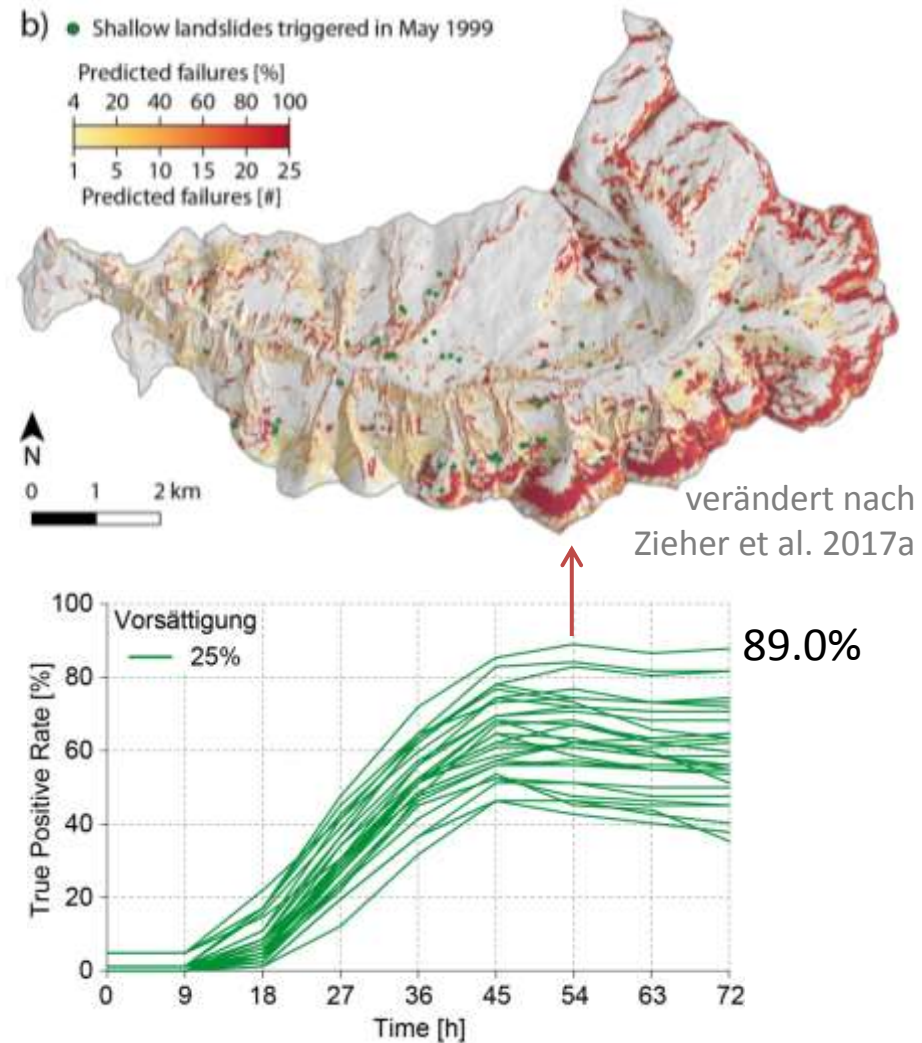
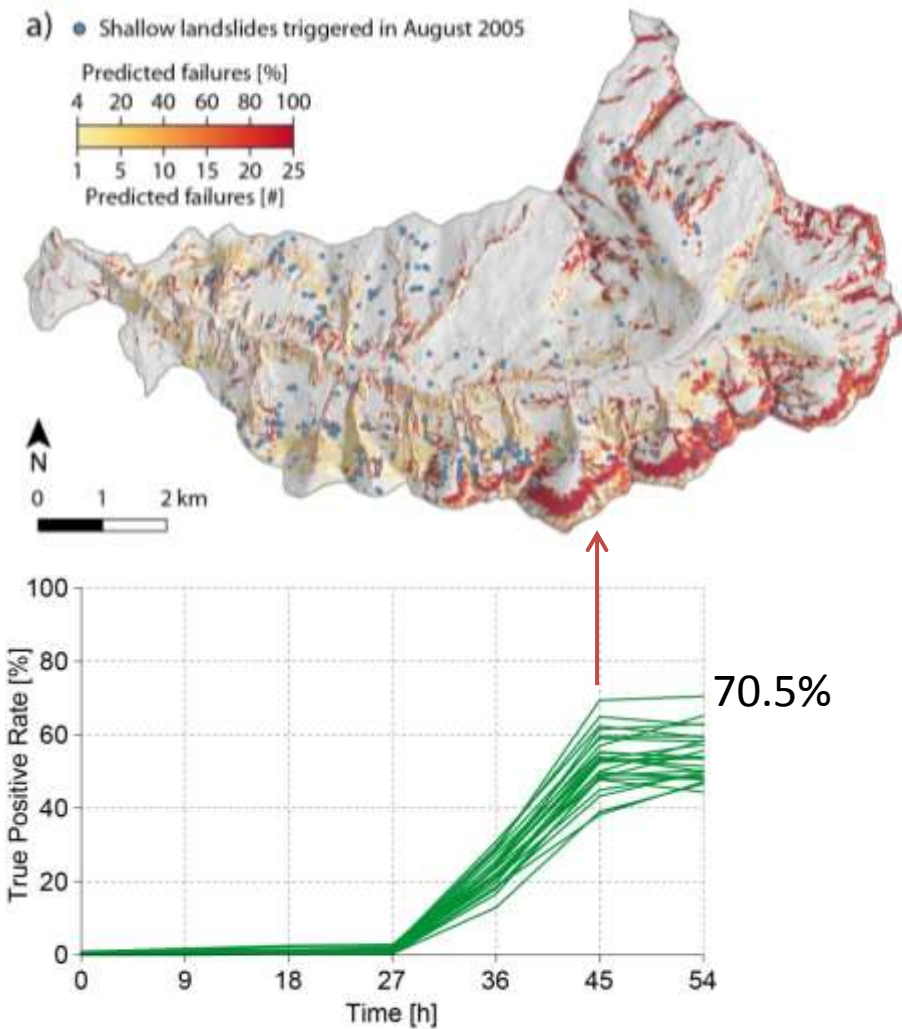
→ **Modell ausreichend kalibriert**



verändert nach
Zieher et al. 2017a

Ergebnisse – Laternsertal

Ensemble der 25 besten Parameterkombinationen für August 2005 (a) und Mai 1999 (b)



Zwischenfazit – TRIGRS 2.0

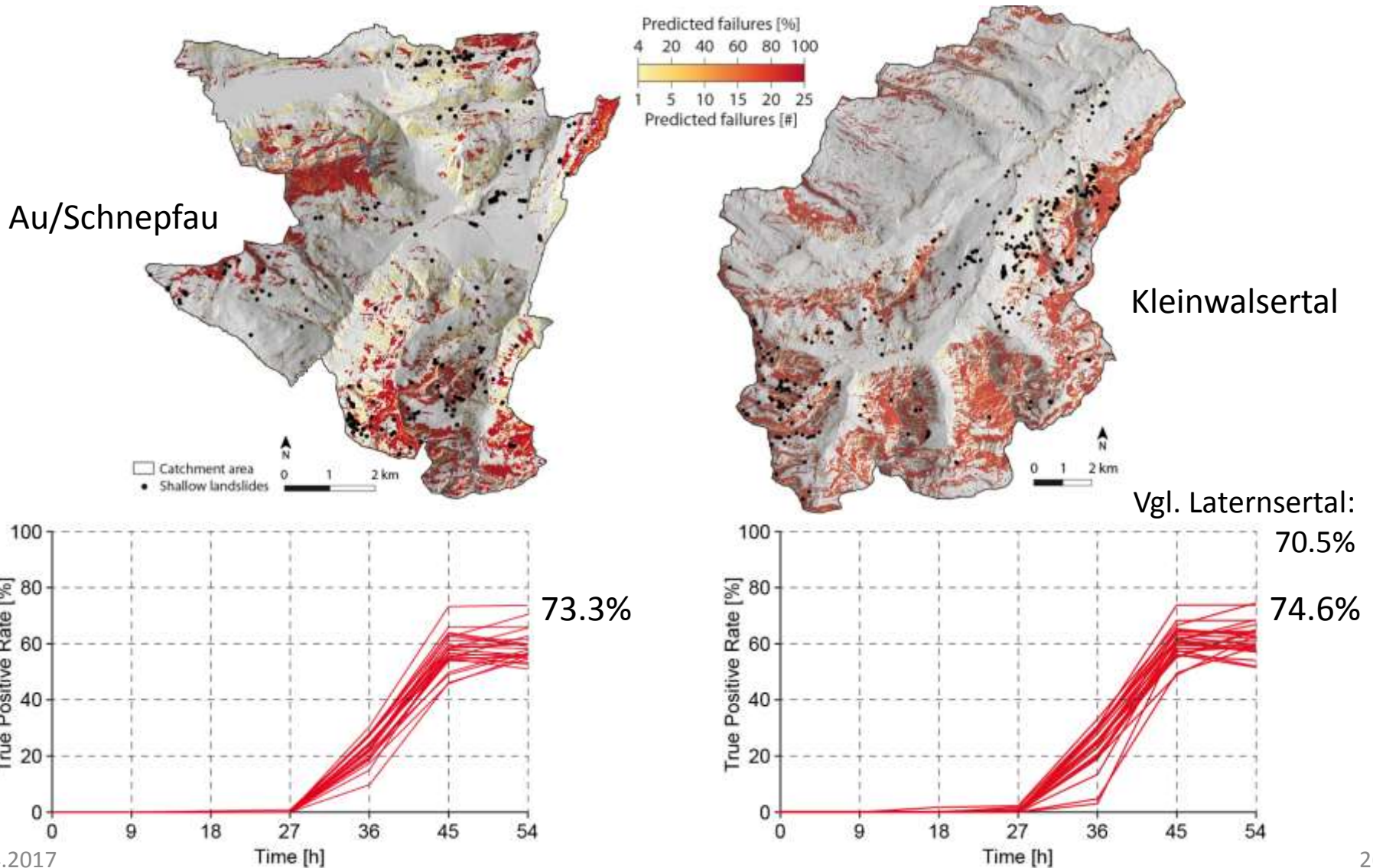
- Ergebnisse der geohyd. Komponente können im Gelände nachvollzogen werden
 - Mechanische Komponente bietet konservative Abschätzung der Hangstabilität
-
- Beobachtete Rutschungen konnten mit TRIGRS 2.0 abgebildet werden
 - Korrekt vorhergesagte Rutschungen:
 - 22./23. August 2005: bis zu 70.5%
 - 21./22. Mai 1999: bis zu 89.0%
 - Unsicherheit der Modellergebnisse
 - Quantifizierbar durch die Übereinstimmung des Modellensembles
 - Nicht erfasste Rutschungen
 - 22./23. August 2005: 27.0%
 - 21./22. Mai 1999: 8.5%
 - Nicht durch das Modell erklärbar (Limitationen des Modells)



Potenziale

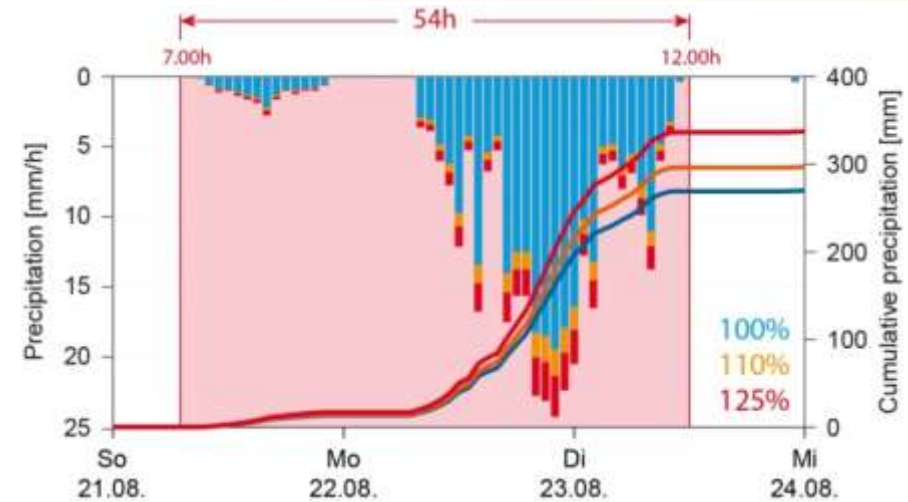
Potenziale - Übertragbarkeit

Ensemble der 25 besten Parameterkombinationen aus dem Laternsertal (August 2005)

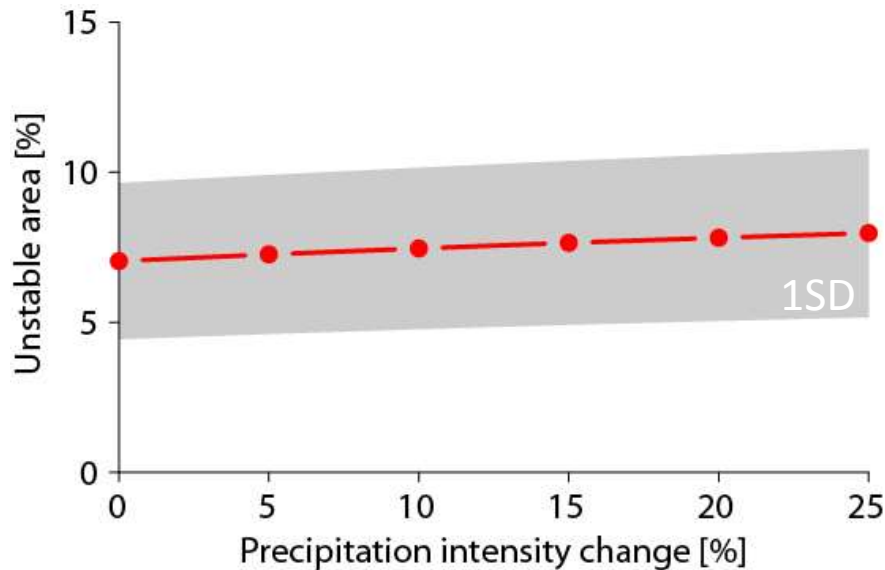


Potenzial – Niederschlagsinput

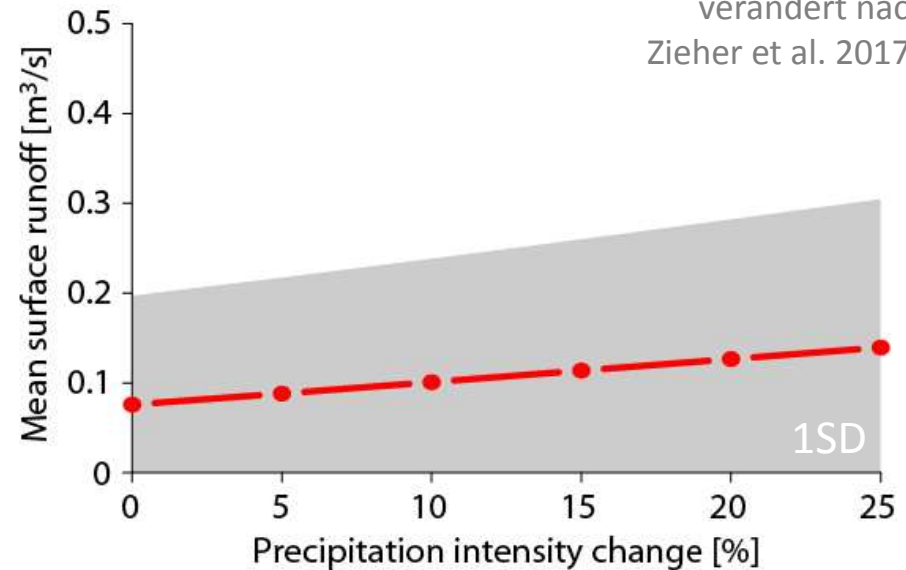
- Ensemble der besten 25 Parameterkombinationen
- Angetrieben mit Ereignis August 2005
+ Erhöhung des Niederschlagsinputs
- Quantifizierung der Veränderung der Rutschungsanfälligkeit



verändert nach
Zieher et al. 2017a



→ Keine signifikante Änderung der Rutschungsanfälligkeit



→ Tendenzieller Anstieg des Oberflächenabflusses

Fazit



Voraussetzungen

- Inventar mit ausreichender Anzahl kartierter und datierter Rutschungen
- Einheitliche Inventar-Standards wären notwendig
 - Übertragbarkeit des Modellierungsansatzes (Validierung)

Limitationen

- Im Modell werden die maßgebenden Prozesse stark vereinfacht abgebildet
- Nicht alle (aber einen Großteil) der Rutschungen können erklärt werden
- Ergebnisse sollten als (konservative) Hinweiskarten betrachtet werden

Potenziale

- Übertragbarkeit auf andere Gebiete (bei ähnlichen Charakteristika)
- Berücksichtigung von Niederschlagsszenarien



Kontakt



Thomas Zieher

Institut für Geographie, Universität Innsbruck

thomas.zieher@uibk.ac.at

+43 512 507 54048



Innsbrucker Hofburggespräche
06.04.2017

