

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 138 (2012)  
**Heft:** Dossier (5-6): Best of Bachelor 2010/2011

**Artikel:** Die Gefahr kommt mit dem Wasser : Einfluss von Oberflächenabfluss und Infiltration auf die Böschungsstabilität ungesättigter Hänge  
**Autor:** Seifert, Jochem  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-178493>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 20.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# DIE GEFAHR KOMMT MIT DEM WASSER

## Einfluss von Oberflächenabfluss und Infiltration auf die Böschungsstabilität ungesättigter Hänge



**DIPLOMAND** Jochem Seifert

**BETREUER** Hansruedi Schneider, Prof. Dr. M.Sc., Christian Bommer, M.Sc.

**EXPERTE** Rolf Guldenfels, Dr., dipl. Bauing. ETH

**DISZIPLIN** Geotechnik

**Regenniederschläge beeinflussen die Hangstabilität: Durchnässte Böschungen können instabil werden und rutschen. Um vorhersagen zu können, wie sich potenziell gefährdete Hänge bei heftigen Niederschlägen verhalten, ist es wichtig, den Einfluss der Wassermenge auf den Sicherheitsfaktor der Böschungsstabilität zu kennen.**

Jedes Jahr ereignen sich kleinere und grössere Hangrutsche, die meist durch extreme Regenfälle ausgelöst werden. Infolge des wachsenden Siedlungsraumes werden solche Gefahrenzonen vermehrt bebaut. Immer häufiger kommen daher Immobilien, Infrastruktureinrichtungen und auch Menschen zu Schaden. Zurzeit wird deshalb in der Geotechnik intensiv geforscht, um genauere Prognosen für Hangrutsche zu ermöglichen und das Risiko an gefährdeten Standorten zu minimieren.

### IM FOKUS DER ANALYSE

In dieser Arbeit wurde der Einfluss des Klimas auf die Stabilität von ungesättigten Hängen untersucht – Hänge, die die theoretisch mögliche maxi-

male Wassermenge noch nicht aufgenommen haben. Die zeitlich veränderliche Böschungsstabilität eines solchen Hanges infolge von Niederschlägen und deren Infiltration soll quantifiziert werden. Die Wirkung von Regendauer und -intensität, Oberflächenabfluss und Infiltration, Evapotranspiration sowie Wurzelwerk der Vegetation stehen dabei im Fokus der Analyse.

### SICHERHEITSAKTOR DER BÖSCHUNG

Mithilfe einer Software aus der Geotechnik (GeoStudio) konnte der komplexe Einfluss von Klimafaktoren auf einen Hang simuliert werden. Die Software quantifiziert die räumliche und zeitliche Variation der Porenwasserspannungen aufgrund von Klimadaten. Mit der Grenzgleichgewichtsmethode nach Morgenstern und Price wurde dann der Sicherheitsfaktor der Böschung eruiert. Die Modelle wurden mit Klimadaten des Katastrophenjahres 2005 und Bodenkennwerten eines gefährdeten Hanges gespeist, der zuvor in einer Dissertation an der ETH Zürich detailliert untersucht worden war.



01

60

### GRAVITATIVE NATURGEFAHR

Die Simulationen haben gezeigt, dass die Sicherheit von ungesättigten Hängen in hohem Mass von den Porenwasserspannungen im Boden und somit vom Klima abhängt. Je kleiner die Sättigung eines Bodens ist, desto grösser wird die scheinbare Kohäsion, die dem Boden zusätzliche Festigkeit verleiht. Wird die Sättigung aber durch die Infiltration von Niederschlag erhöht, so werden die Saugspannungen zerstört, und die Hangstabilität wird vermindert. Die Wirkung dieser Saugspannungen kann auch am Beispiel von Sandburgen veranschaulicht werden: Feuchter Sand ist gut modellierbar und formstabil, solange er nicht vollständig mit Wasser gesättigt ist.

### AUFSÄTTIGUNG UND EVAPOTRANSPIRATION

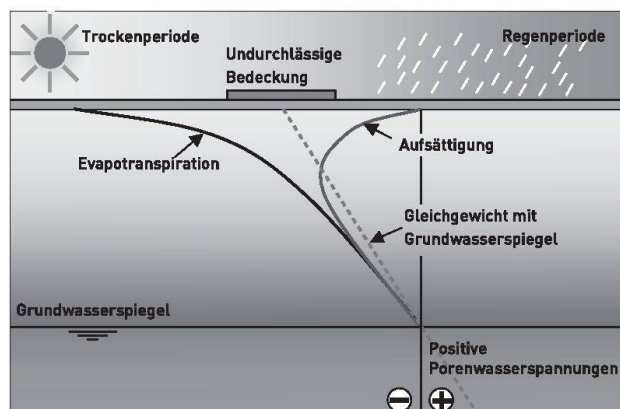
Der Niederschlag ist die Klimakomponente, die unmittelbar für die Hanginstabilität verantwortlich ist. Die Studie legt jedoch dar, dass es nicht heftige Regenereignisse als solche waren, die im August des Jahres 2005 in der Schweiz zu diversen Hangrutschen führten, sondern die gefährliche Kombination aus einer hohen kumulierten Niederschlagsmenge und einem darauf folgenden Extremereignis.

Im Gegensatz zum Niederschlag entzieht die Evapotranspiration dem Boden Wasser und fördert damit die Stabilität eines Hanges. Die Grösse der Evapotranspirationsrate kann je nach Neigung

und Exposition eines Hanges aufgrund des Einfallswinkels der Sonne sehr unterschiedlich ausfallen. Hänge mit südlicher Ausrichtung konnten dank der exzessiven Verdunstung die ausgiebigen Niederschläge im Sommer 2005 kompensieren und damit den Sicherheitsfaktor stabilisieren oder sogar erhöhen.

### GRASWURZELN BEWEHREN DEN HANG

Die zusätzliche Kohäsion eines Bodens durch Graswurzeln beträgt gemäss diverser Literatur in der Schweiz durchschnittlich 8.0 kPa. Graswurzeln können die Sicherheit eines typischen Hanges bei einer mittleren Wurzeltiefe von 50 cm also um rund 4% steigern.



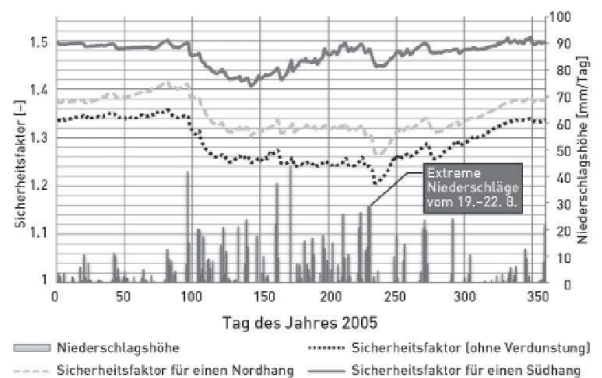
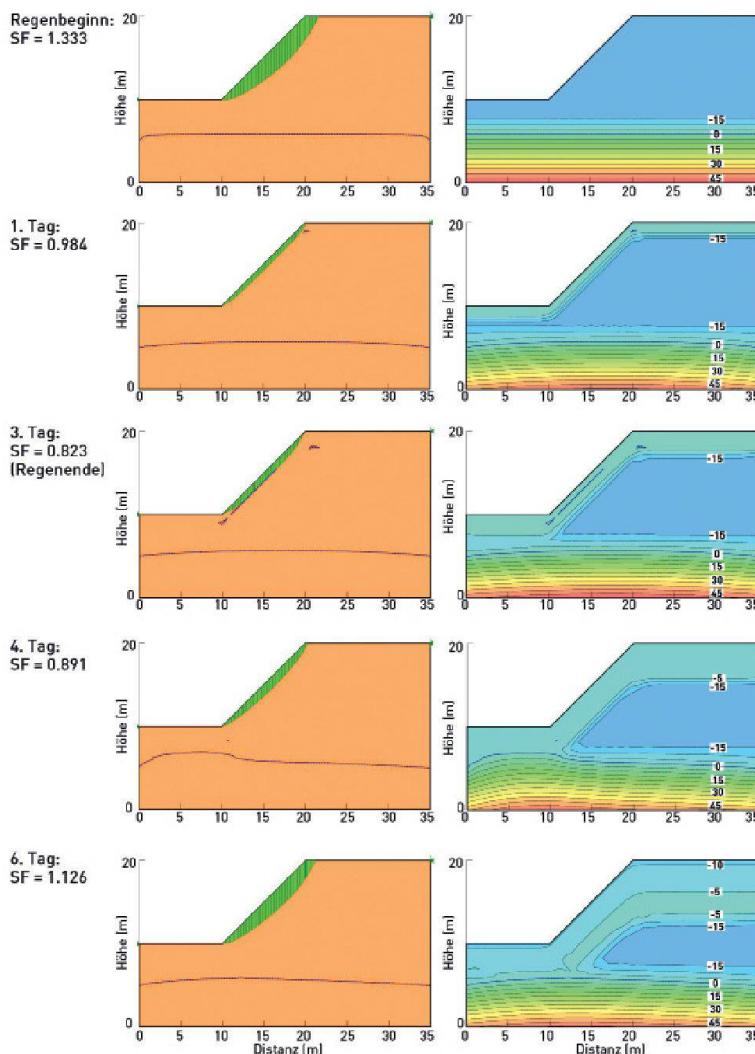
02



Landslides that are mostly triggered by heavy rainfall are a major natural disaster. Geotechnical research is working on more precise prediction methods to minimize the risk at landslide-prone locations.

This study investigated the climatic impact on the stability of unsaturated slopes – slopes that have not yet attained their maximum theoretical water saturation. For this purpose, the complex effect of climatic factors is simulated on a slope. Simulations show that the safety of unsaturated slopes is dependent on pore water pressures in the soil and therefore on the climate. The lower the soil satu-

ration, the greater the apparent cohesion that lends additional strength to the soil. If saturation increases by the infiltration of precipitation, suction pore pressure is destroyed and slope stability is reduced. There is a direct correlation between the climate component precipitation and slope instability. In August 2005, a combination of high accumulated precipitation followed by an extreme incident resulted in a number of landslides. In contrast to precipitation, evapotranspiration extracts water from the soil and therefore promotes slope stability. Even grass roots can increase soil cohesion and therefore slope stability.



04

01 Erdbeben bei Bülthüsli bei Entlebuch LU aus dem Jahr 2005. Infolge der schweren Niederschläge vom 19. bis zum 22. August trat ein oberflächennaher Hangrutsch auf

02 Die Porenwasserspannungen verändern sich bei regnerischem oder sonnigem Wetter: ihr typischer Verlauf im Boden in Abhängigkeit vom Klima

03 Wenn sich die Porenwasserspannungen verändern, verändert sich auch der Bruchkreis im Hang: Variation der Porenwasserspannungen (rechts) und oberflächennaher Bruchkreise (links). Visualisiert ist die Wirkung eines dreitägigen Regens (Intensität = 10 mm/h)

04 Variation des Sicherheitsfaktors gegen Hangrutsch in Abhängigkeit von der Hangexposition, der Niederschlagsstärke, vom kumulierten Niederschlag und von der Jahreszeit. Ergebnisse der numerischen Simulation für das Jahr 2005; die Neigung des betrachteten Hanges beträgt 45°



