

# Numerische Simulation von flexiblen Steinschlagschutzsystemen

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Volkwein, Axel

**Publication date:**

2004

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004843866>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISS. ETH Nr. 15641

# Numerische Simulation von flexiblen Steinschlagschutzsystemen

A B H A N D L U N G  
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

AXEL KURT HANS VOLKWEIN

Dipl.-Ing., Universität Karlsruhe (TH)

geboren am 11. April 1974

in München, Deutschland

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Edoardo Anderheggen

Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Wagner

2004

## Abstract

Today's flexible rockfall protection barriers have reached a development stage above which a much greater effort is required to extend their rockfall retaining capacity. The numerical simulation of these protection barriers enables a more efficient development of new types due to a reduced number of expensive field tests using prototypes. The barriers analysed within the research project, this thesis is part of, consist of steel posts to which supporting and restraining cables are connected. Special brake elements capable to absorb the energy of the falling rock are integrated into the cables. The rock is caught by steel ring nets spanned by the supporting cables.

These flexible protection systems have gained importance because of their ability to stop a rock gently within a longer braking distance of about 3 - 10 m. This results in a considerable peak-load reduction in all components of the protection system and its foundations.

The specially developed software application FARO simulates the dynamic behaviour of a spherical rock stopped by such a protection barrier in many short time-steps by the central differences method. This enables a detailed view of the dynamics of the modelled barrier and also provides information on its loading and degree of utilisation. The results of the simulations are compared to the field tests carried out within the research project.

The single barrier components are modelled by discrete elements with non-linear material properties. Due to the large displacements to be modelled, geometrical non-linearities are also considered. The elements simulating the net rings and the cables have been newly developed so as to handle different long distance glides. At first, the net rings can arrange themselves according to their loading. Then, so-called curtain effects take place as several net rings glide along the supporting cable. Finally, when the brake elements are lengthened, the cables also glide over the heads of the posts or over the ground plates. All cable and rock related gliding effects can also consider the friction.

The falling rock is modelled as a spherical rigid body considering large three-dimensional displacements and rotations, the latter handled by Euler-parameters. A special contact algorithm is used for modelling the interaction between the rock and the barriers, respectively the nodes of the net elements. Frictional effects have also been taken into account. A thin elastic layer around the rock reduces unwanted spurious peaks in the deceleration curve of the rock.

The use of the software provides the possibility to develop new barrier types or to optimise existing ones. Additionally, special load cases that cannot be reproduced in field tests can be checked, as well as special geometrical boundary conditions of a barrier projected to be built at a certain location. For the projecting engineer, the steady comparison of computational results with performed field tests or real rockfall events helps to improve his built finite-element-models and the assessment of the computer simulation.

## Kurzfassung

Die Leistungsfähigkeit der heutigen flexiblen Steinschlagschutzverbauungen konnte in den letzten Jahren dermassen gesteigert werden, dass eine Weiterentwicklung für noch höhere Energien einen grösseren Aufwand zur Folge hat. Die numerische Simulation von flexiblen Steinschlagschutzverbauungen erlaubt eine effizientere Entwicklung von neuen Barrieren durch eine reduzierte Anzahl von aufwändigen und kostenintensiven Prototypversuchen. Im Rahmen des durchgeführten Forschungsprojekts wurden Verbauungen bestehend aus sog. vierfach verhängten Ringnetzen, auf- bzw. abgespannt durch Stützen und Stahlseile mit integrierten Bremsen, untersucht. Im Unterschied zu den starren Verbauungen können die flexiblen den Steinschlag mit einem langen Bremsweg von 3 – 10m sanft abbremsen. Dies wiederum reduziert die Belastungsspitzen aller Verbauelemente sowie der oftmals sehr teuren Verankerungen.

Das entwickelte explizite Finite-Element-Programm FARO simuliert in sehr kleinen Zeitschritten den dynamischen Abbremsprozess eines kugelförmigen Steins in einer solchen Verbauung. Damit erhält man eine Offenlegung der dynamischen Vorgänge innerhalb der modellierten Verbauung sowie Aussagen über deren Be- bzw. Auslastung. Die Simulationsergebnisse werden anhand von im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführten Feldversuchen validiert.

Die einzelnen Verbauelemente werden durch diskrete Elemente abgebildet, welche nichtlineares Materialverhalten und durch die verbauungsbedingten grossen Verformungen auch geometrische Nichtlinearitäten aufweisen. Speziell entwickelt wurden dabei Elemente zur Simulation der Netze und der Seile welche diverse Gleitprozesse auch über längere Distanzen abbilden können. Dazu gehören die Ausrichtung der Netze entsprechend ihrer Belastung innerhalb des Ringnetzes, der sog. Vorhängeffekt beim Ausrichten der Netze entlang der Tragseile sowie das Gleiten der Tragseile über Stützenköpfe oder Bodenverankerungen, wenn sich die angehängten Bremsen verlängern. Die Gleitprozesse an den Tragseilen können auch reibungsbehaftet modelliert werden.

Der fallende Stein wird als Starrkörper unter Berücksichtigung von grossen Drehungen im Raum beschrieben. Ein spezieller Kontaktalgorithmus regelt die Interaktion zwischen Stein und Modell der Verbauung respektive den Elementknoten unter Berücksichtigung der dabei auftretenden Reibung. Eine eingeführte sehr dünne elastische Hülle um den Stein herum reduziert nur in der Simulation und nicht in der Realität auftretende Spitzen in der Verzögerungskurve des Steins.

Mit Hilfe des Simulationsprogramms ist es möglich, neue Verbauungen zu entwerfen, bestehende Systeme zu optimieren oder besondere Lastfälle und lokale Anforderungen an eine projektierte Verbauung zu überprüfen. Eine stete Kontrolle der Berechnungsergebnisse mit durchgeführten Versuchen oder realen Steinschlagereignissen verbessert die numerische Modellerstellung und erlaubt eine Plausibilitätsschätzung der Ergebnisse.