

**FELSSTURZGEFAHR "KLEINER JOCHSCHROFEN"
ALLGÄU, BAYERN, DEUTSCHLAND**

**ROCKFALL HAZARD "KLEINER JOCHSCHROFEN"
ALLGAEU, BAVARIA, GERMANY**

Christof Kuhn¹ und Jean F. Schneider²

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Verbesserung existierender Felssturzsimulationsmodelle bot sich der Abbau einer Felswand durch Sprengung an, um die entstehenden Felsstürze zu filmen und dadurch Daten über Reichweiten, Sprunghöhen und Blockgeschwindigkeiten zu gewinnen. Typische Blöcke erreichten nach einem Fall von 50 m Reichweiten von 130 m bei Geschwindigkeiten von 40 bis 70 km/h (maximal 130 km/h). Die Sprunghöhen blieben meist unter 4 m. Bemerkenswert war der Einfluß des Felsvolumens und der Kornsortierung in der Halde. Diese Werte wurden mit den Ergebnissen dreier Modelle ("Mittlere Neigung der Sturzbahn", "ROFMOD3" und "CRSP3") verglichen. Besonders sensibel auf geänderte Parameter reagierte die Reichweite, während sich die berechneten Geschwindigkeiten als recht zuverlässig erwiesen. Für grobe Richtwerte für die Reichweite reichte die Methode der Mittleren Neigung der Sturzbahn aus.



ABSTRACT

In order to improve the rockfall simulation models that have been designed so far, the artificial removal of a rock face by blasting provided the opportunity of filming rockfalls and collecting data on block velocities, bounce heights and run-out distances. Typical blocks travelled distances of about 130 m after a 50 m free fall. Mean velocities varied from 40 to 70 km/h, with a maximum of 130 km/h. Bounce heights rarely exceeded 4 m. The influence of the falling rock volume and the high impact of grain sorting in the scree slope were two of the most remarkable observations. These values were compared to the results of three simulation models (shadow angle method, "ROFMOD3" and "CRSP3"). The variations in the chosen parameters had considerable impact on calculated run-out distances, whereas the block velocities better matched the observations. For rough estimates, the shadow angle method proved sufficiently accurate.

¹ Diplomand am Institut für Angewandte Geologie (E-Mail: kuhn@edv1.boku.ac.at)

² Ordinarius des Instituts für Angewandte Geologie; beide: Universität für Bodenkultur Wien, Peter-Jordan-Str.70, A-1190 Wien, Österreich (Tel.: +43-1-47654-5400, Fax: +43-1-47654-5449, E-Mail: schjfg@edv1.boku.ac.at)

EINFÜHRUNG



Diese Arbeit entstand im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Angewandte Geologie an der Universität für Bodenkultur Wien. Sie war ein Bestandteil des Projekts "Georisk" des Bayrischen Geologischen Landesamts, das die Erfassung und Bewertung von Naturgefahren in Bayern zum Inhalt hat. Eines der Projektgebiete war der Kleine Jochschrofen bei Oberjoch (Gem. Hindelang) im Landkreis Oberallgäu (Abb. 1).

Abb. 1 Lage des Projektgebietes

Von April bis August 2000 wurden Teile der Felswand am Kleinen Jochschrofen gesprengt (Abb. 2). Grund dafür war die Gefährdung der B308 (einer wichtigen Verbindung zwischen Tirol und dem Allgäu), die aus möglicherweise herabstürzenden Felsblöcken bestand. Starke Regenfälle hatten die kontinuierliche Abwärtsbewegung von mehreren Felsstürmen im Jahre 1999 beschleunigt, und man mußte bei weiteren Regenfällen mit Abstürzen rechnen, die im Interesse der Sicherheit der Straßenbenutzer nicht zu verantworten gewesen wären. Die bei den Sprengungen auftretenden kontrollierten Felsstürze wurden dazu benützt, die auftretenden Phänomene zu filmen und dadurch Anhaltspunkte für die Simulation von Felsstürzen zu erhalten.

Dies wird durch die zunehmende Verbauung in alpinen Gebieten zunehmend wichtiger – man denke nur an die Felsstürze vom Eiblschrofen in Schwaz im Jahre 1999.

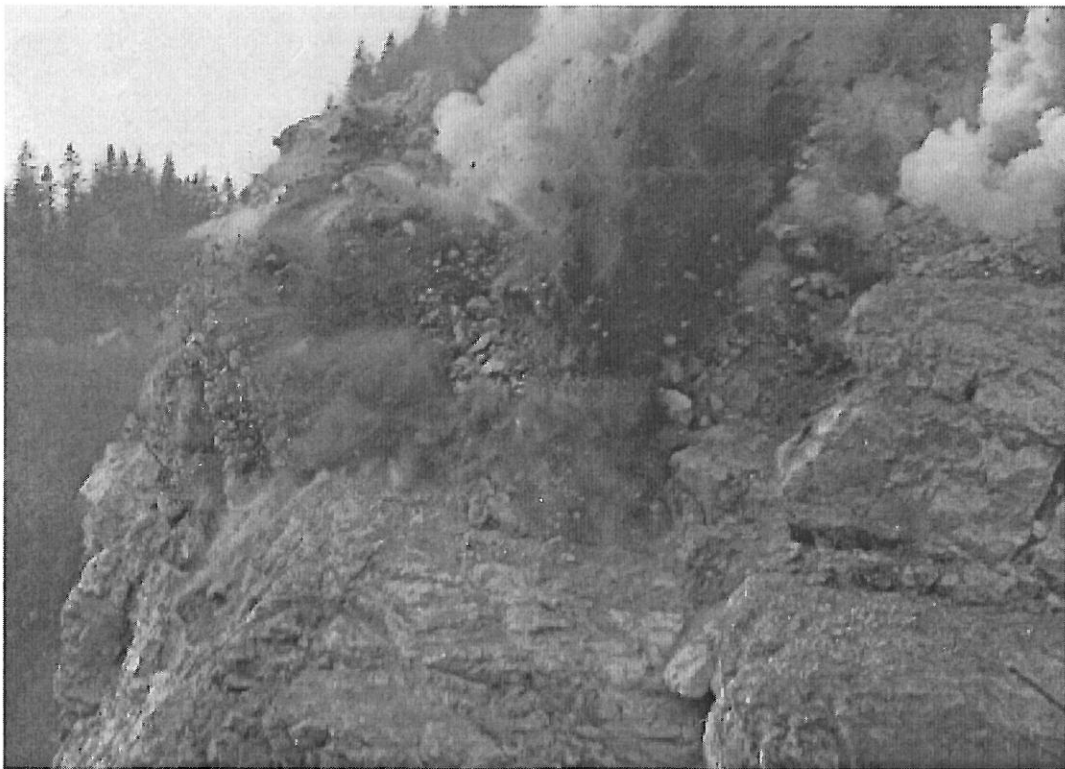


Abb. 2 Sprengung am 17.Mai 2000

ZIELE DES PROJEKTS

Einerseits sollten die Entfernung der Felswand und die auftretenden Felsstürze möglichst umfassend dokumentiert werden. Andererseits sollten physikalische Größen erfaßt werden, die maßgeblich für die Bewegung der Sturzblöcke entlang der Halde sind. Dabei handelt es sich zunächst um die Abmessungen der Sturzhalde (insbesondere die Neigung), die Oberflächenbeschaffenheit der Halde (Rauigkeit und Dämpfung) und die Eigenschaften der Sturzblöcke (Größe, Form). Weiters sollten die auftretenden Blockgeschwindigkeiten, Sprunghöhen, Sprungweiten und Reichweiten analysiert werden.

Mit diesen Erkenntnissen sollte versucht werden, die dokumentierten Felsstürze mit bereits vorhandenen Computersimulationsprogrammen nachzuvollziehen. Gegebenenfalls sollten Verbesserungsvorschläge gemacht werden, um deren Zuverlässigkeit bei der Vorhersage der Reichweite von Felsstürzen in anderen gefährdeten Gebieten zu erhöhen.

ANGEWANDTE METHODEN

Erheben von Grundlagen, Kartierung

Zunächst wurden die bereits vorhandenen Arbeitsunterlagen des Bayerischen Geologischen Landesamts und der planenden Firma Geotest AG (Schweiz) erhoben. Weiters wurden auf der Grundlage einer Detailkarte der Technischen Universität München die Geologie der Felswand, der darunter befindlichen Schutthalde und der näheren Umgebung untersucht. Außerdem wurden bisher durchgeführte Arbeiten und Simulationsmodelle studiert (Meissl 1998, Zinggeler 1989).

Filmen und Photographieren der Felsstürze

Mit mehreren digitalen Videokameras wurden insgesamt acht Felsstürze gefilmt. Weiters wurden vor und nach einem Felssturz die Felswand und die Schutthalde photographiert, um die Veränderungen ermitteln zu können. Aus den Aufnahmen konnten Sturzgeschwindigkeiten, Sprunghöhen, Sprunghöhen und Reichweiten abgeschätzt werden. Als Teil der Diplomarbeit liegt ein Videofilm mit den Aufnahmen der gesamten Arbeiten vor, der am Institut für Angewandte Geologie erhältlich ist.

Simulation der Felsstürze, Vergleich mit den beobachteten Verhältnissen

Es wurden drei Simulationsmodelle für den Vergleich mit den Beobachtungen herangezogen:

- Das Computerprogramm ROFMOD3 der Firma Geotest AG, Schweiz (Zinggeler 1989). Es ist noch nicht am Markt erhältlich. Sowohl die Reichweite als auch die Verteilung von Geschwindigkeit und Sprunghöhen können abgeschätzt werden.
- Das Colorado Rockfall Simulation Program des Colorado Department of Transportation, USA (Pfeiffer & Bowen 1989). Es können sowohl die Reichweite als auch die Verteilung von Geschwindigkeit und Sprunghöhen abgeschätzt werden.

- Die rein geometrische Methode der "Mittleren Neigung der Sturzbahn" (Evans & Hungr 1988). Die M.N.S. ist die Neigung der Verbindungslinie Wandfuß – Endpunkt der Sturzbewegung; sie ist unter ähnlichen Bedingungen recht konstant. Daher kann die Reichweite von Felsstürzen grob abgeschätzt werden, wobei dies auch für größere Räume möglich ist. Für die Bayerischen Kalkalpen werden Werte um 30° vorgeschlagen (Meissl 1998).

Abhängig von den vorgefundenen Block- und Hangeigenschaften wurden die Eingangsparameter für die Modelle gewählt (Geometrie, Rauigkeit, Dämpfung, Blockform und –größe), wobei zunächst die Empfehlungen der Modellentwickler herangezogen wurden. Bei Bedarf wurden diese Größen angepaßt, bis Übereinstimmung mit den tatsächlichen Verhältnissen erreicht war.

ERGEBNISSE

Grundlagen, Kartierung



Abb. 3 Zustand der Felswand vor Beginn des Abbaus, unten die B308

Der Kleine Jochschrofen, der sich über der B308 befindet, liegt an der Stirn der Nördlichen Kalkalpen und besteht aus Hauptdolomit (Obertrias). An seiner Basis liegt eine weiche Gesteinsschicht (Arosazone), die sich bei Durchnässung wie ein Schmiermittel verhält. Auf dieser Schicht glitten die Felsstürme ab. Daher mußten diese Felsstürme kontrolliert entfernt werden, wobei die Straße mit einer Deckschicht geschützt wurde. Insgesamt sollten etwa 36.000 m³ bzw. 100.000 t abgetragen werden, schließlich wurden es jedoch über 70.000 m³ bzw. 200.000 t.

Die Oberkante der Felswand liegt auf einer Seehöhe von 1140 m, die Unterkante bei 1070 m. Die Straße quert die Halde bei 1030 m (mit einem Abstand von etwa 50 m), die nächste Kehre, bei der ein Schutzgraben und –wall errichtet wurde, liegt knapp über 1000 m (Abstand vom Wandfuß 130 m).

Die ursprüngliche Schutthalde wies einen Winkel von etwa 35° auf und war größtenteils mit Mutterboden bedeckt. Einige Blöcke von bis zu 3.000 t sind in den vergangenen Jahrhunderten bis über die heutige Straßentrasse gestürzt. Der ursprüngliche Waldbestand war im Winter 2000 gefällt worden.

Ergebnisse der Film- und Photoaufnahmen

Zu Beginn der Abbauarbeiten (April 2000) erreichten die größten Blöcke (\varnothing 50 bis 100 cm) höchstens die Straße, die meisten blieben jedoch darüber liegen, da die Sturzbewegung einerseits noch vom weichen Mutterboden gebremst wurde und andererseits die Hangneigung noch geringer war als die für diesen Schutt maximal mögliche (38°). Bald wurde jedoch der Raum oberhalb der Straße mit frischem Schutt aufgefüllt, wodurch sich die Hangneigung auf 37° erhöhte (Abb. 4). Immer mehr Blöcke überquerten die Straße, die meisten jedoch wurden auf der überdeckten Straße, die ein großes Hindernis darstellte, zum Stillstand gebracht. Die erreichten Geschwindigkeiten betragen etwa 40 km/h.



Abb. 4 Felswand mit Halde von Westen. Rechts unten die B308.

Anfang Mai erreichten die ersten Blöcke (\varnothing 2 m) den Schutzwall. Die Hangneigung flachte sich wieder auf 35° ab, da die Sturzblöcke im Oberhang bereits sehr schnell wurden (bis 70 km/h) und den Unterhang zum Auslaufen benötigten. Nur Kies und kleine Steine (\varnothing bis 50 cm) blieben über der Straße liegen. Die maximalen Sprunghöhen betrugen gut 1 m, in Ausnahmefällen bis 4 m. In einem Fall wurde eine Geschwindigkeit von 130 km/h beobachtet. Jener Block war vermutlich am Wandfuß noch am harten Fels aufgeprallt und wurde daher mit geringem Energieverlust weggeschleudert.

Ende Mai war die Straße komplett eingeschüttet, sodaß sie keine bremsende Stufe mehr darstellte. Daher erreichten immer mehr Blöcke den Damm. Der größte Block (\varnothing 5 m) hatte eine Masse von etwa 300 t, er rollte mit etwa 30 km/h die Halde hinunter, ohne zu springen, da er alle Hindernisse niederwalzte (Abb. 5). Ein Block von etwa 1.5 m \varnothing durchschlug sogar die Dammkrone, blieb aber knapp darunter liegen. Ein anderer (\varnothing 2 m) rollte hingegen seitlich am Damm vorbei und gelangte erst 70 m hinter dem Damm im Wald zum Stillstand.

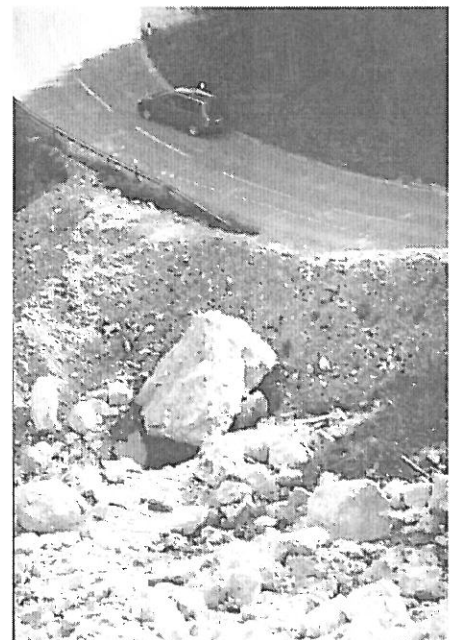


Abb. 5 Felsblock von 5 m \varnothing im Graben vor der nächsten Kehre

Auffällig war eine gute Sortierung der Korngrößen beim Entfernen des Schutts durch Bagger (Kies und Steine bis \varnothing 20cm im Oberhang, fast alle großen Blöcke ganz unten; siehe Abb. 6), während bei Sprengungen mit größeren Felsstürzen (mehrere 1000 m³) ein Großteil des Schutts unsortiert weiter oben liegen blieb.



Abb. 6 Überschüttete B308 von Osten. Gute Sortierung erkennbar.

Zu Abschluß des Felsabtrags reichte eine mächtige Schutthalde bis zum Schutzwall. Diese mußte nun weiter nach unten geräumt werden, um die Straße, die bis 10 m überschüttet war, wieder freizulegen. Sie war durch die enorme Auflast ein wenig in Mitleidenschaft gezogen worden, konnte jedoch bald wieder für den Verkehr freigegeben werden (Abb. 7).



Abb. 7 Freigelegte und reparierte B308 im August 2000.

Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Beobachtungen

Mittlere Neigung der Sturzbahn

Die M.N.S. war zu Beginn im April etwa 37° (als die Halde noch mit Mutterboden bedeckt war) und nahm bis Juni 2000 auf 30° ab, als viele größere Blöcke den Damm erreichten (Abb. 8). Ohne den Damm wären die Blöcke aber weiter gerollt, sodaß Werte bis 25° realistisch gewesen wären. Die gefundenen Werte decken sich recht gut mit dem für die Bayerischen Kalkalpen vorgeschlagenen von 30° (Meissl 1998). Die Kenntnis der genauen Geometrie der Böschung ist dabei von großer Bedeutung für die richtige Simulation.

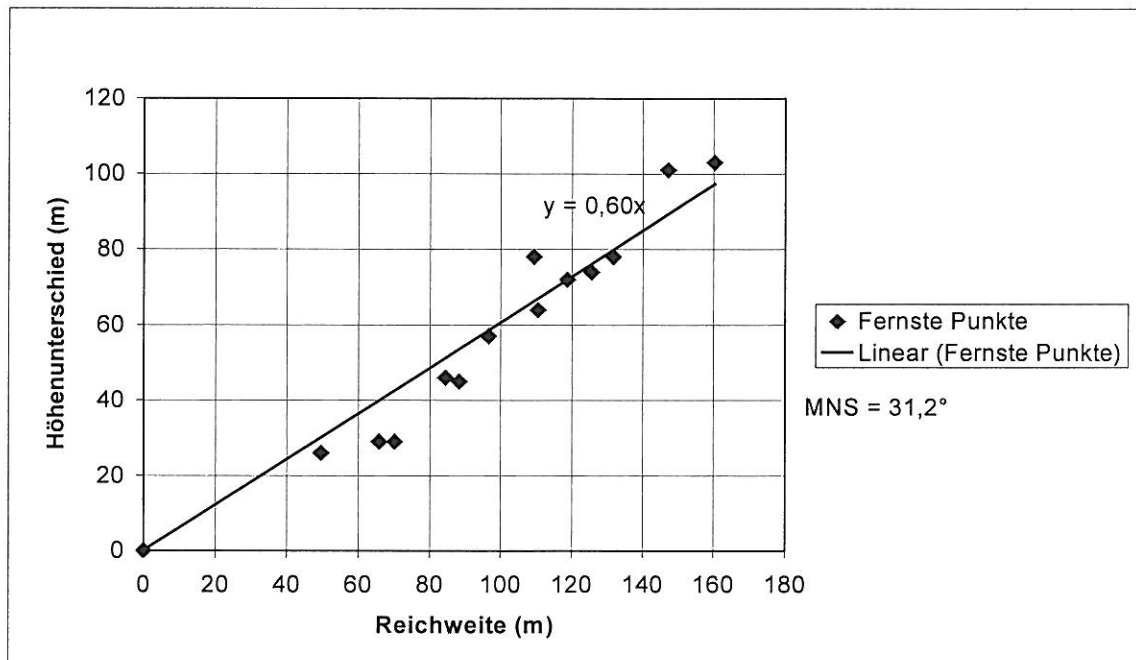


Abb. 8 Mittlere Neigung der Sturzbahn für mehrere Blöcke im Mai 2000

Computerprogramm ROFMOD3

Die ermittelten Geschwindigkeiten von 30 bis 100 km/h wiesen eine gute Übereinstimmung mit den beobachteten auf (0 bis 130 km/h). Allerdings wurden zu große Reichweiten vorhergesagt (150 m statt 80 bis 150 m mit einem Ausreißer von 200 m). Es wurde also ermittelt, daß alle Blöcke den Damm erreichten, während viele Blöcke tatsächlich bereits davor liegen blieben. Nur bei Annahme von unrealistisch hoher Dämpfung und Rauigkeit konnten geringere Reichweiten simuliert werden. Stets wurde jedoch eine zu geringe Streuung der Werte ermittelt, d.h. die Blöcke hatten alle sehr ähnliche Sturzbahnen, während im Feld weitaus größere Unterschiede beobachtet wurden. Hindernisse wie die Straße und der Damm zeigten große Bedeutung für die Simulation, was die Beobachtungen bestätigten.

Computerprogramm CRSP3

Sowohl Geschwindigkeiten (0 bis 100 km/h, $\bar{\varnothing}$ 50 km/h) als auch Sprunghöhen (0 bis 3 m, $\bar{\varnothing}$ 1 m) und Reichweiten (25 bis 150 m, $\bar{\varnothing}$ 100 m) wurden relativ gut angenähert, wobei insbesondere die Reichweite sensibel auf die gewählten Sturzbahnparameter reagierte. Ebenso wichtig waren Änderungen in der Geometrie der Halde. Große Blöcke erzielten größere Reichweiten als kleinere, was gut mit der beobachteten Sortierung in der Halde übereinstimmte. Das Verhalten von größeren gemeinsam abstürzenden Felsmassen konnte jedoch nicht simuliert werden.

DISKUSSION

Offensichtlich ist die genaue Kenntnis der Geometrie und der Eigenschaften der Böschung von entscheidender Bedeutung. Geringe Änderungen wirkten sich bei allen drei Modellen gravierend aus, sodaß realistische Prognosen nur bei Vorliegen guter Feldaufnahmen und deren richtiger Interpretation möglich sind.

Daß im Verband abstürzende Felsmassen von mehreren 1000 m³ geringere Reichweiten erreichen, war für den Autor überraschend, da üblicherweise größere Felsstürze größere Reichweiten erreichen. Offensichtlich tritt letzteres Phänomen erst bei noch größeren Felsstürzen (mehrere 10.000 m³) auf. Der Fehler bei der Simulation liegt jedoch auf der sicheren Seite – daher besteht kein erhöhtes Risiko dadurch, daß dieser Effekt noch nicht simuliert werden kann. Die Sortierung in der Sturzhalde ist ein Phänomen, das offensichtlich in den Simulationen noch etwas zu kurz kommt. Insbesondere von Bedeutung ist, daß große Blöcke nahezu ungebremst die Halde hinunterrollen, solange sich nur kleinere Steine darin befinden.

Was von den Computerprogrammen am besten simuliert wurde, ist die Geschwindigkeit. Dies ist von Vorteil für die Planung und Bemessung von Steinschlagschutzbauten, die auf eine gewisse Geschwindigkeit und Masse von Blöcken ausgelegt sind. Was die Reichweite betrifft, steht die einfache Methode der Mittleren Neigung der Sturzbahn den Computerprogrammen nur wenig nach und bietet sich daher für großräumige Abschätzungen an.

AUSBLICK

Weitere Überlegungen zur Reichweite von Felsstürzen werden sich weiterhin besonders auf die zutreffende Ermittlung der Hangeigenschaften konzentrieren müssen. Außerdem muß bei Planungen die Geometrie des Hangs sehr genau erfaßt werden, da geringe Fehler in der Neigung bereits große Fehler in der Reichweite ergeben können. Schließlich ist es von großer Wichtigkeit abzuschätzen, wie groß die zu erwartenden Sturzblöcke sind, was eine genaue geologische Kartierung des potentiellen Ausbruchsbereichs erfordert.

Jedenfalls wird es angesichts des Gefahrenpotentials für Menschen und Bauwerke auf absehbare Zeit trotz aller Computerprogramme Fachleuten vorbehalten bleiben, Prognosen über Felsstürze zu erstellen und die raumplanerisch tätigen Politiker in ihren verantwortungsvollen Entscheidungen zu unterstützen.

ANHANG I: LITERATUR

- Evans S.G., Hungr, O. (1988). Engineering evaluation of fragmental rockfall hazards. Proc. 5th Intern. Symp. on Landslides Lausanne, Bd.1, S.685-690.
- Meissl G. (1998). Modellierung der Reichweite von Felsstürzen. Dissertation an der Universität Innsbruck, Österreich. Innsbrucker Geographische Studien, Bd. 28.
- Pfeiffer T.J., Bowen T.D. (1989). Computer Simulation of Rockfall. Bulletin of the Association of Engineering Geologists. Nr.26, Bd.1, S.135-146.
- Zinggeler A. (1989). Steinschlagsimulation in Gebirgswäldern – Modellierung der relevanten Teilprozesse. Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Bern, Schweiz.