

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 145 (1994)

**Heft:** 1

**Artikel:** Massnahmen zum Schutz gegen Rutschungen und Steinschlag

**Autor:** Gerber, Werner / Böll, Albert

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-766575>

#### 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:** 14.01.2026

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

# **Massnahmen zum Schutz gegen Rutschungen und Steinschlag<sup>1</sup>**

Von Werner Gerber und Albert Böll

FDK 384:624.4

## **1. Einleitung**

Planung, Projektierung und Ausführung von Massnahmen zum Schutz gegen die Naturgefahren Hochwasser, Murgänge, Rutschungen und Steinschlag basieren unter anderem auf Gefahrenanalysen und Prozessstudien im Gelände. Weil die in Frage kommenden Schutzmassnahmen oft die Gefahrenreduktion begrenzen, bestimmen sie weitgehend das Restrisiko.

Unsere Lösungsansätze bei der Gefahrenbeurteilung und bei Fragen im Zusammenhang mit Schutzmassnahmen beruhen auf der ganzheitlichen Betrachtung von Wildbacheinzugsgebieten, auf Prozessstudien, Modellbetrachtungen und auf Detailuntersuchungen an Einzelobjekten. Neben Konstruktionen des Ingenieurbaus umfassen die Schutzmassnahmen auch technisch-biologische Systeme. Überdies erhalten und ergänzen sie die Schutzwirkung des Waldes. Ausser der Tragsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und dem Langzeitverhalten der Bauwerke interessieren besonders ihre Auswirkungen auf natürlich ablaufende Prozesse in der näheren und weiteren Umgebung und ihre Umweltverträglichkeit.

Im folgenden wollen wir unterscheiden zwischen Schutzmassnahmen, die zum Schutz eines Objektes errichtet werden und solchen, die am Ort der Schadenursache erstellt werden. Anhand von zwei Beispielen wollen wir typische Probleme beschreiben und Erkenntnisse vorstellen, die wir im Rahmen unserer Arbeiten gewonnen haben. Während bei Rutschungen vielfach die Schadenursachen bekämpft werden müssen, genügen bei Steinschlag Massnahmen zum Objektschutz.

<sup>1</sup> Nach einem Referat, gehalten am 28. Januar 1993 anlässlich der Tagung «Forum für Wissen» an der WSL in Birmensdorf.

## **2. Rutschungen**

Rutschungen sind natürliche Vorgänge, welche die Erdoberfläche mitgestaltet haben. Noch heute laufen solche Prozesse ab und beschädigen Wald, Verkehrswege oder Siedlungen. In Wildbachgebieten können Rutschungen nicht als selbständige Prozesse behandelt werden, sondern müssen in das Gesamtsystem Einzugsgebiet integriert werden. Nicht selten werden Rutschungen durch ein gleichzeitiges Hochwasser weitertransportiert und erst im Talkessel definitiv abgelagert. Solche Schäden sind jeweils viel grösser, als die Schäden, welche durch die Ablagerung der Rutschung im Gerinne entstanden wären.

### *2.1 Wildbacheinzugsgebiete*

Wildbäche durchfliessen die seitlichen, steilen Einzugsgebiete der Gebirgsflüsse. Folgen wir dem Niederschlag vom entferntesten Teil eines Wildbaches bis zur Mündung, können wir das Gebiet in die folgenden Bereiche unterteilen:

- Seitliche Einhänge des Baches
- Mittellauf des Wildbaches
- Kegelbereich im Haupttal

Wir wollen kurz auf die einzelnen Teilbereiche eingehen, bevor wir die eigentlichen Rutschungen behandeln. Dabei gehen wir entgegen der Fliessrichtung des Wassers, von unten nach oben vor. Dies hat den Vorteil, dass zuerst die Auswirkungen der Wildbäche und dann die Ursachen betrachtet werden können.

Die Wildbäche lagern ihr Geschiebe im Haupttal ab und haben im Laufe der Zeit die vielen Schwemmkegel gebildet, welche vom Gebirgsfluss umflossen werden. Meistens nimmt man gar nicht wahr, dass man auf einer derartigen Ablagerung steht. Die Schwemmkegel werden heute nicht nur landwirtschaftlich genutzt, sondern es befinden sich auch Verkehrsanlagen und Siedlungen darauf. Der eigentliche Wildbach wurde korrigiert, und er verläuft vielerorts als betonierte, trapezförmige Rinne inmitten von Häusern und Gärten. Betrachtet man nun das Längenprofil dieses Wildbaches, so ist das Gefälle gerade im bewohnten Bereich am kleinsten, also dort, wo man das Wasser des Wildbaches gefahrlos und ohne Schaden ableiten möchte. Die reduzierte Bachneigung verlangsamt aber die Fliessgeschwindigkeit, und das kann zur Ablagerung von Geschiebe führen. Bei normalen Hochwassern erfolgt dieser Geschiebetransport durch die Rinne zum Hauptbach. In vielen Fällen sind aber weitere Massnahmen zum Schutze der Siedlungen erforderlich. Vielfach bestehen diese Massnahmen im Bau einer Geschiebesperre am

Schwemmkegelhals des Wildbaches. Hier kann sich das Geschiebe ablagern, und es muss nur noch das Wasser weitergeleitet werden. Eine solche Sperre muss periodisch geleert werden, damit sie ihre Funktion erfüllen kann. Zur dauerhaften Geschiebereduktion sind an den gefährdeten Stellen im Mittellauf weitere Massnahmen erforderlich.

Im Mittellauf ist das Bachgefälle und somit auch die Fliessgeschwindigkeit wesentlich grösser. Die erodierende Kraft des Wassers bestimmt die Gerinneform. Bei normalen Hochwassern wird die grobblockige Bachsohle kaum verändert. Die geringeren Korngrössen können transportiert werden, ohne weitergehende Erosionen zu verursachen. Grössere Hochwasser hingegen vertiefen oder verbreitern je nach den örtlichen Verhältnissen das Gerinne. Solche Erosionen haben Auswirkungen auf die Stabilität der seitlichen Hänge. Die meisten Hänge sind von Natur aus in einem labilen Gleichgewicht; das heisst, dass eine kleine geometrische Änderung am Hangfuss Auswirkungen bis an die obere Hangkante haben kann. Um Erosionen und die weiteren Folgen zu verhindern, werden im Mittellauf der Wildbäche bauliche Massnahmen ergriffen. Meist werden Sperren aus Beton mit grösseren oder kleineren Seitenleitwerken erstellt. Durch den Einbau der Sperren wird das Bachgefälle lokal reduziert und die erodierende Kraft des Wassers verkleinert. Eine stabile Gerinnesohle ist Voraussetzung der Stabilität seitlicher Einhänge.

## 2.2 Rutschungen in seitlichen Einhängen

Rutschungen in den seitlichen Einhängen kann man auch auf andere Ursachen als die Gerinneerosion zurückführen: Infiltration von Wasser, bauliche Eingriffe, Entwaldung bzw. Zusammenbruch von Wald sind die wichtigsten. Im Zusammenhang mit solchen Rutschflächen stellen sich die folgenden Fragen:

- Besteht eine Gefahr für Bewohner, Anlagen, Kulturland und Wald in der unmittelbaren Umgebung der Rutschfläche?
- Besteht eine Gefahr für Unterlieger (zum Beispiel im Schwemmkegelgebiet) infolge Verlagerung des abgerutschten oder noch abrutschenden Materials durch den Bach bei Hochwasser?
- Welche Massnahmen sind erforderlich bzw. möglich zur Stabilisierung der Rutschflächen oder zur Vermeidung von Schäden?

Damit diese Fragen beantwortet werden können, braucht es detaillierte Kenntnisse über:

- die Morphologie des Geländes
- die Rutschungsmechanismen und die Bodenkennwerte (*Lang und Huder, 1990*)
- die Charakteristik des Gerinnes (*Vischer und Huber, 1979*)
- die Hochwasserabflüsse.

Meistens lassen sich ziemlich rasch Aussagen machen über das Gefahrenpotential und die Gefährdung einzelner Objekte. Aufgrund dieser Beurteilung müssen die Ziele der Schutz- und Sanierungsmassnahmen formuliert werden. Die Massnahmen werden aber nicht nur von technischen Überlegungen beeinflusst. Häufig spielen auch landschaftsschützerische und politische Gesichtspunkte eine Rolle. Eine einmal abgerutschte und dann erfolgreich stabilisierte Fläche zeichnet sich dadurch aus, dass auf ihr wieder eine dauerhafte Pflanzendecke gedeiht, auf der sich auch die natürliche Sukzession der Pflanzengesellschaften entwickeln kann. In der Regel dauert es allerdings ziemlich lange, bis sich die entsprechenden Zustände eingestellt haben. In schwierigen Fällen kann ein Erfolg erst nach Jahren oder gar nach Jahrzehnten bestätigt werden. Entsprechend dieser Zielvorstellung haben offensichtlich die ingenieurbiologischen Methoden, welche die bodenstabilisierende Wirkung von Pflanzen ausnützen, eine besondere Bedeutung.

### 2.3 Sanierung einer Rutschung

Im Fall der in Abbildung 1 skizzierten Rutschfläche in nichtbindigem Lockermaterial erkennt man sofort, dass sich die Fläche ohne technische Massnahmen nicht stabilisieren lässt. Harte technische Massnahmen sind zur Verhinderung der Gerinneerosion erforderlich, weniger harte und biologische Massnahmen zum Erreichen einer stabilen Hangneigung. Mit einer geschlos-

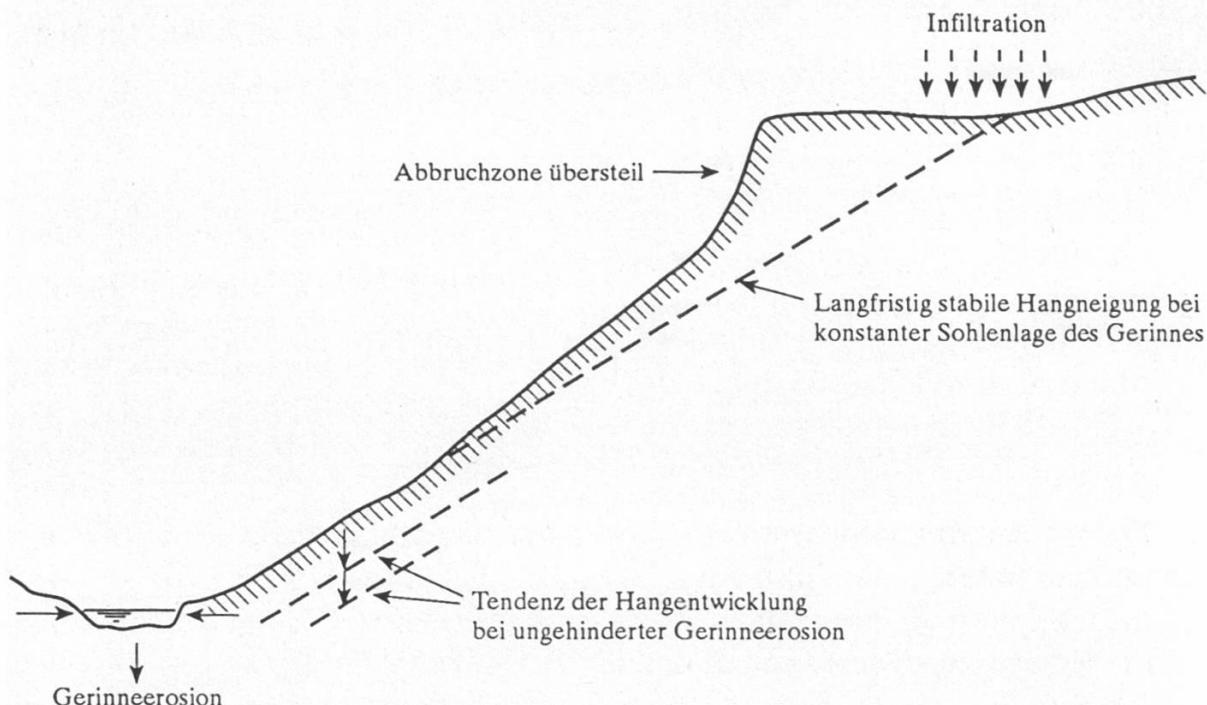
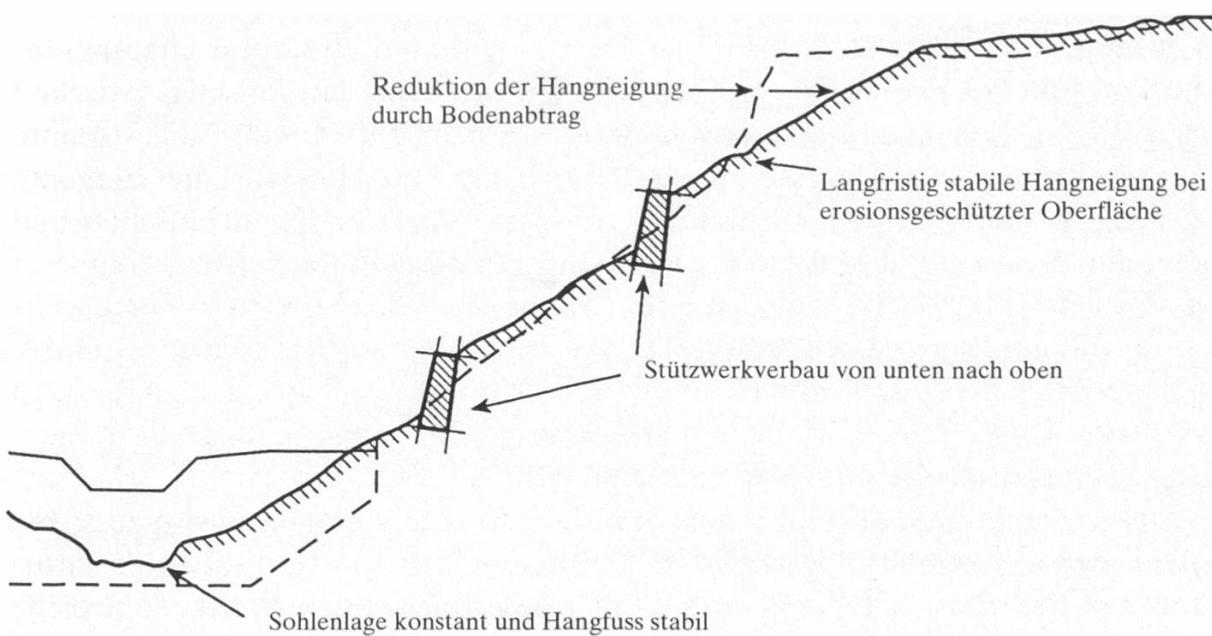


Abbildung 1. Profil durch ein Gerinne mit einem seitlichen Rutschhang in nichtbindigem Lockermaterial.



*Abbildung 2. Hangverbau mit Stützwerken und anschliessender Begrünung der Oberflächen nach erfolgter Stabilisierung der Gerinnesohle.*

senen Pflanzendecke schützt man schliesslich die ganze Oberfläche vor Erosion und dämpft auch den Einfluss schädigender Einwirkungen auf die Stützwerke.

In *Abbildung 2* wird vorausgesetzt, dass die Gerinnesohle fest und somit der Hangfuss stabil sei. Der technische Verbau der Rutschfläche erfolgt mit Stützwerken von unten nach oben. Dass die oberen steilen Hangpartien noch nicht stabilisiert sind und deshalb gelegentlich abbrechen, ist kein Nachteil; allenfalls sind die Stützwerke gegen Steinschlag zu schützen. In den meisten Fällen ist aber ein gewisser natürlicher Materialtransport sehr erwünscht, weil sich auf diese Weise die unteren Stützwerke am Hang hinterfüllen können, bevor die oberen Werke erstellt werden.

Für den Verbau der Rutschfläche mit ingenieurbiologischen Methoden bzw. für die Vegetationsentwicklung im allgemeinen gelten aber andere Voraussetzungen. Solange die übersteilen oberen Hangpartien nicht abgetragen sind, können dort keine Pflanzen gedeihen. Zudem ist die Entwicklung der Pflanzen auch auf den unteren, flacheren Hangabschnitten durch das herunterfallende Material sehr stark gestört. Aus ingenieurbiologischer Sicht ist demnach der Hang auf die langfristig stabile Neigung abzutragen, bevor mit der Bepflanzung begonnen wird. Die Vegetation sollte von oben nach unten eingebracht werden. Auf diese Weise sind die oberen Flächen vor Bodenabtrag geschützt, so dass kein Lockermaterial mehr auf die nachher zu begrünenden unteren Flächen fallen kann.

Die Randbedingungen für den technischen Verbau unterscheiden sich also grundsätzlich von jenen für die ingenieurbiologischen Massnahmen. Dieser Umstand erschwert die Arbeiten ganz beträchtlich. In vielen Fällen ist näm-

lich eine vorgängige Reduktion der Hangneigung im grösseren Umfang aus praktischen Gründen kaum möglich; darum muss ein Kompromiss zwischen den beiden Lösungen gefunden werden. Schlecht aufeinander abgestimmte Verfahren sind die Ursache vieler Rückschläge im Hangverbau. Elegante Lösungen zeichnen sich dadurch aus, dass die Vorteile der technischen und ingenieurbioptologischen Methoden möglichst gut ausgenutzt werden.

### **3. Steinschlag**

Steinschlag ist wie eine Rutschung ein Massenverlagerungsprozess, bei dem aber im Einzelereignis viel weniger Material transportiert wird. Als natürlicher Prozess hat auch er die Form der Erdoberfläche mitgestaltet. Zahlreiche Schutthalden in den Alpen und Voralpen sind durch die Ablagerung von Steinen entstanden. In den tieferen Lagen sind auch sie bewaldet. Es gibt spezielle Vegetationsformen, die nur dank dauernder Steinschlagbelastung weiter bestehen. Der Wald schützt unterliegende Gebiete vor Steinschlag (Jahn, 1988). Für Verkehrswege genügt dieser Schutz allerdings nicht. Die Sicherheitsanforderungen im Verkehrswesen verlangen zusätzliche Massnahmen zum Schutz gegen Steinschlag. Zur Bemessung solcher Massnahmen sind aber Kenntnisse über die Steinschlagprozesse im einzelnen notwendig.

#### *3.1 Teilbereiche und einzelne Faktoren*

Der Steinschlag kann generell in die drei Teilbereiche Entstehung, Bewegung und Ablagerung der Steine unterteilt werden (Gsteiger, 1989). Diese Unterteilung erlaubt eine mehr oder weniger unabhängige Forschung in den Teilgebieten.

Im Entstehungsgebiet spielen geologische und klimatische Faktoren eine Hauptrolle. Die einzelnen Steine werden durch Verwitterung aus dem kompakten Gesteinsverband herausgelöst und vorerst in eine labile Lage gebracht. In dieser Lage verharrt der Stein, bis er, durch weitere Faktoren beeinflusst, sich selbstständig bewegt.

Die Bewegung eines Steines kann grob mit den physikalischen Modellen Gleiten, Rollen, schiefer Wurf und Stoss beschrieben werden. Dabei ist für eine Beschleunigung oder Verzögerung in erster Linie die Hangneigung verantwortlich. Vor allem im Bereich zwischen 30 und 50 Grad Neigung ist mit bewegten Steinen zu rechnen. Ferner spielen die Faktoren Boden- und Steineigenschaften, das Klima sowie die Bestandes- und Baumdaten eines Waldes eine Rolle, miteingeschlossen die Reaktionseigenschaften des Einzelbaumes. All diese Eigenschaften und Parameter können auch von der Stein-

geschwindigkeit selbst abhängig sein. Beispielsweise kann eine starke Buche infolge eines Steinkontaktes umgedrückt werden, so dass die Wurzeln frei liegen. Ein anderer, etwa gleich grosser Stein, durchschlägt den Stamm in 3 m Höhe aufgrund einer viel grösseren Geschwindigkeit. Will man nun die Dynamik der Steinbewegung in einem Rechenmodell erfassen, so müssen die einzelnen Bewegungsvorgänge möglichst der Realität entsprechen. Je nach Ziel der Berechnung werden einzelne Faktoren weggelassen (*Bozzolo*, 1987). In den letzten 10 Jahren sind in der Schweiz Rechenmodelle entwickelt worden, die durchaus plausible Resultate liefern können (*Zinggeler*, 1989).

Die Kontakte des bewegten Steines mit Hindernissen reduzieren seine Geschwindigkeit, bis er zum Stillstand kommt. Meist sind es Flachstellen in der Topographie, die besondere Konstellation einer Baumgruppe oder eine Verbauung, welche die Ablagerung bewirken. Es stellt sich nun die Frage, ob die neue Lage stabil ist oder ob der Stein bei einer nächsten Gelegenheit eventuell mit Schadenfolge weitertransportiert wird, um weiter unten eine stabilere Lage einzunehmen.

### 3.2 Einwirkungen auf Schutzmassnahmen

Zum Bemessen der Schutzmassnahmen müssen Einwirkungen realistisch abgeschätzt werden. Die Einwirkung setzt sich hauptsächlich aus zwei Faktoren zusammen: aus der Masse eines Steines und aus seiner Translationsgeschwindigkeit. Eine kleinere, aber nicht vernachlässigbare Bedeutung besitzt die Rotationsgeschwindigkeit. Aus den beiden erstgenannten Grössen lässt sich die kinetische Aufprallenergie ( $W_k$ ) berechnen. Diese Energie muss nun vom Verbausystem aufgenommen werden können. Die Bemessungsbedingung lautet, dass die innere Verformungsenergie ( $W_i$ ) eines Systems grösser ist als die Aufprallenergie des Steines. Die innere Verformungsenergie ist vergleichbar mit dem Tragwiderstand in der Baustatik. Die Aufprallenergie kann auch in Potentielle Energie ( $W_p$ ) umgerechnet werden, die als Produkt aus gleicher Masse und freier Fallhöhe ausgedrückt wird.

Je nach Grösse der Aufprallenergie muss man sich für ein Verbausystem entscheiden. Für kleine Energien genügen Konstruktionen aus einer Kombination von Stahl und Holz. Mehr Energie können Drahtseil-Netzkonstruktionen aufnehmen, insbesondere wenn sie noch durch eine Drahtgeflechtauflage verstärkt werden. In *Abbildung 3* sind innere Verformungsenergien verschiedener Verbausysteme dargestellt. Es sind Resultate aus früheren Versuchen (*Heierli et al.*, 1981). Allen Systemen gemeinsam ist die Abnahme der freien Fallhöhe mit zunehmender Masse. Betrachten wir nun das System mit der grössten inneren Verformungsenergie, so sehen wir, dass eine maximale Energie von 240 kJ aufgenommen werden kann. Diese Energie wird mit einer Steinmasse von 4000 kg und der freien Fallhöhe von 6 m erreicht. Das gleiche

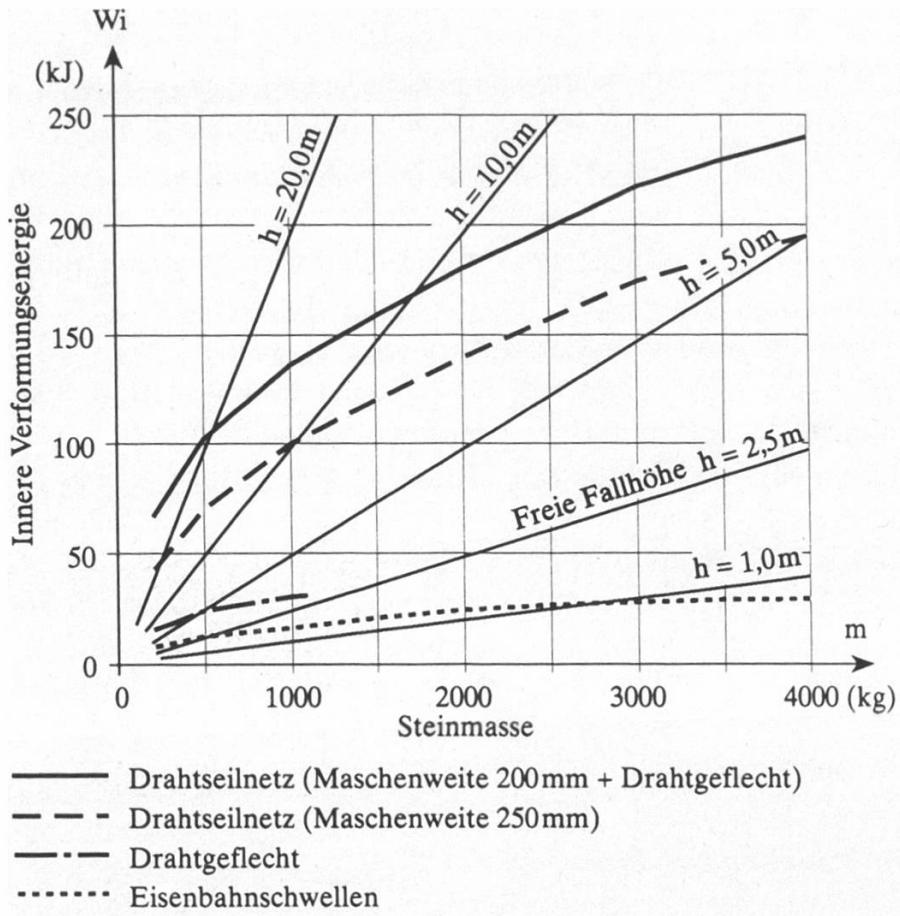


Abbildung 3. Innere Verformungsenergie verschiedener Verbaumassnahmen in Abhängigkeit von der Steinmasse. Daten aus Heierli et al., (1981).

System kann aber bei einer Steinmasse von 1000 kg lediglich 140 kJ Energie aufnehmen. Das ist auf die Trägheit des Drahtseilnetzes bei der grösseren Einfallgeschwindigkeit der Steine zurückzuführen.

### 3.3 Versuche mit Drahtseilnetz-Verbauungen

In Zusammenarbeit mit zwei privaten Firmen sind Steinschlagversuche durchgeführt worden, um auf der einen Seite das Verhalten der Verbauung zu testen und auf der anderen Seite die Bewegung der Steine im Gelände zu verfolgen (Gerber, 1991). Dabei wurden die Steine gefilmt und so die Geschwindigkeiten ermittelt. In Abbildung 4 sind die Aufprallenergien aus den einzelnen Versuchen dargestellt. Eingezeichnet ist auch die innere Verformungsenergie des Drahtseilnetzes von Abbildung 3. Die Versuche, die nun seit 1988 mit Unterbrüchen laufen, wurden unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt. Die drei Versuchssysteme werden im folgenden kurz erläutert.

Beim Versuchssystem 1 wurden die Steine in eine rund 50 Grad geneigte Felsoberfläche fallen gelassen. Die Bewegungen der Steine konnten mit anfänglichem Gleiten, dann Rollen und Springen beschrieben werden. Die

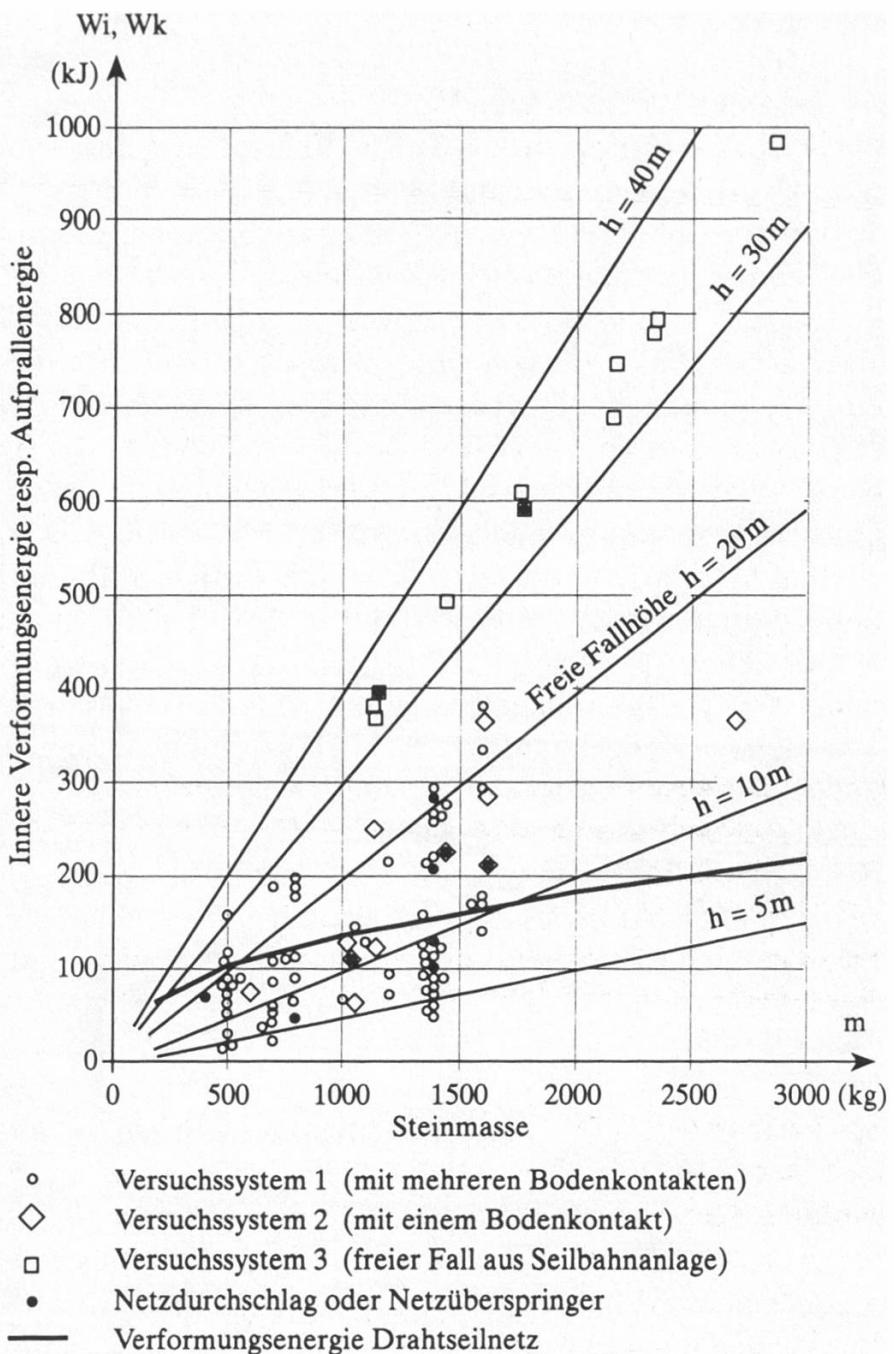


Abbildung 4. Aufprallenergie der Steine im Vergleich zur inneren Verformungsenergie starr gelagerten Drahtseilnetze.

Oberflächenrauhigkeit beeinflusste die erreichten Steingeschwindigkeiten stark.

Beim Versuchssystem 2 wollte man die Reibungsverluste der Felsoberfläche ausschalten und liess die Steine mit Hilfe einer Seilbahnanlage fallen. Geplant war, dass die Steine nach nur einem Bodenkontakt das Verbausystem mit höherer Geschwindigkeit erreichen sollten. Die Energieverluste beim Bodenkontakt waren aber so gross, dass keine höheren Werte erreicht wurden.

Erst der Wechsel zum Versuchssystem 3, bei dem die Steine direkt und ohne Bodenkontakt in die Verbauung fallen gelassen wurden, brachte wesentlich grössere Geschwindigkeiten und damit höhere Aufprallenergien. Das Verbausystem musste jeweils den zu erwartenden Energien angepasst werden. Die Energien konnten vorgängig bestimmt werden, weil die Geschwindigkeiten relativ konstant blieben. Sie betragen zwischen 25,5 und 26,2 m/s, was einer freien Fallhöhe von rund 34 m entspricht. Mit dieser Geschwindigkeit und der entsprechenden Masse von 2870 kg resultierte bei einem Versuch eine maximale Energie von 980 kJ. Sie konnte vom Verbausystem aufgenommen werden. Dieser und auch andere Versuche übertreffen die bis anhin bekannten inneren Verformungsenergien um ein Mehrfaches. Das ist auf eine Weiterentwicklung im konstruktiven Bereich zurückzuführen. Die starre Lagerung der früheren Netze wurde durch ein flexibles Drahtsystem ersetzt, das mit Bremslementen ausgestattet ist. Die Bremslemente reduzieren die maximalen Seilkräfte und nehmen einen Teil der Aufprallenergie auf. Nicht jeder eindollende Stein konnte vom Verbausystem aufgehalten werden. Es gab einige Netzdurchschläge oder -überspringer.

Obschon diese Versuche sehr wirklichkeitsnah durchgeführt wurden, bleiben einige Fragen offen, insbesondere wie sich das Verbausystem bei einem stützennahen Aufprall des Steines verhält. So bleibt denn auch die Frage offen, ob nun mit den Versuchen der Tragwiderstand der Verbausysteme erreicht worden sei.

#### **4. Schlussbetrachtung**

Schutzmassnahmen gegen Rutschungen und Steinschlag werden nötig, wenn der Wald seine Schutzfunktion nicht mehr ausüben kann oder wenn die Sicherheitsanforderungen grösser sind als die Sicherheit, die uns der Wald bieten kann. Bei Rutschungen in Wildbachgebieten müssen die Massnahmen im Rutschgebiet selber mit weiteren Massnahmen, beispielsweise Sperren im Gerinne, abgestimmt werden. Erst die Kombination beider Massnahmen bietet einen langfristigen Schutz und eine ganzheitliche Gefahrenreduktion.

Bei Steinschlag müssen die Massnahmen realistisch bemessen werden. Um die dynamischen Kräfte innerhalb des Verbausystems zu verteilen und in Reaktionskräfte umzurechnen, verfügten wir nur über wenig entwickelte Methoden. Deshalb sind in den letzten Jahren Verbausysteme unter realen Bedingungen getestet worden. Dabei konnten verschiedene neue Systeme entwickelt werden, die ein Mehrfaches des bisher allgemein Möglichen an Energie aufnehmen können.

## Résumé

### Mesures de protection contre les glissements de terrain et les chutes de pierres

Depuis toujours, les humains ont pris des mesures de protection contre les dangers naturels. Alors que durant les siècles précédents, il était possible de renoncer à intervenir dans les zones moins menacées, les exigences de notre temps nous obligent à multiplier les ouvrages de protection afin de limiter les dangers répandus dans les zones les plus exposées. Cet article analyse les processus liés aux glissements de terrain et aux chutes de pierres et il étudie leur impact sur les mesures de protection qui s'imposent.

Traduction: *Monique Dousse*

### Literatur

- Bozzolo, D.*, 1987: Ein mathematisches Modell zur Beschreibung der Dynamik von Steinschlag. Diss. Nr. 8490, ETH Zürich. 89 S.
- Gerber, W.*, 1991: Steinschlagversuche Beckenried, Auswertungen und Resultate. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Interner Bericht, 19 S.
- Gsteiger, P.*, 1989: Steinschlag – Wald – Relief, Empirische Grundlagen zur Steinschlagsimulation. Diplomarbeit, Geographisches Institut Universität Bern. 140 S.
- Heierli, W.; Merk, A.; Temperli, A.*, 1981: Schutz gegen Steinschlag. 2. Aufl. Forschungsarbeit 6/80 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute(VSS). Bern, Bundesamt für Strassenbau. 100 S.
- Jahn, J.*, 1988: Steinschlagforschung an der EAFV – Grundlagen und Ansatzpunkte. Birmensdorf, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Interner Bericht, 55 S.
- Lang H.-J.; Huder, J.*, 1990: Bodenmechanik und Grundbau. 4. überarbeitete und erweiterte Aufl. Berlin, Springer. 262 S.
- Vischer, D.; Huber, A.*, 1979: Wasserbau; hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaus, Nutz- und Schutzwasserbauten an Binnengewässer. 2. verb. Aufl. Berlin, Springer. 217 S.
- Zinggeler, A.*, 1989: Die Modellierung der Steinschlaggefahr in Gebirgswäldern. Diplomarbeit, Geographisches Institut Universität Bern. 116 S.

Gedruckt mit Unterstützung der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.

*Verfasser:* Werner Gerber, Bauing. HTL, und Albert Böll, dipl. Forsting. und dipl. Bauing. ETH, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.