

Standardisierung von Prüfverfahren für Steinschlag- schutzbarrieren – Ziele und aktueller Stand

Dr. R.M. Spang, Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelt-
technik mbH, Esslingen / Neckar

Zusammenfassung: Flexible Steinschlagschutzbarrieren aus Drahtseilnetzen und Ringnetzen werden seit Mitte der 70er Jahre sowohl zum Schutz von Straßen und Eisenbahnen, als auch zum Schutz von Wohngebieten und Industrieanlagen eingesetzt. Aufgrund der Komplexität dieser reibungsbehafteten, sich elastisch/plastisch verformenden, räumlichen Systeme ist die Entwicklung und Überprüfung der Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit bislang nur über Feldversuche im Maßstab 1:1 möglich. Deshalb wurden seit 1989 von Herstellerseite zahlreiche Feldversuche mit Schutzsystemen insbesondere in der Schweiz, in Japan, in Taiwan und in den USA durchgeführt. Ein Teil der Versuche erfolgte unter Aufsicht von staatlich anerkannten Prüfinstituten. Durch die Versuche konnte das Energieaufnahmevermögen, die Sicherheit und der Wartungsbedarf dieser Systeme erprobt und im Verlauf der Versuche markant verbessert werden.

Es sind jedoch auch Systeme auf dem Markt, deren Tauglichkeit nicht oder nur mangelhaft durch Versuche belegt ist. Auch sind die verwendeten Versuchsmethoden und Anlagen verschieden, was die Vergleichbarkeit der Systeme wesentlich erschwert. Dies ist insbesondere unter Sicherheitsaspekten und auch im Hinblick auf die bei der Wertung von Angeboten zu prüfende Gleichwertigkeit problematisch.

Um die Systeme vergleichbar zu machen sind in der Schweiz Anstrengungen im Gange Richtlinien für die Testmethoden sowie für die Minimalanforderungen zu implementieren. Die Richtlinien werden von der Eidgenössischen Kommission für Lawinen und Steinschlagschutz aufgestellt. Sie werden mit gleichgerichteten Bestrebungen in Italien koordiniert, um einen Europäischen und letztlich einen Internationalen Standard zu erreichen.

Der Beitrag beleuchtet die Ziele und die Problematik der Entwicklung von einheitlichen Testverfahren und stellt den derzeitigen Stand der Standardisierung vor. Auf die bislang angewandten Versuchsmethoden und deren Vor- und Nachteile wird eingegangen.

Einleitung: Noch Mitte der 80er Jahre war der Steinschlagschutz international von Schwellenwänden geprägt, die überwiegend aus Altschienen und gebrauchten Holzschwellen errichtet wurden. Der Einsatz erfolgte reaktiv, eine Bemessung der Bauwerke war nicht möglich, d.h. die Energieaufnahme war weder von der Einwirkungsseite her, noch von der Widerstandsseite her bestimmbar, die Bauwerkshöhe wurde empirisch festgelegt. Da diese Situation offensichtlich nicht befriedigend war, wurde schon 1967 durch RITCHIE der erste Versuch unternommen, leistungsfähigere Schutzsysteme mit Bremsen zu entwickeln und für einfache topographische Verhältnisse Regeln für deren Positionierung zu entwickeln. V. ESCHENBACH und KLENGEL (1975) versuchten bei aus einer vertikalen Wand abstürzenden Steinen Reichweiten und Energien für die Dimensionierung von Auffangbauwerken abzuschätzen. Die Frage, welche kinetische Energie ein System aufnehmen konnte, erhielt aber erst Mitte der 80er Jahre mit der Marktreife von Rechenprogrammen, mit denen Steinschlag exakt simuliert werden konnte, ihre entscheidende Bedeutung. Erst jetzt nämlich konnte bestimmt werden, für welche Energie (und Sprunghöhe) ein System an einer bestimmten Stelle des Hangs ausgelegt werden mußte. Daß es zwischen den verschiedenen, inzwischen auf dem Markt verfügbaren Steinschlagschutzsystemen Unterschiede im Verhalten gab, hatte schon die Praxis gezeigt.

Definitionen: Im folgenden werden die Schlüsselbegriffe Steinschlag und Steinschlagbarrieren wie folgt gebraucht. Steinschlag und Felssturz werden als Massenbewegungen im Fels definiert, die sich auf oder über der Hangoberfläche im freien Fall, rollend, gleitend oder in schiefen Würfeln fortbewegen. Steinschläge bestehen in der Regel aus einzelnen Steinen; sie weisen an einem interessierenden Punkt eine durch Auffangbauwerke beherrschbare Energie (derzeit bis ca. 2.300 kJ) auf. Felsstürze bestehen demgegenüber aus einzelnen oder einer größeren Anzahl von Steinen bzw. Blöcken mit höheren Energien.

Steinschlagbarrieren sind Bauwerke, die oberhalb durch Steinschläge gefährdeter Objekte mit der Aufgabe errichtet werden, Steinschläge abzufangen und ihre kinetische Energie in Formänderung und/oder Wärme umzuwandeln. Das Wort Steinschlagbarrieren wird als Oberbegriff verwendet, der in starre Steinschlagschutzwände und flexible Steinschlagschutzzäune untergliedert wird. Zu den Steinschlagschutzwänden gehören Beton- und Stahlbetonwände, Stahlkonstruktionen und Schwellenwände. Kennzeichnend sind durch den Aufschlag von Blöcken mit der Gebrauchsenergie auftretende kleine Verformungen im Millimeter bis Zentimeterbereich. Bei den Steinschlagschutzzäunen, zu denen mit steigender Energieaufnahme Maschendrahtzäune ohne und mit Drahtseilverstärkungen, Konstruktionen mit Feder – und/ oder

Dämpfungselementen sowie Zäune mit eingespannten oder gelenkig gelagerten Stahlstützen und Ausfachungen aus Drahtseilnetzen verschiedener Strukturen und Stahlqualitäten, sind dagegen Verformungsbeträge zwischen Dezimetern und mehreren Metern typisch. Diesen unterschiedlichen Verformungsbeträgen entsprechen unterschiedliche Mechanismen der Energieaufnahme, die sich aus der Definition der mechanischen Arbeit W bzw. aus der Beziehung

$$W = F \times s, \quad ()$$

wobei F die auf das System einwirkende Kraft und s der zurückgelegte Weg ist. Es ist unmittelbar einsichtig, daß bei gleichem Energieeintrag in starren Systemen aufgrund ihrer geringen Verformbarkeit wesentlich höhere Kräfte auftreten, als dies bei flexiblen Systemen der Fall ist. Aus diesem Unterschied allein resultieren schon die wesentlich höheren Energieaufnahmen flexibler Systeme gegenüber den starren. Hinzu kommt, daß die Stoßzeit bei den flexiblen Systemen um ein Vielfaches länger ist als bei starren. Der vorliegende Vortrag beschränkt sich auf Steinschlagschutzzäune, denen aus den obigen Gründen die Zukunft gehören wird.

Standardisierungsnotwendigkeiten: Der übliche ingenieurmäßige Ansatz, die rechnerische Bemessung von Bauwerken, ist bislang nur in einfachen Fällen möglich. So hat KURZ (1993) ein Verfahren veröffentlicht, mit dem sich mit dem Modell eines Ein-Massenschwingers Schwellenwände bemessen lassen. Das Verhalten moderner Systeme aus Stahlträgern, Drahtseilen, Drahtseilnetzen, Bremsen und Verankerungen ist derzeit noch nicht berechenbar – es wirken hier dreidimensional bei großen Verformungsbeträgen elastische und plastische Deformationen bei gleichzeitigem Auftreten großer Reibungskräfte zusammen. Aus diesen Gründen haben die mit der Entwicklung solcher Systeme befaßten Hersteller bereits früh spezifische Versuchsstände realisiert, an denen ihre Systeme erprobt, weiterentwickelt und optimiert werden konnten. Versuche an Einzelkomponenten erwiesen sich als ungeeignet, zuverlässige Informationen über das Verhalten des Gesamtsystems zu liefern.

Je nach Hersteller durchliefen die Versuchsstände verschiedene Entwicklungsstadien, der erste dürfte ein tischähnlicher Stahlrahmen der Kabelwerke Brugg gewesen sein, der mit einem Netzelement horizontal bespannt und aus dem freien Fall mittels eines Betonquaders belastet wurde. Geprüft wurden dabei Netze und Bremsen (HEIERLI, 1977), nicht das Gesamtsystem. Bei den heutigen Versuchsständen werden im allgemeinen mehrere Zaunfelder in Originalgröße durch Felsblöcke entweder aus dem schiefen Wurf oder aus dem freien Fall belastet. Versuche, bei denen der Block einen Drall aufweist, sind die Ausnahme. Unterschiedlich sind neben den zur Verfügung stehenden Blockgrößen die erreichbaren Aufprallgeschwindigkeiten, die Meß-, Beobachtungs- und Auswertungsmethoden und schließlich auch die Definitionen von Schäden. Auch sind die Ergebnisse von der Lage des Treffpunktes abhängig, Zentrumstreffer sind für das System erheblich günstiger als Randtreffer, die Aufschlagneigung zur

Netzebene spielt eine Rolle und schließlich gibt es Teststände, bei denen das Netz während des Aufschlags Bodenberührung erhält und so einen Teil des Impulses unkontrolliert an den Untergrund abgeben kann. Aus den aufgeführten Gründen sind die durch die verschiedenen Hersteller zum Nachweis der Energieaufnahmekapazität und anderer maßgebender Eigenschaften vorgelegten Versuchsergebnisse nicht vergleichbar, schon gar nicht für nicht mit den jeweiligen Randbedingungen vertraute Auftraggeber. International gibt es bislang weder Normen, noch dem deutschen System vergleichbare bauaufsichtliche Zulassungen, von denen eine Hilfestellung zu erwarten wäre. Die Normung läßt sich nur auf Materialkomponenten anwenden, die auch in anderen Technikfeldern Verwendung finden, auf die Qualität, Vergütung und Prüfung von Stahlseilen, Trägern und Verbindungsmitteln.

Die Ausschreibenden passiver Steinschlagschutzmaßnahmen haben bislang nur die Wahl, entweder unter Beachtung der Schutzrechte bestehender Systeme ein eigenes System mittels detaillierter Angaben von Seildurchmessern, Trägerabmessungen, Ausbildung der Netzknoten, Anordnungen usw. auszuschreiben, das in der Regel nicht getestet ist und für den Planer ein unkalkulierbares Risiko hinsichtlich seines Verhaltens unter Last darstellt, oder das von diesem getestete System eines bestimmten Herstellers mit dem zwingenden Zusatz „oder gleichwertig,“ auszuschreiben, bei dem die vergaberechtlichen Probleme genau im Nachweis dieser Gleichwertigkeit liegen. Es ist bei jedem Einsatz eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich. Es muß deshalb im wohl verstandenen Interesse aller Beteiligten liegen, einheitliche und aussagekräftige Prüfkriterien und Prüfverfahren zu entwickeln, die auch dem Nicht-Spezialisten den Vergleich und die Auswahl des jeweils zweckmäßigsten Systems erlauben, wobei für Deutschland das eigentliche Ziel in der Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen liegen muß. Aufgrund obiger Erkenntnisse haben sich in verschiedenen Nachbarländern erste Ansätze für eine Standardisierung der Prüfverfahren – nicht der Systeme - entwickelt, von denen nachstehend die Rede sein soll.

Standardisierungsansätze: Bedingt durch die besonderen topographischen Bedingungen der Alpenländer mit entsprechend hohen Reliefenergien und Gefährdungen entstanden moderne Steinschlagschutzsysteme zuerst in Österreich – zum Beispiel das System Kaim – in der Schweiz – die Systeme Geobrug, Fatzer und Isofer – in Italien die Systeme Maccaferri und UMM, sowie in Frankreich das CAN – System. Das erste von staatlicher Seite herausgegebene Handbuch, das den Nachweis der Energieaufnahme fordert, wurde von der Österreichischen Wildbach- und Lawinenverbauung erstellt (ANGERER et al., 1995). Weltweit waren inzwischen zahlreiche Versuche an Schutzsystemen durchgeführt und publiziert worden. Als Beispiele seien außer RITCHIE insbesondere SMITH & DUFFY (1990), SPANG u. SÖNSER (1995), PEILA et al. (1998), MURASHI (1999), HWU (1999), und BÖLL (1999) genannt. Eine Vielzahl an Installationen war erfolgt. Die Notwendigkeit einer Standardisierung war offensichtlich. Sie war in

der Schweiz Anlaß für die Gründung einer entsprechenden Arbeitsgruppe, deren Ergebnisse – wie beim Lawinenschutz - internationale Auswirkungen haben dürfte. Einen in die gleiche Richtung gehenden Vorstoß hat PEILA (1999) in Italien unternommen.

Wie BAUMANN (1999) anlässlich eines ersten internationalen Seminars über Steinschlagversuche und Standardisierung berichtet hat, wurde der Aufgabenbereich der mit Vorläufern bereits seit 1960 bestehenden Eidgenössischen Kommission für Lawinerverbau zum 01.01.1999 erweitert und die Kommission entsprechend in Eidgenössische Kommission für Lawinerverbau und Steinschlag umbenannt. Der Kommission gehören bislang ausschließlich Schweizer Forst- und Bauingenieure an. Die Kommission hat inzwischen einen Vorschlag mit den folgenden Prüfkriterien für Steinschlagschutzsysteme vorgelegt.

- Die Prüfung erfolgt am Gesamtsystem, mit Betonwürfeln bei Geschwindigkeiten von 25 m/s, aus dem freien Fall, mit einem noch nicht spezifizierten Rotationsanteil. Der Aufschlagpunkt liegt in Feldmitte.

- Es wird zuerst die Auslenkung bei der halben Gebrauchsenegie bestimmt.
- Es wird danach die maximale Auslenkung für die Gebrauchsenegie gemessen (d.h. einschließlich des maximalen elastischen Anteils zum Zeitpunkt des ersten Vorzeichenwechsels der Beschleunigung des durch das System abgebremsten Steins).
- Es wird durch eine Wiederholung des Versuchs am durch die Gebrauchsenegie belasteten, nicht reparierten bzw. veränderten System mit einem Drittel der Gebrauchsenegie bei gleicher Aufschlaggeschwindigkeit ebenfalls auf die Feldmitte eine Reserve des Systems bestimmt.
- Es wird die wirksame Höhe vor und nach den Versuchen gemessen.
- In einem weiteren Versuch wird die Undurchlässigkeit des Systems für kleine Steine geprüft, wobei die Querschnittsfläche der Prüfkörper 70 bis 90 % der Maschenfläche beträgt.
- Es werden während der Versuche die Kräfte in den Ankern und am Fundament gemessen (Diese Messungen gehen nicht direkt in die Bewertung ein).

Weitere qualitative Prüfungen erfassen folgende Parameter:

- Installationsaufwand und –Anforderungen,
- Wartungsaufwand,
- Reparaturaufwand,
- Anpassungsfähigkeit an das Gelände und
- Lebensdauer.

Aus der Sicht des Autors ergeben sich dazu folgende Anmerkungen und Ergänzungen.

Prüfer: Die Prüfung muß durch ein vom Hersteller unabhängiges Institut im Sinne einer Fremdüberwachung begleitet und ausgewertet werden. Dabei wäre es wünschenswert, wenn der Hersteller nicht als direkter Auftraggeber für die Eignungsprüfung auftreten würde. Eine neutrale Institution wäre vorzuziehen.

Prüfgegenstand: Da ein zuverlässiger Schluß vom Verhalten der Einzelkomponenten auf das Verhalten des Gesamtsystems bislang nicht möglich ist, ist jeweils das Gesamtsystem zu prüfen – mangels Modellgesetzen in der Originalgröße. Aus Erfahrung sind Versuche an Einzelfeldern nicht aussagefähig, es ist ein vollständiges Werk aus mindestens 3 zusammenhängenden Feldern zu prüfen. Dies entspricht auch den Vorschlägen von PEILA. Allerdings will er parallel auch Einzelkomponenten prüfen. Da solche Versuche im günstigsten Fall keine aussagefähigeren Ergebnisse wie die Versuche am Gesamtsystem bringen können, ist schon deshalb ihr Sinn nicht einzusehen.

Prüfmethode: Die Prüfung soll bei voller Reproduzierbarkeit der Ergebnisse die Reaktion des Systems auf exakt definierte Einwirkungen zeigen. Der vorgeschlagenen Testkonfiguration entspricht die von MURAISHI (1999) beschriebene. Dabei wird der Zaun an einer 45 bis 60° steilen Fläche mit einer Neigung von 15 bis 30° gegen die Horizontale aufgebaut. Wegen der angegebenen Neigung wird es sich im Regelfall um eine Felsfläche handeln. Der Testblock wird über der Feldmitte des mittleren Feldes in der gewünschten Höhe ausgelöst. Als Trägergerät eignen sich ein schwerer Seilbagger oder ein verankerter Kran. Der Rotationsanteil der kinetischen Energie kann nach dem Prinzip eines Jo - Jo durch ein anfänglich in einer vertikalen, senkrecht zur Zaunachse stehende Ebene um den Block geschlungenes, sich nach dem Auslösen des Blocks abrollendes Seil erzeugt werden. Andernfalls müßte er vor der Auslösung durch Beschleunigen des Blocks um eine horizontale, entsprechend orientierte Achse erzeugt werden. Entsprechende Versuche sind bislang nach Kenntnis des Autors noch nicht unternommen worden.

Erheblich zweckmäßiger erscheint deshalb die bereits vielfach erprobte Versuchsanordnung nach HALLER (1999), bei der der Block bis zum Abwurfpoint entlang einer in Fallrichtung einer steilen Felsfläche und parallel zu deren Oberfläche verlegten Seilbahn geführt wird und seine Rotationsenergie aus der bis dahin rein translatorischen kinetischen Energie durch Aufprall auf der Felsoberfläche erhält, vor er von dort im Schiefen Wurf das Netz erreicht. Nachteilig bei diesem Verfahren mag die etwas größere Streuung der beim Aufschlag auf das Netz vorhandenen Energie sein. Dieser Nachteil wird jedoch durch die insgesamt realitätsnahe Aufschlagsituation mehr als aufgewogen.

PEILA spricht von Rotation „falls notwendig“, führt die dafür geltenden Kriterien jedoch nicht an. Da die Versuche einen möglichst großen Realitätsgrad aufweisen sollen, ist die Rotation nach Auffassung des Autors unverzichtbar. Die ersten Feldversuche in den USA mit Rotation hatten bei weit unter der Gebrauchsenergie liegenden Aufschlagenergien zu Durchschlägen an dem bis zu diesem Zeitpunkt nur aus dem freien Fall – ohne Drall – geprüften System geführt und damit die Bedeutung des Dralls eindrucksvoll demonstriert. SÖNSER berichtet über einen rea-

len Schadensfall, bei dem eine schnell rotierende scheibenförmige Felsplatte ebenfalls unterhalb der Gebrauchsenergie ein Schutzsystem bei Erlach im Zillertal durchschlug. Bis heute ist noch nicht ausreichend geklärt, wie der Drall vom System aufgenommen wird.

Es ist im übrigen darauf hinzuweisen, daß die Gründungsbedingungen der Stützen und der Rückverankerungen einen bislang ebenfalls noch nicht genau zu spezifizierenden Einfluß auf das Systemverhalten haben. Diese Einflüsse sind deshalb vorab zu klären.

Aufschlaggeschwindigkeit: Ein weiterer wesentlicher Versuchsparameter ist die Aufschlaggeschwindigkeit, die von BAUMANN mit 30 m/s vorgeschlagen wird. PEILA gibt ohne Begründung für Gebrauchslasten bis 2.000 kJ 22 m/s, darüber 23 m/s an. Bislang fehlen zuverlässige Erkenntnisse über den Einfluß der Aufschlaggeschwindigkeit im damit aufgespannten Rahmen. Werte um 25 m/s erscheinen für natürlichen Steinschlag realistisch, sie entsprechen den bis dato bei Versuchen an natürlichen Hängen gemessenen Geschwindigkeiten.

Die von PEILA (1999) vorgeschlagene Prüfmethode weicht von den oben diskutierten Vorschlägen auch insoweit ab, als sie zwar die von HALLER beschriebene Seilbahn enthält, aus dieser den Zaun jedoch direkt und damit ohne Drall trifft.

Prüfkörper: Während BAUMANN einen Betonwürfel mit abgeflachten Ecken vorschlägt, läßt PEILA reguläre Polyeder oder sphärische Körper zu, deren Dichte zwischen 2.2 und 3.2 g/m³ liegen soll. Ihre Größe soll maximal .5 der nutzbaren Zaunhöhe betragen. Gedrungene Körper sind wegen der einheitlichen Auftreffbedingungen auf das Netz gegenüber prismatischen vorzuziehen. Allerdings gibt es praktische Erfahrungen, bei denen plattige oder scharfkantige Blöcke bei Energien deutlich unterhalb der Gebrauchsenergie Steinschlagschutzzaune durchschlagen haben. Bei letzteren waren offensichtlich Kerbwirkungen und Schneideeffekte infolge hoher Rotationsgeschwindigkeiten ausschlaggebend, bei ersteren spielt zusätzlich die bislang nicht beachtete Frage des Verhältnisses von Energie und Größe der Trefferfläche eine Rolle, die unter dem Arbeitsbegriff der Energiedichte weiter verfolgt werden soll. Die Definition entspricht der Beziehung

$$e_k = E_k/A \quad [\text{kJ/m}^2] \quad ()$$

mit E_k als kinetischer Energie beim Aufprall und A als Größe der Trefferfläche.

Prüfumfang: Nach dem Kommissionsvorschlag beschränkt sich der Prüfumfang auf wenige Versuche und auf einen einzigen Trefferpunkt in Feldmitte. Es ist sicher angebracht, die Prüfung als Eignungsprüfung aufzufassen, wie sie nach DIN 4125 zum Beispiel für Anker oder nach

DIN 4028 für Kleinpfähle vorgeschrieben ist. Dann sind jedoch mindestens 2 gleiche Systeme zu prüfen. Gegen die Beschränkung auf die für das System günstigen Zentrumstreffer ist einzuwenden, daß das Netz gerade im Zentrum seine größte Flexibilität aufweist, gleichzeitig ist die zu beschleunigende Masse am geringsten, so daß die Trägheit ebenfalls entsprechend gering ist. Das Netzzentrum nimmt deshalb mehr Energie auf als zum Beispiel der Rand. Die Beschränkung auf Treffer in das Zentrum führt deshalb zu Gebrauchsennergien auf der unsicheren Seite. Wenn deshalb zum Beispiel aus ökonomischen Gründen überhaupt eine Beschränkung auf wenige Versuche erfolgen muß, so doch auf Versuche, die zu realistischen Werten für die Energieaufnahme führen. Es wird deshalb vorgeschlagen, Versuche mit Treffern in eine untere und eine obere Ecke- entweder ausschließlich oder ggf. In Ergänzung zu den Versuchen in das Netzzentrum - auszuführen. Bei den ersteren würden Versuche mit der Gebrauchsennergie genügen. Darüber hinaus sollte sich die Prüfung im Sinne einer Eignungsprüfung auf alle Bauteile erstrecken, wobei das System sowohl Rand-, als auch Stützen- und Zentrumstreffer erhalten muß. Es sind auch Treffer auf Abspannseile erforderlich, weil deren Ausfall u.U. zum Kollaps des Gesamtsystems führen kann. Dies darf nicht ungeprüft bleiben.

Aus den angeführten Gründen ist der Vorschlag von PEILA, das System durch einen Treffer in den oberen Drittelpunkt und mit variablen Winkeln von 10 bis 60° gegen die Netzebene nach oben zu prüfen, zwar grundsätzlich richtig, aber keinesfalls ausreichend. Gegenüber BAUMANN ist der Prüfumfang bei PEILA nach Anzahl und Lage der Treffer umfangreicher und kommt damit dem Vorschlag des Autors näher. Nach PEILA ist zunächst ein Treffer in die Netzmitte, etwa in 2/3 der Netzhöhe und dann ein Stützentreffer zu erzielen. Auf die dabei erforderliche Zielgenauigkeit sei nur am Rande hingewiesen. Beide Treffer sollen mit der Gebrauchsennergie erfolgen. Eine zweite Serie soll nur mit der halben Gebrauchsennergie erfolgen – falls die erste Serie erfolgreich war. Sie soll den Nachweis erbringen, daß das System bei entsprechend kleinen Energieeinträgen – für die HALLER (1997) treffend den Begriff „tägliche Ereignisse“ geprägt hat, ohne plastische Anteile bzw. rein elastisch reagiert. Die Einwände bestehen auch hier in der als unzureichend eingeschätzten Anzahl der Versuche unter Einschluß der begrenzten Anzahl der Ziele. Überdies sei der Hinweis erlaubt, daß die umgekehrte Reihenfolge – steigender Energieeinsatz – zweckmäßiger erscheint.

Anforderungen: Im Ergebnis der Versuche muß der Planer vom Hersteller bezüglich des Systemverhaltens eine ausführliche Versuchsbeschreibung mit dem Zertifikat eines unabhängigen Prüfers mit folgenden Mindestangaben erhalten:

- Systembeschreibung;
- Gebrauchsennergie;
- Zugehörige maximale Auslenkung des Systems;
- Auslenkung bei festen Bruchteilen der Gebrauchsennergie;

- Dichtigkeit gegen Steine unterhalb der Maschengröße der Netze;
- Verhalten bei Treffern gegen Stützen und Abspannseile im Hinblick auf die verbleibende Reserve.

Weitere unverzichtbare Angaben sind Gründungsanforderungen, Installationsaufwand, Installationsanforderungen, Wartungs- und Reparaturaufwand, Anpassungsfähigkeit an das Gelände, Lebensdauer und Umweltverträglichkeit.

Ausblick: Bei der stürmischen Entwicklung von Steinschlagschutzsystemen und dem gleichzeitig ablaufenden Preiskampf kann für den Planer wie insbesondere für den in der Regel betroffenen Öffentlichen Auftraggeber nur dann eine optimale Lösung gefunden werden, wenn dieser anhand objektiver Kriterien in die Lage versetzt wird, die angebotenen System nach sachbezogeneren Kriterien als allein nach dem Preis auszuwählen. Dies setzt eine Standardisierung der Prüfverfahren voraus. Es wäre wünschenswert, wenn sich auch in Deutschland eine entsprechende Arbeitsgruppe konstituieren würde oder wenn sich die bestehende Schweizerische Kommission für eine internationale Beteiligung unter Einbeziehung deutscher Fachleute öffnen würde. Letzteres käme dem Bestreben, zu internationalen oder zumindest zu Europäischen Lösungen zu kommen, sicher entgegen.

Literatur

BAUMANN, R. (1999): Homologation of Rockfall Protection Systems in Switzerland.- Seminar on Rockfall Tests and Standardization, 25th and 26th Jan. 1999, Davos, Switzerland.

BÖLL, A. (1999): Overview on Field Tests supervised by WSL (1987 – 1999).- Seminar on Rockfall Tests and Standardization, 25th and 26th Jan. 1999, Davos, Switzerland.

HWU, B. (1999): Report on Field Tests at Shayupin/ Taipei 1997.- Seminar on Rockfall Tests and Standardization, 25th and 26th Jan. 1999, Davos, Switzerland.

KURZ, G. (1993): Rechnerische Untersuchung der Beanspruchung eines Schwellenzauns.- unveröffentlicht.

MURAISHI, H. (1999): Full- Scale Rockfall Test on Ring Net Barriers and Components.- Seminar on Rockfall Tests and Standardization, 25th and 26th Jan. 1999, Davos, Switzerland.

PEILA, D. (1999): Guidelines for the classification of the behaviour of net fences for rock mass protection barriers; 1st draft.- not published.

PEILA, D., PELIZZA, S. & SASSUDELLI, F. (1998): Evaluation of Behaviour of Rock Restraining Nets by Full Scale Tests. – Rock Mech. Rock Engng. 31 (1), 1 – 24.

RITCHIE, A. M. (1963): Evaluation of Rockfall and its Control.- Highway Research Record, 17, 13 – 28.

SMITH, D. D. & DUFFY, J. D. (1990): Field Tests and Evaluation of Rockfall Restraining Nets; Final Report.- California Department of Transportation, Rep. No. CA/TL – 90/05.

SPANG, R.M. & SÖNSER, Th. (1995): Optimized rockfall protection by Rockfall.- Proc. 8th Int. Congr. Rock Mech., Tokyo, 1233 – 1242.