

Schutzmaßnahmen gegen Flut-und Murgangschäden am Beispiel des Aosta Tals, Italien

Michael Arndt¹, Paolo di Pietro¹, Marco Tinti²

¹ Michael Arndt, Paolo di Pietro, MACCAFERRI DEUTSCHLAND GmbH, Berlin, Deutschland, michael.arndt@maccaferri.de
² Marco Tinti, GEOSISTEMI s.p.a., Castagnole, Asti, Italien,

Zusammenfassung

Dieser Beitrag schildert am Beispiel einer Fallstudie aus Italien die Umsetzung unterschiedlicher konstruktiver Maßnahmen, um das Risiko und die Auswirkungen von Murgängen wirksam und nachhaltig zu reduzieren. Die zugrundeliegende Konzeption berücksichtigt die Ursache-Wirkungsmechanismen: Entwässerung, Erosion, Gradientenoptimierung, Steinschlag sowie Umlenkbauwerke in Verbindung mit geeigneten Renaturierungsmaßnahmen, um die Eingriffe unter weitestgehender Verwendung natürlicher Baustoffe kurz- bis mittelfristig in die natürliche Umgebung einzubinden.

Schlüsselworte: Murgang, Steinschlagschutz, Erosionsschutz, Entwässerung, Bewehrte Erde, Umlenkbauwerke, Gabionen, Bio-Engineering

Abstract

In the Aosta Valley the flood event of October 2000 will be remembered as one of the heaviest events occurred over the last 250 years, in terms of destruction, loss of human lives, magnitude and spreading of the morphological changes on the territory.

Landslides, mudflows concentrated on the mid reaches of the main valley resulted in up to millions of cubic meters of debris flows which caused to the villages of Miseregne, Fenis, Rovarey and Nus serious threats to the safety of the houses and the nearby infrastructures. After the event, recovery works took place in the following year. They included, from the uphill side downwards, flexible catch fences and a combination of gabion retaining works perpendicular to the main slope for consolidation and drainage purposes. In order to harmonize these structures with the surrounding environment, soil bioengineering practices like the incorporation of vegetative pockets followed by hydro seeding treatments were used. On the lower side, where the gradients are less steep, the soil surface was cleaned, and just graded and seeded. At the toe of most sites, reinforced soil embankment barriers were built with the purpose to deflect future mudflows reaching the valley bottom. They were chosen due to their ability to incorporate vegetative soil allowing a naturally green face.

In the following years the recovery works in the Aosta Valley were subject to constant monitoring from the local authorities. Results have been satisfactory and encouraging, because they show that the principle of using different type of structures from the top of the hillside downwards, is a fundamental issue when dealing with vast areas subject to unpredictable and hazardous debris flows. This project is deemed of useful guidance to the engineering community when dealing with similar project scenarios.

Keywords: Debris flows, landslides, rockfall protection, erosion control, drainage, reinforced soil, deflecting structures, gabions, soil bioengineering

1 Überblick

Das gewählte Fallbeispiel liegt im Aosta Tal in Italien. Die Flutkatastrophe vom Oktober 2000 wird als das gravierendste Naturereignis der letzten 250 Jahre in Erinnerung bleiben, das neben vielen Menschenleben und der Zerstörung zahlreicher Gebäude und Infrastruktur auch das Landschaftsbild nachhaltig verändert hat. Erdbeben und Murgänge haben in kürzester Zeit Millionen Kubikmeter Geröll durch die Ortschaften Miseregne, Fenis, Rovarey und Nus befördert und diese verwüstet.

Die im folgenden Jahr aufgenommenen Sicherungsarbeiten umfassten in den steileren oberen Hangbereichen eine Kombination aus Steinschlagschutzzäunen und quer zum

Hang verlaufenden Gabionenstützwänden, die neben der Konsolidierung und der Gradientenoptimierung auch eine Drainagefunktion übernehmen können. Zur besseren Einbindung der Gabionenwände in die umgebende Landschaft, sind Pflanztaschen mit Rekultivierungsboden in die Gabionenstruktur integriert, die mithilfe einer Anspritzbegrünung rasch flächigen Bewuchs gezeigt haben. In den unteren Hangabschnitten mit geringeren Gradienten wurde die Oberfläche vom Geröll bereinigt, begradigt und mit einer Saatmischung versorgt. Am Fuß der betroffenen Rutschungsbereiche sind Wälle aus bewehrten Erd-Strukturen errichtet worden, die hier das Ziel haben, künftige Geröll- und Schlammlawinen umzulenken und deren direkte Einwirkung auf den dicht bebauten Talgrund zu verhindern.



Diese, in direkter Nachbarschaft zur Bebauung und der Infrastruktur liegenden Erdwälle, wurden aus ästhetischen Gründen ebenfalls begrünt.

In den folgenden Jahren wurden die ausgeführten Schutzmaßnahmen regelmäßig sehr intensiv von den zuständigen lokalen Behörden überwacht und in Ihrer Wirksamkeit überprüft. Die Ergebnisse sind zufriedenstellend und ermutigend, da Sie belegen, dass das Prinzip der Kombination verschiedener technischer Lösungsansätze, die sich in Abhängigkeit von der Position am Hang und der Hangneigung in Ihrer Wirkung sinnvoll ergänzen, ausgesprochen gut funktioniert. Die Risiken und das Gefährdungspotential derartiger Naturereignisse werden in ihren Konsequenzen besser kontrollierbar.

2 Ausgangslage

Das Ereignis vom Oktober 2000 hat die beiden schweren

Flutperioden vom September 1993 und Juli 1996 bei weitem übertroffen. Durch die ungewöhnlich starken Regenfälle des 12. und 16. Oktobers 2000 mit 28% und respektive 55% der jährlichen Niederschlagsmengen und einem Höchstwert von 65 % in Cogne, wo 454 mm Tagesniederschlag aufgezeichnet wurden, hat sich das Erscheinungsbild einer ganzen Region verändert. Die Größe und Wirkung der Erdbeben und Schlammlawinen wurde zudem durch die vorangegangenen anhaltenden starken Regenfälle mit über 200 mm in der gesamten nordwestlichen Alpenregion vom 28. September bis zum 01. Oktober begünstigt. Die Bodenschichten waren bereits bis in die tieferliegenden Schichten hydraulisch gesättigt und zunehmend instabil.

Abb. 1-4 zeigen Ablösungsprozesse und Details der Zerstörung unmittelbar nach dem Oktoberereignis. Die Breite der Rutschungskonoid lag zwischen 30 bis 80 m.



Abb. 1 : Okt. 2000 – Miseregne – Blick hangaufwärts auf die Rutschung



Abb. 2 : Okt. 2000 – Miseregne - Blick hangaufwärts auf die Rutschung



Abb. 3: Okt. 2000 – Miseregne - Blick hangabwärts auf die Rutschung



Abb. 4 : Okt. 2000 – Nus, beschädigtes Wohngebäude

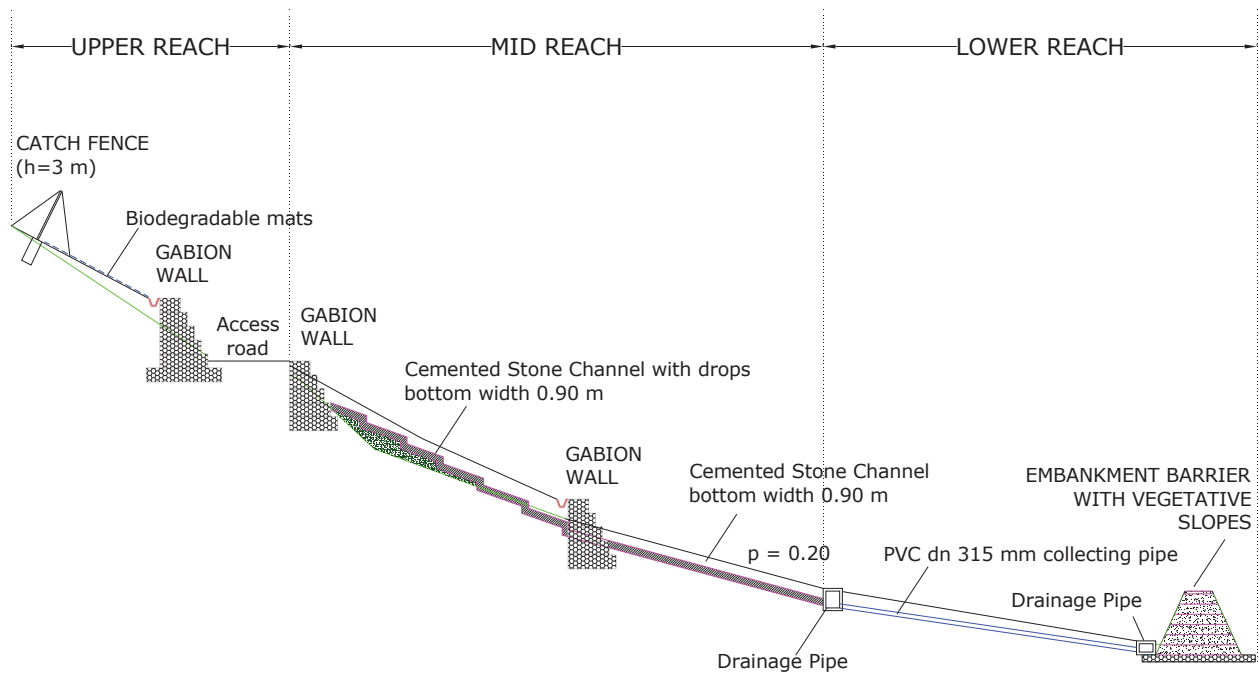


Abb. 5: Typisches Längsprofilschema der Schutzmassnahmen

3 Überblick über die Schutzmaßnahmen

Die Konzeption und Planung der Instandsetzungs- und Schutzmaßnahmen begann im März 2001, die Realisierung wurde weitestgehend im Jahr 2002 abgeschlossen. Die größten Beschädigungen waren in der Ortschaft Miseregne zu verzeichnen.

In Abhängigkeit der Position am Hang wurden verschiedene Schutzmaßnahmen umgesetzt. Abbildung 5 zeigt eine solche typische Anordnung.

3.1 Die oberen Hanglagen

Im Bereich der oberen Hanglagen mit Neigungsgradienten steiler als 20 Grad wurden flexible Steinschlagschutzbarrieren und Steinschlagfangzäune mit der Zielsetzung verbaut, Steinschlag mit teils größeren Felsblöcken (für welche geschätzte Dimensionen/Kubaturen) frühzeitig zu stoppen (Abbildung 6).

Diese verhältnismäßig leichten Strukturen mit vergleichsweise geringem bis mittlerem Energieabsorptionsniveau wurden so dicht wie möglich an die Bereiche positioniert, aus denen sich größere Felskörper (Dimension) aus dem Hang lösen könnten. Das Energielevel der gewählten Maßnahmen konnte durch die Reduzierung der potentiellen Fallhöhe und der damit eingeschränkten Energieentwicklung des Felskörpers auf dem Weg hangabwärts bis zum Aufprall auf die flexible Barriere gering gehalten werden.

Während der Ereignisse vom Oktober 2000 konnte beobachtet werden, dass größere Felskörper, die aus den oberen Hangregionen ausgetreten sind, die zerstörerische Wirkung der Murgänge in den flacheren Bereichen massiv erhöht haben. Durch die Eliminierung der zusätzlichen Wirkung der großen Felskörper soll der Umfang künftiger potentieller

ler Murgänge aus kleineren Partikeln (Dimension und der Effekt dieser Murgänge auf die Talsohle drastisch reduziert werden. Des Weiteren erleichtert die Trennung der größeren Felskörper im oberen Hangbereich von den kleineren Geröllanteilen im mittleren und unteren Hangbereich die regelmäßigen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen nach künftigen Ereignissen. Eine Wartungsstraße in unmittelbarer Nähe der Barrieren erleichtert diese regelmäßigen Instandhaltungsarbeiten.



Abb. 6 : Ansicht einer flexiblen Steinschlagschutzbarriere

Unterhalb der flexiblen Steinschlagschutzbarrieren wurden Maßnahmen zum Oberflächenerosionsschutz umgesetzt, die teils mit kurz- bis mittelfristig wirkenden biologisch abbaubaren Naturfasermatten, teils mit geokunststoffbasierten Wirrgelegeprodukten realisiert worden sind. Die Begrünung erfolgte in einer Kombination aus Renaturierung mit schnellwachsendem vorhandenen Bewuchs und einer An-spritzbegrünung. (Abb. 7 und 8).



Abb. 7: Oberer Bereich des Konoids, Biologisch abbaubare Naturfasermatten in Verbindung mit einer Anspritzbegrünung



Abb. 9: Überblick Gabionenstützwände mit Drainagefunktion



Abb. 8: Oberer Bereich des Konoids, Komposit einer geokunststoffbasierte Wirrgelegematte mit einem Stahlgeflechtnetz als Armierung mit anschließender Anspritzbegrünung



Abb. 10: Gabionenwand mit Vegetations taschen

3.2 Die mittleren Hanglagen

In den mittleren Hanglagen mit Neigungsgradienten zwischen 10 und 20 Grad wurde eine ganze Serie von Gabionenstützwänden realisiert, die neben der Stützfunktion auch eine entscheidende Rolle bei der Drainage übernehmen können. Die Gabionenwände entwässern in ein System zentraler Abflussrinnen.

Da die Entstehung von Murgängen originär mit der Bildung instabiler Oberflächenschichten aus gesättigten Lockerböden in Zusammenhang gebracht wird, können geeignete Drainagemaßnahmen einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, die Scherkräfte der Böden oberhalb der kritischen Stabilitätsgrenzbereiche zu halten. Um eine adäquate Drainage sowie die geotechnische Stabilität der Oberfläche in den mittleren Hangbereichen wieder herzustellen, sind die Gabionenwände quer zur Hauptneigungslinie des Hangs angeordnet. Eine harmonische Einbindung dieser Strukturen in die natürliche Umgebung ist durch die Integration sogenannter Vegetationstaschen in die Gabionenkonstruktion gelungen. Die Taschen bestehen aus Jutematten, die mit Rekultivierungsböden gefüllt und anschließend mit einer Anspritzbegrünung versehen worden sind (Abb. 9 und 10)

Die von den beauftragten Planungsingeuren favorisierte Konzeption mit Gabionen wurde bei der Bewertung der Lösungsoptionen vor dem Hintergrund der drei folgenden Hauptmerkmale / -eigenschaften ausgewählt:

Gabionen bieten ausreichend Festigkeit gegenüber äußeren Lasten durch die Kombination von Steinfüllung und untereinander verbundener Stahlgeflechtstruktur

Gabionen weisen eine hohe Drainagekapazität aufgrund ihrer porösen Struktur auf, wodurch der Aufbau von hydrostatischen Drücken hinter der Wand wirksam und nachhaltig reduziert / unterbunden wird

Gabionen mit begrünter Vegetationstaschen fügen sich sehr gut in die natürliche Umgebung ein.

Aufgrund der vorhandenen Hohlräume zwischen den soliden Natursteinen sind Gabionenstrukturen grundsätzlich für Pflanzenbewuchs geeignet, sofern die Hohlräume mit Erdstoffen versehen werden. Im konkreten Fall wurde während des Aufbaus der Gabionenwände zusätzliche eine Reihe vegetativer Einschlüsse eingebracht, die einen Übergang zwischen den Gabionenoberseiten und den Gabionenfronten im Bereich der treppenförmig rückversetzten Front der Gabionenstruktur bilden. Die hierfür eingesetzten Jutegebe wurden längs zur Gabionenwand kanalförmig ausge-

legt (Abb. 11, 12). Auf diese Weise kann der rekultivierfähige Boden von den Jutefasern bis zur ausreichenden Durchwurzelung für einen temporären Übergangszeitraum wirksam eingeschlossen werden. Nachdem der Mutterboden eingefüllt und dem Verlauf der Gabionenwand angepasst wurde, wird das Jutenetz an der oberen seitlichen Begrenzung geschlossen. Die Decklage bildet hierbei zusätzlich einen wirksamen Erosionsschutz

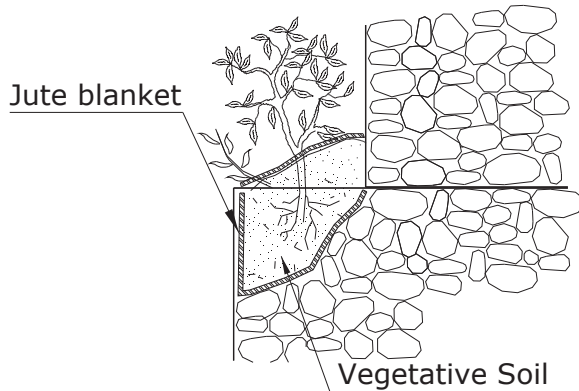


Abb. 11: Vegetativer Einschluss – Detail



Abb. 12: Sicht auf vegetativen Einschluss

Ein trapezförmiger Entwässerungskanal aus Natursteinmauerwerk wurde in den mittigen Abschnitten eingebracht, um die Niederschlagsmengen entlang des höchsten Gradienten abführen zu können (Abb. 13). Alternativ wurden zur Abflusskontrolle in einigen Bereichen Holzpfähle und Entwässerungssysteme in einem Fischgrätenmuster senkrecht zur Abflussrichtung gelegt (Abb. 14). Die verwendeten Holzstämmen stammen aus dem Bruchholzbestand, der infolge der Oktoberereignisse in großem Umfang zur Verfügung stand.

3.3 Die unteren Hanglagen

Letztlich wurde im unteren Hangverlauf, in dem die Gradienten mäßig bis gering eingestuft werden können (weniger als 10%), vorwiegend der anstehende Boden abgestuft und mit geeigneten Begrünungsmaßnahmen versehen. An den meisten Abschnitten wurde im unteren Böschungsbereich als letzter Teil der Schutzmaßnahmen eine Reihe von bewehrten Erdwallbarrieren errichtet.



Abb. 13: Sicht auf Entwässerungskanal

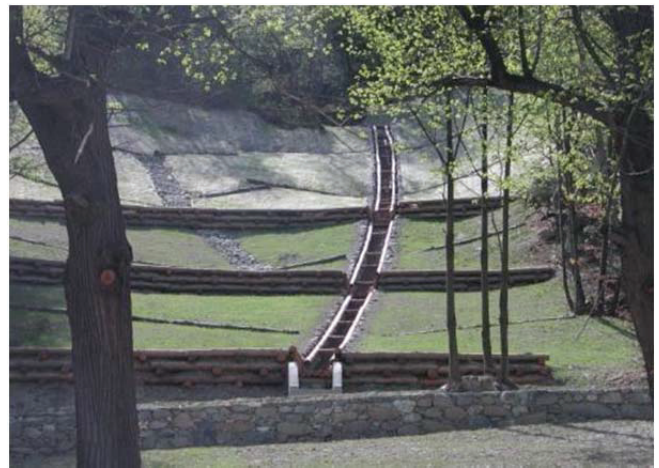
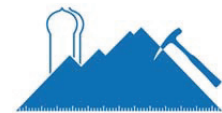


Abb. 14: Sicht auf alternative Entwässerungsanlage aus Bruchholzstämmen

Ihr Zweck besteht im Wesentlichen darin, im Fall zukünftiger Geröllbewegungen als letzte passive Barriere den Murgang an sichere Ablagerungsorte in ausreichender Entfernung der benachbarten Gebäude und der Infrastruktur umzulenken. Die morphologischen Gegebenheiten des Gebietes in dieser Region zeichnen sich durch stark variierende Gradienten (von steil bis mäßig) auf kleinem Raum aus, wodurch ein erhöhtes Risiko an Geröllbewegungen und Erderschereignissen resultiert. Um diesem Risiko Rechnung zu tragen, haben die für die Planung verantwortlichen Entscheider festgelegt, diese zusätzlichen Schutzbarrieren umzusetzen, um die Sicherheit der wachsenden Population im Tal zu gewährleisten. Die Abmessungen des Damms, wurden so ausgelegt, dass dieser der Geröllbewegung des Bemessungsereignisses, wie jenes im Oktober 2000, standhalten kann.

3.4 Die bewehrten Erdwallbarrieren

Die Barriere besteht aus einem Erdwall mit einer bewehrten Erdstruktur, in die lagenweise und durchgängig ein Stahlnetzgeflecht in vertikalen Abständen von 0,73 m eingelegt ist, das den Damm auf beiden Seiten der Struktur umhüllt. Die bewehrte Erdstruktur kommt ganz ohne Verwendung von geokunststoffbasierten Geogittern aus. Das Stahlnetzgeflecht übernimmt hierbei sowohl die Funktion der Bewehrung



rung wie auch der Rückverankerung der Böschungfrontbereiche, Das Stahlnetzgeflecht ist durchgehend verlegt, es gibt keine Übergangs- und Verbindungsbereiche zwischen Frontpanel und Bewehrung, die konstruktionsbedingt bei der Verwendung von Geogittern auftreten. Die Einheiten werden vor der Verfüllung mit Boden und der anschließenden Verdichtung miteinander verbunden. Dieser Vorgang wird schichtweise von unten nach oben wiederholt. Die Einheiten haben zur Erzeugung des trapezförmigen Querschnitts unterschiedliche Abmessungen, die als werkseitig vorgefertigte Einheiten einbaufertig auf das Baufeld geliefert worden sind. Abb. 15 zeigt einen typischen Querschnitt des bewehrten Erdwalls.

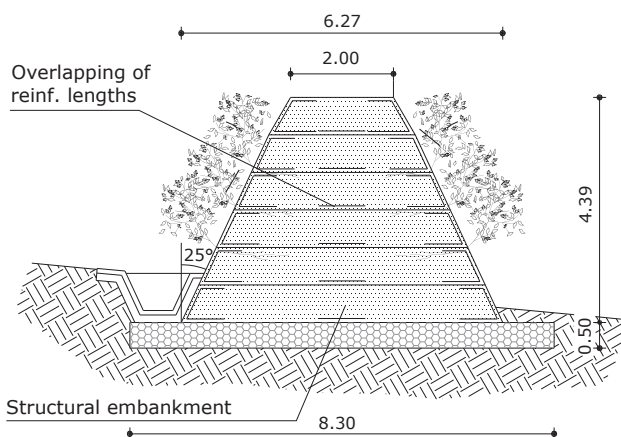


Abb. 15: Typischer Querschnitt eines Murgangdammes als bewehrter Erdwall

Die Abmessungen des Dammes sind: Höhe: 4.39 m, Breite unten: 6.27 m, Breite der Dammkrone: 2m. Die Böschungsneigung beträgt auf beiden Seiten 65 Grad zur Horizontalen, wodurch eine effektive Verwendung des mit dem Hydro-Seeding-Verfahren ermöglicht wird und einer nachhaltigen Begrünung sichergestellt werden kann. Das begünstigt das Wachstum einer dichten Vegetationsschicht auf der Oberfläche, wodurch einerseits der ästhetische Aspekt verbessert wird und andererseits infolge der Durchwurzelung auch die Widerstandsfähigkeit der Struktur erhöht wird. Bei steileren Böschungsneigungen ist der natürliche Niederschlag häufig nicht ausreichend, um eine langfristige Begrünung sicherzustellen, zusätzliche Bewässerungseinrichtungen müssten in solchen Fällen in die Planung aufgenommen werden.

Die lastabtragende Füllung des Erdwalls besteht aus Gesteinskörnung hoher Permeabilität nach A2-4 und/oder A-2-5 (AASHTO Klassifizierung). Die Verfüllung und Verdichtung wird mit herkömmlicher Maschinenteknik zur Erdbewegung in 250-300 mm starken Schichten durchgeführt.

Das Fundament des Erdwalls ist aus einer 500 mm starken Schicht aus Gabionen hergestellt worden (Abb. 16), wodurch die Entwässerungskapazität der gesamten Struktur verbessert wird. Entlang des hangaufwärts verlaufenden Dammfußes wurde zusätzlich eine Abflusssrinne angeordnet, um den Oberflächenabfluss abzuleiten. Die Rinne ist mit einer zusätzlichen Erosionsschutzmatte verstärkt.



Bild 16: Rovarey, Damm zu Beginn der Bauarbeiten



Bild 17: Rovarey, Damm am Ende der Bauarbeiten

Durch die spezielle Konstruktion der bewehrten Erdwalle kommen zwei grundlegende Vorteile zum Tragen:

Im Vergleich zu herkömmlichen Erddämmen haben die bewehrten Erdwalle durch die geringere Breite an der Basis (Böschungswinkel 65 Grad) einen deutlich reduzierten Flächenverbrauch. In der Folge wird auch deutlich weniger Verfüllmaterial benötigt (Abb. 17, 18)



Abb. 18: Miseregne, Durchlassöffnungen zur Vermeidung eines Druckaufbaus

Da Teile des Erdwalls auch aus Mutterboden bestehen, ist eine Begrünung möglich, wodurch sich die Struktur in ihr natürliches Umfeld einpassen kann. (Abb. 19). Zudem erzeugt das Pflanzenwachstum aufgrund der Verwurzelung zusätzliche Festigkeit. Es wurden geeignete Entwässerungsmaßnahmen getroffen, um die Stabilität der Dammgründung zu sichern.



Abb. 19: Nus, Damm am Ende des Abwärtsstroms

3.5 Bemessung der bewehrten Erdwallbarrieren

Die Bemessung der Murgangbarrieren wurde mit der Annahme getroffen, dass diese einem dynamischen Einschlag einer Kollisionsmasse standhalten sollen (KAR et al.). Diese Annahme wurde, obwohl überholt, aufgrund des Mangels an spezifischen Tests und einer sorgfältigeren numerischen Simulation gewählt.

Die Theorie von KAR geht davon aus, dass die Eindringtiefe einer gegen die Barriere einschlagenden Masse gegeben ist durch:

$$Z = \frac{27183}{\sqrt{Y}} \cdot N \cdot \left(\frac{E}{E_s} \right)^{1.25} \cdot \frac{P}{d^{2.31}} \cdot \left(\frac{V}{1000} \right)^{1.25}$$

mit $Z = (z/2d)^2$; wenn $z/d \leq 2$

$Z = (z/d - 1)$; wenn $z/d \geq 2$

und

Y = Druckfestigkeit Boden

N = Formfaktor (1 sehr spitz – 0.72 glatt)

E = Elastizitätsmodul des Steins [kN/m²]

E_s = Elastizitätsmodul Stahl = 206850 · 10³ [kN/m²]

P = Gewicht des Steins = 2000 [kg]

V = Einschlaggeschwindigkeit (horizontaler Anteil)

Die Druckfestigkeit wird nach den Versagenskriterien von T. Kawamura für bewehrte Erde abgeschätzt

$$\tau = c + \frac{P_r}{A_s} \cdot (\sin \vartheta \cdot \tan \phi + \cos \vartheta) + (1 + \beta) \cdot \sigma_n \cdot \tan \phi$$

mit

ϑ = Versagensebene (Winkel zur Horizontalen)

ϕ = Reibungswinkel Boden

β = 0.2 ÷ 0.4, Faktor, der den Widerstand gegen die in das Füllmaterial induzierte Ausdehnung berücksichtigt.

Die Geschwindigkeiten, die in der Analyse betrachtet werden liegen zwischen 20 und 30 m/s, die durchschnittlichen Werte für Erdbeben liegen zwischen 10 und 30 m/s. Die Ergebnisse zeigen, dass bei den angenommenen Energien und Abmessungen, die maximale Eindringtiefe 1,8 m beträgt. Wenn man berücksichtigt, dass die Theorie nach KAR recht grobe Ergebnisse auf der sicheren Seite erzielt, kann man von maximalen Eindringtiefen zwischen 1,0 - 1,5 m inklusive Sicherheit gegen Durchbruch rechnen.

4 Schlussfolgerungen

Seit dem Jahr 2001 werden die Schutzmaßnahmen in Fenis, Miseregne, Rovarey und Nus im Aosta-Tal regelmäßig von den örtliche Behörden überwacht (Abb. 20, 21). Die Ergebnisse zeigen, dass es bei Großprojekten mit unvorhersehbaren und gefährlichen Murgängen, fundamental sein kann, Strukturen von Grund auf zu verändern. Besonders positiv aufgenommen wurde auch der Umstand, dass nahezu alle verwendeten Strukturen in besonderer Weise geeignet sind, mit den Ansätzen des Bio-Engineering gekoppelt zu werden. Dieser Punkt ist für die Herstellung einer nachhaltigen, ökologisch ausgewogenen Konstruktion sehr wichtig.



Abb. 20: 2002, Sicht auf Miseregne

Die Arbeiten zeigten, dass eine Einfügung in das Umfeld und eine Wiederherstellung der ursprünglichen und natürlichen Flora und Fauna des Tals möglich ist. Besonders erfolgreich waren diesbezüglich die begrünbaren Dämme, bei denen die Vegetation bereits nach einem Jahreszyklus wieder vollständig zugewachsen war. Fast alle gewählten Strukturen kommen ohne die Verwendung von Kunststoffen aus und bestehen im Wesentlichen aus natürlichen Baustoffen (Stein, Erde und Jute). Sie wurden nach ingenieurtechnischen Prinzipien entworfen und kombinierten geotechnische und hydraulische Stabilität mit den modernen umweltfreundlichen Methoden der Biotechnik für Böden.



Abb. 21: 2002, Rovarey, begrünte Barriere

In den letzten Jahren hat der ständige Anstieg von Naturgefahren infolge Geröllbewegungen in Europa, Besorgnis unter Ingenieuren erweckt und die Frage aufgeworfen, inwiefern eine allgemeine Anleitung für einen nachhaltigen, umweltfreundlich ausgewogenen Ansatz bereitgestellt werden kann, um derartige Szenarien zu kontrollieren.

Das Thema Murgang wird derzeit intensiv in der Literatur behandelt. Neben den aktuell sehr umfangreich diskutierten flexiblen Murgangbarrieren, die in weiten Teilen aus den Erfahrungen mit der flexiblen Steinschlagschutzbarriertechnologie abgeleitet worden sind, wurde im vorliegende Beitrag der Versuch unternommen, einen Überblick über die Bandbreite möglicher Maßnahmen zu geben, die das zugrundeliegende Problem in seiner Vielschichtigkeit in Abhängigkeit zur Hanglage und den Hanggradienten mit einem auf das jeweilige Ursache und Wirkung Prinzip abgestimmten Lösungskonzept kontrollierbar macht.