

Die Standsicherheit des Bergfrieds von Schloß Tirol bei Meran

Von Paul STACUL
Mit 5 Abbildungen im Text
Eingelangt am 23. Oktober 1989

Einleitung

Im Rahmen der Planung der jüngsten Restaurierung von Schloß Tirol bei Meran wurde auch der Untergrund der Anlage einer genauen geologischen sowie erstmalig einer bodenphysikalischen Untersuchung unterzogen. Besondere Aufmerksamkeit galt dabei dem Baugrund des Bergfrieds, da er das größte Bauwerk darstellt und eine ausgesetzte Lage einnimmt.

Im folgenden werden die Ergebnisse der einschlägigen statischen und geomechanischen Berechnungen sowie die Vorschläge zur Sicherung von Boden und Gebäude dargelegt.



Abb. 1: Ansicht von Schloß Tirol von Osten. Rechts die Baugruppe aus Bergfried und Mushaus, links Kaplanei, Palas und Kapelle. Die Steilabbrüche bestehen aus würmzeitlicher Moräne mit einer Einlagerung von sandigem Kies (K) und tragen eine Überdachung zum Schutz vor Niederschlägen.

Morphologischer Überblick

Schloß Tirol erhebt sich knapp 3 km nördlich von Meran in 647 m Seehöhe auf einer Lockergesteinskuppe, die von Wildbächen aus dem Gehänge geschnitten wurde.

Talwärts dacht das Gelände mäßig flach ab, bergwärts (gegen Norden) und im Osten hingegen fällt die Kuppe in steilen, mehrere Zehnermeter hohen Abbrüchen zum Gratscher Graben ab; abschnittsweise treten die entblößten Steilwände unmittelbar an die Bauten heran (Abb. 1).

Geologischer Überblick

Das Felsgerüst des Meraner Raumes nördlich der Periadriatischen Naht bildet plattiger Feinkorngneis der oberostalpinen „Zone der alten Gneise“ mit generellem NE-Streichen und mittelsteilem Einfallen nach NW.

Seinem Fuß ist im Bereich von Schloß Tirol eine etwa 400 m mächtige Folge von Sedimenten des Pleistozäns und des Holozäns aufgelagert; sie umfaßt von unten nach oben folgende Schichtglieder:

- Murschutt aus meist wirr gelagerten Gneisbruchstücken,
- flach geschichteten sandigen Kies der Etsch,
- massige gemischtkörnige Grundmoräne mit nach oben zunehmendem Anteil an Grobkorn, mit Kieslinsen und Blocklagen, die der Bildung von Erdpyramiden Vorschub leisten,
- Gneiskies postglazialen Alters.

Die beiden ersten Ablagerungen wurden dem Riß-Würm-Interglazial zugezählt (KLEBELSBERG 1935: 536, FISCHER 1965: 152), dürften aber, in Analogie zu vergleichbaren Bildungen im Ostalpenraum, einschließlich Südtirol (CASTIGLIONI & TREVISAN 1973: 16, FLIRI 1974: 104, FLIRI 1977: 502, FLIRI 1989: 62), einem Würm-Interstadial angehören. Die Grundmoräne wäre dann mit größter Wahrscheinlichkeit dem hauptwürmzeitlichen Gletschervorstoß zuzuordnen.

Sämtliche Glieder, mit Ausnahme des letzten, waren einer hohen geologischen Vorbelastung ausgesetzt.

Der Baugrund von Schloß Tirol

Schloß Tirol ist auf den glazialen Sedimenten der quartären Schichtfolge erbaut, die nur auf den unbewachsenen Steilhängen an der Nord- und Ostseite der Anlage zutage treten. Sie bestehen aus Grundmoräne mit einer 5 m mächtigen Einlagerung von sandigem Kies (Abb. 1, 5). Der obere Moränenanteil bildet den Untergrund des erhöht stehenden Gebäudekomplexes aus Bergfried und Mushaus, während die übrigen, tiefer gelegenen Bauten teils auf Kies, teils auf dem unteren Anteil der Moräne stehen.

Bodenphysikalische Kennwerte

Geländeverfahren und Laboruntersuchungen an zahlreichen gestörten und ungestörten Materialproben lieferten nachstehende Kennwerte des Baugrundes.

- Die Grundmoräne entspricht einem gemischtkörnigen Boden mit 18–28% Kies-, 42–63% Sand- und 24–38% Feinkornanteil. Sie weist dichte Lagerung, feste Zustandsform, leicht plastische Eigenschaften und eine Fließgrenze w_L von 18,9–25,4% auf. Die Wichte γ schwankt zwischen 21,06 und 18,2 kN/m³, der Porenanteil n zwischen 0,2 und 0,29, der natürliche Wassergehalt w zwischen 2,9 und 5,3%. Die Scherparameter ϕ' und c' betragen 25° bis 31° bzw. 25 bis 60 kN/m².

- Die Schmelzwassereinlagerung ist als sehr ungleichförmiger, weitgestufter Kies mit 16% Sandanteil anzusprechen. Der Reibungswinkel ϕ beträgt etwa 40° , Kohäsion fehlt, die Lagerung ist dicht.

Die Burganlage

In Anpassung an das Gelände besteht die Burg aus drei um einen Innenhof gruppierten Gebäudekomplexen: der erhöht stehenden Baugruppe aus Bergfried und Mushaus im Norden, dem tiefer gelegenen Palas mit Kapelle und Kaplanei im Süden und den Wirtschaftsgebäuden im Westen (Abb. 1, 2).

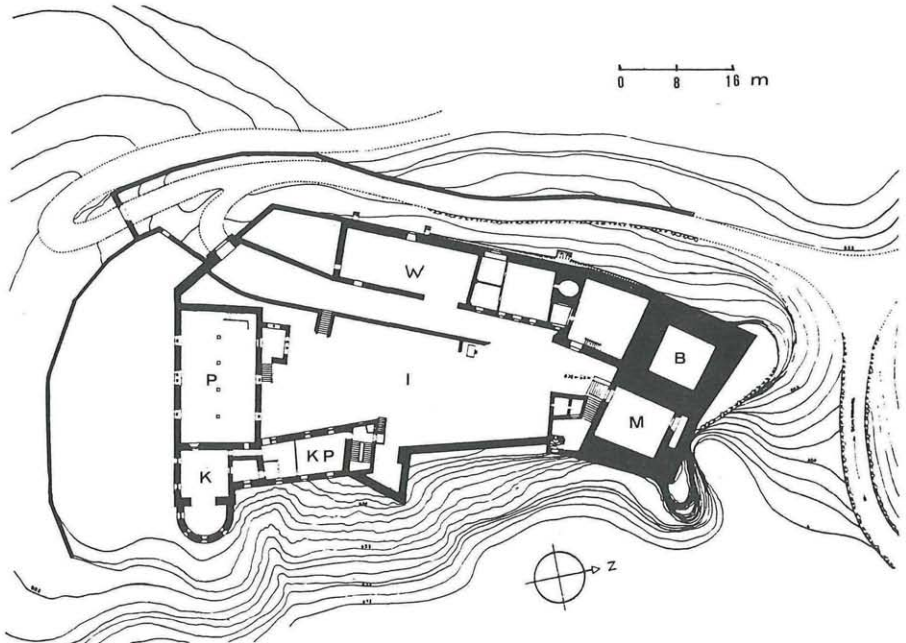


Abb. 2: Lageplan von Schloß Tirol (aus TRAPP, 1973). – B – Bergfried, M – Mushaus, P – Palas, K – Kapelle, KP – Kaplanei, W – Wirtschaftsgebäude, I – Innenhof.

Der im wesentlichen aus dem 12. Jahrhundert stammende Sitz der Grafen von Tirol wurde nach Verlegung der Residenz des Landesfürsten nach Innsbruck um 1420 der Vernachlässigung und dem allmählichen Verfall preisgegeben.

Im 16. Jahrhundert und in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts häufen sich Berichte von Schäden. Das schwerwiegendste Ereignis scheint der um 1520 erfolgte Absturz nördlicher und östlicher Anteile der Burg gewesen zu sein, als dessen Ursache die historischen Quellen einen „Lahnpruch“ im Gefolge langandauernder Niederschläge anführen.

Im Jahre 1641 erfuhr das Burgareal durch die Abtragung gefährdeter Gebäudeteile im Norden und Nordosten eine weitere Einengung.

Ende des vorigen Jahrhunderts setzte die Restaurierung der seit 200 Jahren leerstehenden und gänzlich verwahrlosten Anlage ein, die mit Unterbrechungen bis in die Gegenwart andauert. Der bedeutendste bauliche Eingriff betrifft die anfangs des Jahr-

Mehrfach wurden auch Maßnahmen zur Sicherung des Untergrundes der Schloßanlage ergriffen, die im wesentlichen in der Aufführung von Stützmauern sowie, in richtiger Erkenntnis der Wasserempfindlichkeit der Moräne, in Vorkehrungen zur Ableitung des Niederschlagswassers bestanden.



Abb. 3: Ansicht von Schloß Tirol von Norden. Im Vordergrund Bergfried und Mushaus, im Hintergrund links Kaplanei und Kapelle. Dem Fuß des Bergfrieds ist eine alte Trockenmauer (T) bastionartig vorgebaut, den Untergrund des Mushauses unterfängt eine Bogenmauer (B).

Diesbezüglich ist vor allem die Überdachung der Steilabbrüche an der östlichen Ecke des Schlosses hervorzuheben (Abb. 1, 3). Die Pultdächer laden bis 6,5 m weit aus und scheinen in ihrer ersten Anlage auf das Jahr 1641 zurückzugehen.

Die bedeutendsten Stützmauern befinden sich an der Nord- und Ostflanke der Anlage; die Mauertechnik weist auf verschiedene Bauperioden hin.

Die Nordseite der Burg ist in ihrer gesamten Breite mit Stützbauwerken versehen. Der bastionartig vorspringende Untergrund der nördlichen Ecke des Bergfrieds ist mit einer alten, etwa 11 m hohen, heute stark aufgelockerten, 60° bis 70° geneigten Trockenmauer verkleidet. Daran schließt eine tiefere, 10,5 m hohe gut erhaltene Mörtelbogenmauer an, die den Untergrund des östlichen Teiles des Bergfrieds und des Mushauses unterfängt (Abb. 3).

Am Osthang stehen zahlreiche niedrige, übereinandergestaffelte Stützmauern.

Zur Sicherung des östlichen Fußes des Burghügels trägt schließlich die erst in jüngster Zeit vollendete Verbauung des Gratscher Grabens bei; in ihm ist die wohl älteste, aus dem Jahr 1612 stammende Geschiebestausperre Südtirols erhalten (LADURNER-PARTHANES 1971: 69).

Die bisher ergriffenen Maßnahmen scheinen ihren Zweck im wesentlichen erfüllt zu haben. Der Vergleich mit älteren Abbildungen läßt nämlich eine Abnahme der Hangbewegungen und Erosionserscheinungen bei gleichzeitiger Ausdehnung des submediterranen Buschwaldes erkennen.

Der Bergfried

Der Bergfried steht an der höchsten Stelle des Burghügels an der Nordseite der Anlage; seiner NW- und NE-Seite ist die Ringmauer vorgebaut (Abb. 2, 4 b).

Der Bergfried besteht aus zwei Teilen, einem Sockel und dem eigentlichen Turm (Abb. 4).

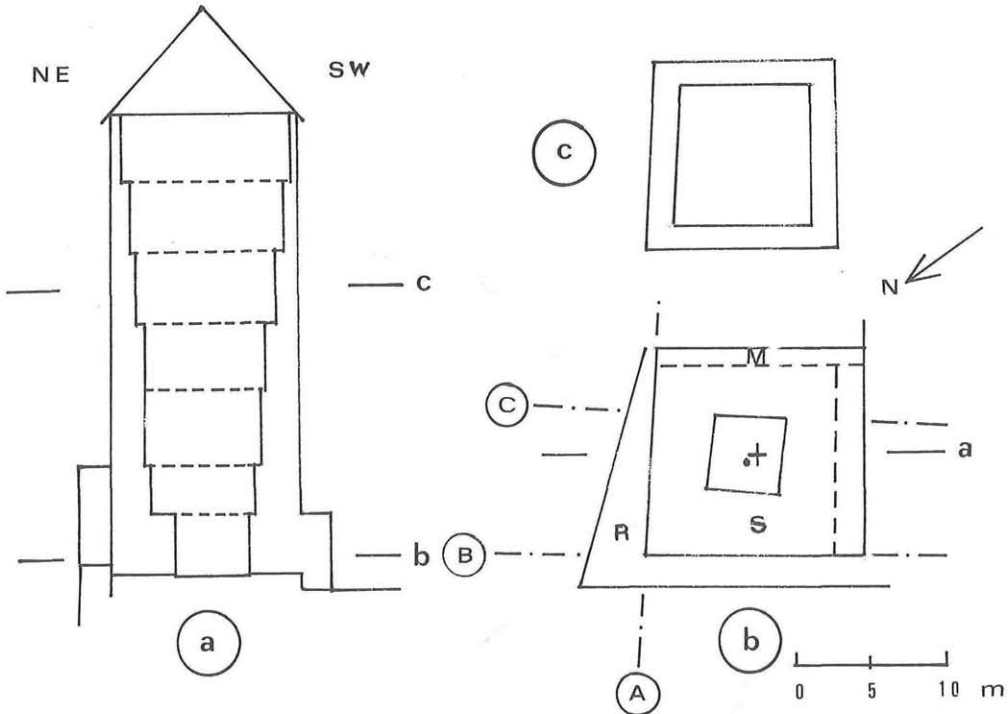


Abb. 4: Bergfried. a – Längsschnitt, b – Grundriß des Sockels (S) mit Ringmauer (R). M – vom Mushaus überbauter Sockelvorsprung, A, B, C – Schnitte für die Berechnung der Standsicherheit, + Flächenschwerpunkt der Gründungssohle, • Gesamtlastenschwerpunkt; c – Grundriß des vierten Turmgeschosses.

Der Sockel hat einen leicht trapezförmigen Grundriß mit Kantenlängen von 14,60, 14,35, 13,70 und 13,50 m, eine Mauerstärke von 3,5 bis 5,4 m und enthält einen exzentrischen Innenraum von etwa 5 m Kantenlänge. Die Gesamtgrundfläche mißt 196,46 m², die Gründungssohle 169,63 m². Die Höhe des Sockels beträgt 4 m; im SW und NW, wo das Gelände unregelmäßig abdacht, ist der Sockel abschnittsweise einem wechselnd starken, bis 4,2 m hohen Unterbau aus Mauerwerk aufgesetzt.

Der sechsgeschossige Turm erhebt sich außermittig auf dem Sockel, so daß die NW- und NE-Mauern bündig sind, der Sockel aber im SW und SE um 2,1 bzw. 1 m vorspringt. Der SE-Vorsprung ist vom Mushaus überbaut.

Der Turm weist ebenfalls einen leicht trapezförmigen Grundriß mit 12,75, 12,55, 12,50 und 12,25 m Kantenlänge im ersten Geschoß auf. Die Mauerstärken nehmen von einem Maximum von 3,2 m im ersten Geschoß auf 0,8 m im sechsten Geschoß ab. Die Höhe des Turms beträgt 26,55 m, den Abschluß bildet ein etwa 7 m hohes Pyramidendach.

Das Mauerwerk besteht aus lagerhaften Gneisbruchsteinen mit ausgemörtelten Fugen, der Sockel zeigt an der freien Hofseite Reste einer Verkleidung mit Gneisquadern.

Der Sohldruck des Bergfrieds

Die Bauwerkslast setzt sich zusammen aus der Gewichtskraft des Bergfrieds und jenes Teiles des Mushauses, der auf dem Sockel des Bergfrieds aufliegt.

Es wurden folgende Lastannahmen getroffen:

- ständige Lasten

Mauerwerk	27,47 kN/m ³
Dach	0,74 kN/m ²
Decken	2,47 kN/m ² im Bergfried 4,50 kN/m ² im Mushaus
- Verkehrslasten

Personen	0,98 kN/m ² im Bergfried 1,96 kN/m ² im Mushaus
Schnee	0,50 kN/m ² am Bergfried 0,64 kN/m ² am Mushaus

Gegenüber der Mauerwerkslast erweisen sich die übrigen Lasten als unbedeutend; die geringe Windlast auf den höheren Turmteil wurde vernachlässigt.

Die Bauwerkslast beträgt:

Turm	53,24 MN
Sockel von 4 m Höhe	18,64 MN
Mushausanteil	<u>0,97 MN</u>
Gesamtlast	72,85 MN

Die Bauwerkslast wirkt auf eine 169,63 m² messende, leicht trapezförmige Sohlfläche mit Innenaussparung. Die Berechnung der Trägheits- und Widerstandmomente wurde mit der Formel für das aufgelöste Rechteck durchgeführt.

Die Belastung der Grundfläche erfolgt lotrecht und außermittig; die Resultierende der Teillasten (Turm, Sockel, Mushausanteil) weist nämlich, bezogen auf den Schwerpunkt der Gründungssohle, eine Exzentrizität e_x von 0,76 m und e_y von 0,15 m auf. Die x -Richtung verläuft parallel zur NW-Kante des Bergfrieds, die y -Achse steht senkrecht dazu, der Gesamtlastenschwerpunkt fällt somit in den N-Quadranten der Grundfläche (Abb. 4 b).

Die Sohlfuge wird daher auf Druck und doppelte Biegung beansprucht:

- der vertikale Sohldruck beträgt

$$p_v = \frac{\text{Gesamtlast}}{\text{Grundfläche}} = \frac{72,85 \text{ MN}}{169,63 \text{ m}^2} = 0,43 \text{ MN/m}^2 = 43 \text{ N/cm}^2$$

- die Kantenpressung beträgt

$$p_x = \frac{M_x}{W_x} = \frac{10,90 \text{ MNm}}{437,00 \text{ m}^3} = 0,0249 \text{ MN/m}^2 = 2,49 \text{ N/cm}^2$$

$$P_y = \frac{M_y}{W_y} = \frac{55,30 \text{ MNm}}{466,38 \text{ m}^3} = 0,1186 \text{ MN/m}^2 = 11,86 \text{ N/cm}^2$$

Die Beanspruchung an den vier Eckpunkten des Bergfrieds erreicht folgende Werte:

Eckpunkt	P_v	P_x	P_y	Σ
N	43	+ 2,49	+ 11,86	57,35 N/cm ²
W	43	+ 2,49	+ 11,86	33,63 N/cm ²
S	43	- 2,49	- 11,86	28,65 N/cm ²
E	43	- 2,49	+ 11,86	52,27 N/cm ²

Die Berechnung der Standsicherheit des Bergfrieds

Die Berechnung der Standsicherheit des Bergfrieds erfolgte an drei Schnitten, die im Bereich der höchsten Sohldrücke und/oder des ungünstigsten Böschungsverlaufes durch das Bauwerk und seinen Untergrund gelegt wurden (Abb. 5, nächste Seite).

Die Ermittlung der Standsicherheit wurde durchgeführt

- für kreisförmige und für zusammengesetzte Gleitflächen; diese folgen abschnittsweise der ebenen Schichtgrenze zwischen Moräne und sandigem Kies,
- unter Berücksichtigung sowohl von Reibung und Haftfestigkeit als der Reibung allein, da bei Wasserzutritt mit dem Verlust der Kohäsion zu rechnen ist,
- unter Berücksichtigung lediglich der Reibung des weniger widerstandsfähigen Bodens an der Schichtgrenze zwischen Moräne und sandigem Kies.

Die Berechnung wurde nach dem Lamellenverfahren von KREY durchgeführt, wobei als Sicherheit angesetzt wird

$$\eta = \frac{\text{Summe der haltenden Momente}}{\text{Summe der treibenden Momente}}$$

Folgende Bodenkennwerte (Rechenwerte) wurden zugrundegelegt:

	cal γ	cal φ	cal c'
Moräne	20 kN/m ³	30°	36 kN/m ²
sandiger Kies	20 kN/m ³	40°	0

Nachstehend eine Auswahl der Berechnungsergebnisse

	Sicherheit η	
	mit φ'	mit $\varphi' + c'$
Schnitt A		
Gleitkreis 1	1,14	1,19
Gleitkreis 2	0,95	1,12
Gleitfläche 3	1,11	1,16
Gleitfläche 4	1,95	2,07
Schnitt B		
Gleitkreis 1	1,18	1,31
Gleitkreis 2	1,12	1,36
Gleitkreis 3	1,09	1,24
Schnitt C		
Gleitkreis 1	1,21	1,29
Gleitkreis 2	0,99	1,08
Gleitfläche 3	2,02	2,18
Gleitfläche 4	1,56	1,72

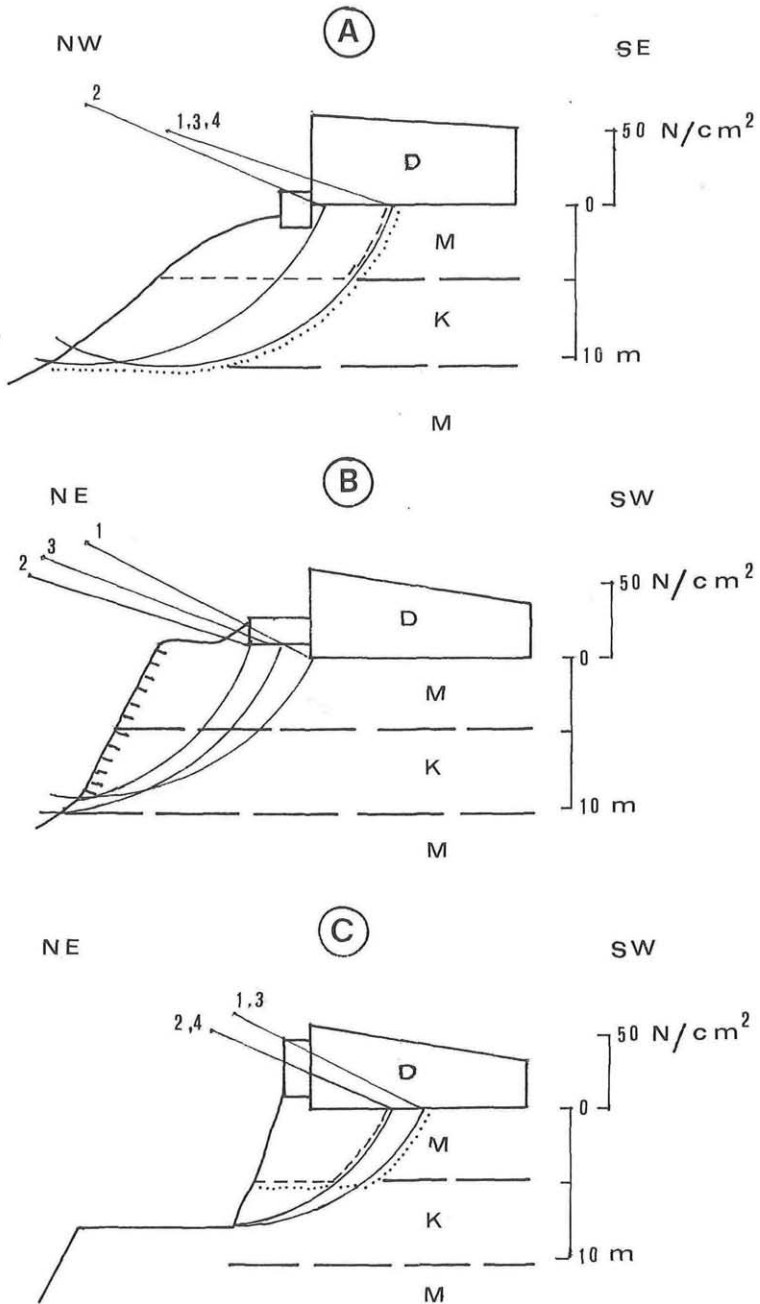


Abb. 5: A, B, C - Schnitte durch den Untergrund des Bergfrieds für die Berechnung der Standsicherheit. M - Moräne, K - sandiger Kies, D - Sohlgedächtnis von Bergfried (rechts) und Ringmauer (links), 1 bis 4 - Gleitkreise und Gleitflächen, rechts oben Skala des Sohlgedächtnisses, rechts unten Höhenskala.

Schlussfolgerungen und Vorschläge zur Sicherung von Untergrund und Bauwerk

Aus den Ergebnissen der Böschungsbruchberechnungen geht hervor:

- der Sicherheitsfaktor der Gleitkreise liegt bei 1 und ist damit weit von dem nach DIN 4084 für den Lastfall 1 geforderten Mindestwert von 1,4 entfernt,
- im Bereich der zusammengesetzten Gleitflächen ist die Sicherheit höher und im allgemeinen ausreichend,
- der Einfluß der Haftfestigkeit ist gering.

Die Standfestigkeit der nordwestlichen und der nordöstlichen Böschung und damit des Bergfrieds ist unter den gegenwärtigen Umständen bei Ausbildung von Gleitkreisen nicht gewährleistet.

Zur Sicherung von Bauwerk und Untergrund wurden nachstehende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Verfestigung der Kieseinlagerung durch Injektionen zur Verhinderung der Ausbildung von Gleitkreisen,
- Aufführung eines verankerten Stützbauwerkes am NW-Hang,
- Befestigung der NE-Böschung durch Alluvialanker,
- Oberflächenversiegelung der Steilabbrüche zwecks Ausschaltung der Witterungseinflüsse und Vorkehrungen zur Ableitung von Oberflächenwasser.

Literatur

- CASTIGLIONI, G. B. & TREVISAN, L. (1973): La sella di Appiano – Caldaro presso Bolzano nel Quaternario. – Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova, 29: 3–34.
- FISCHER, K. (1965): Murkegel, Schwemmkegel und Kegelsimse in den Alpentälern. – Mitt. Geogr. Ges. München, 50: 127–159.
- FLIRI, F. (1974): Zur eiszeitlichen Geschichte des Zentralraumes von Tirol. – Schlern, 48: 104–107.
- FLIRI, F. (1977): Eine neue wichtige Zeitmarke zur Kenntnis der Eiszeit im Alpenraum. – Schlern, 51: 502–503.
- FLIRI, F. (1989): Eine erste Bestimmung des Beginnes der Haupt-Würmvereisung im Zentralraum der Alpen (Albeins bei Brixen). – Schlern 63: 62–65.
- KLEBELSBERG, R. v. (1935): Geologie von Tirol. – Borntraeger, Berlin.
- LADURNER-PARTHANES, M. (1971): Zwei Bach-Rünste, Schicksal der Ortschaft Gratsch bei Meran. – Schlern, 45: 67–71.
- TRAPP, O. (1973): Schloß Tirol. In: Tiroler Burgenbuch, 2, Burggrafnamt: 57–104. – Athesia, Bozen.

Anschrift des Autors: Dr. Paul STACUL, Fagenstraße 56 B, I-39100 Bozen, Italien.