

## **Aufgaben der Geologie bei der Erhaltung von Verkehrswegen – Erfahrungen aus Vorarlberg 1972 – 1999**

**Heiner BERTLE**

### **Einleitung:**

Bei Tagungen und Symposien, aber auch in der Fachliteratur, wird überwiegend über größere Neubauprojekte berichtet. Dabei entsteht der Eindruck, dass es solche Projekte in unbegrenzter Zahl gibt und nur solche Projekte fachlich interessant sind.

An einigen ausgewählten Beispielen aus einem Teilbereich der Baugeologie, der geologischen Beratung bei der Erhaltung von Verkehrswegen – ähnliches gilt für die Hydro-, Rohstoff- und Umweltgeologie – wird gezeigt, dass die Bearbeitung kleinerer bis mittelgroßer Projekte im Zusammenhang mit der Erhaltung von Verkehrswegen abwechslungsreiche, fachlich anspruchsvolle Aufgaben mit hoher Verantwortung und großer gesellschaftlicher und volkswirtschaftlicher Bedeutung bietet. Die Bearbeitung dieser Aufgaben kann die wirtschaftliche Grundlage nicht nur für einzelne Geologen bilden, sondern wird dies in Zukunft für die Mehrzahl der Baugeologen sein.

Die vorgestellten Projekte wurden in verschiedenen Teilen Vorarlbergs und Westtirols in den vergangenen 28 Jahren bearbeitet, wobei der größte Teil auf die West-Ost-Achse Klostertal – Arlberg – Oberinntal konzentriert ist.

Vorgestellte Projekte und Legende zur Übersichtskarte (siehe Abb. 1):

- 1     Gemeindestraße Götzis – Meschach
- 2     Arlberg Schnellstraße S 16 / Engelwandfelsensturz
- 3     Arlbergbahn-Westrampe – Lawinendach Mühltoibel
- 4     Arlbergbahn-Westrampe – Gipsbergwerk-Viadukt
- 5     Arlbergstraße B 197 / Rauz-Posteck
- 6     Lechtalstraße B 198 – Flexenstraße/Hölltobelstunnel
- 7     Ischgl – 4 CLD-Gampenbahn
- 8     ÖBB-Bahnlinie Innsbruck – Bregenz / Bahnhof Imst
- 9     Hittisauerstraße B 205 und Riefensbergerstraße L 22

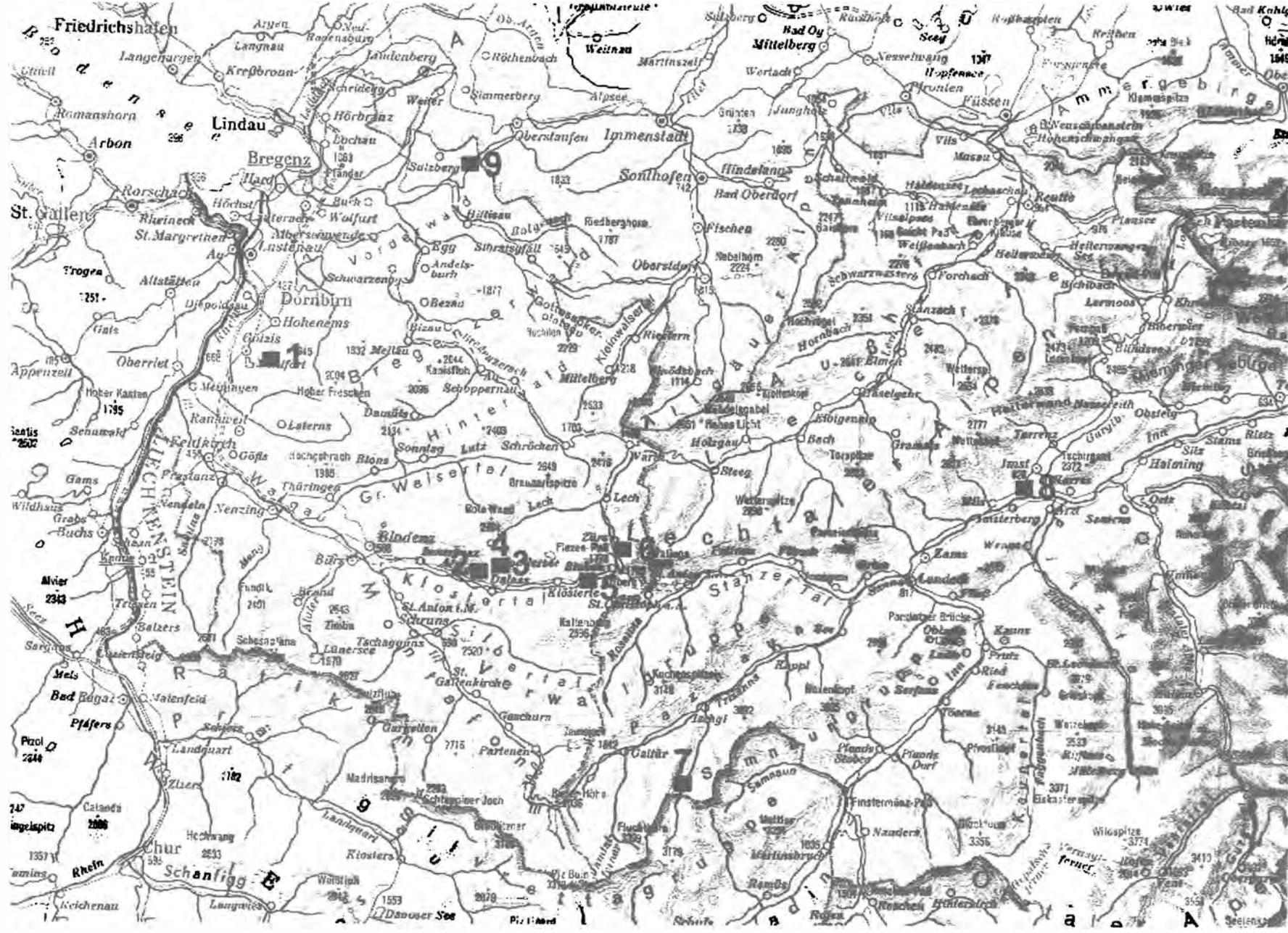


Abb. 1: Übersichtskarte der Projekte

## 1 Gemeindefstraße Götzis – Meschach:

Die 4 km lange Verkehrsverbindung zwischen Götzis und der Bergparzelle Meschach, eines stark besuchten Ausflugszieles in einem Landschaftsschutzgebiet mit fast gleich viel Gasthäusern wie Wohngebäuden, wurde als Saumpfad angelegt und später als Güterweg ausgebaut. Durch die Überlastung durch den steigenden Verkehr und Felssturzschäden musste diese Straße in den Jahren 1986 – 1996 um ca. 22 Mio Schilling abschnittsweise saniert werden.

Die dem Geologen übertragenen Aufgaben waren:

- Generelle Begutachtung und Festlegung der Sanierungsetappen nach Dringlichkeit
- Ausarbeitung der Sanierungsprojekte, Ausschreibung der Bauarbeiten, Bauleitung und Abrechnung

Realisiert wurden mehrere 100 lfm Stütz- und Futtermauern aus Vorgrundsteinen, Wegverlegungen, Unterbau-Erneuerungen, großflächige Felsvernetzungen, Ankerbalken, Stützknaggen, Entwässerungen sowie Felsabträge.

Im **Abschnitt Fuchsfalle** (Abb. 2) quert die Straße auf einer hinterfüllten, 9 m hohen Bruchsteinmauer, die mit handgeschmiedeten Zugstangen in die Felswand zurückgehängt wurde, das kleine Gewölbe von Meschach der Helvetischen Säntisdecke. An der Grenze der liegenden Amdener Mergel zum Seewerkalk und Gault-Grünsandstein des überkippten Liegendenschenkels treten ganzjährig Sickerwässer aus, die die Amdener Mergel der Maueraufstandsfläche im Steilhang aufweichen und jahreszeitlich den Aufbau von Wasserüberdrücken in der Mauerhinterfüllung verursachen. Dadurch - und durch die Überlastung durch die angewachsenen Achslasten - wurden die Mauer zunehmend ausgedrückt und in der Fahrbahndecke Absetzrisse geöffnet.

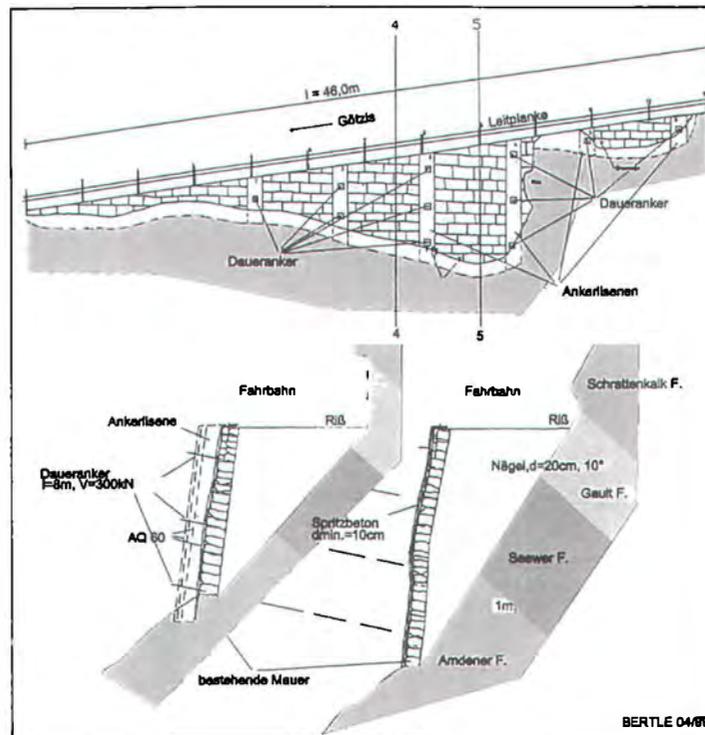


Abb. 2:  
Sanierungsschema der  
Stützmauer Fuchsfalle/  
Meschacherstraße

Die Notwendigkeit, die einzige Fahrwegverbindung in die Bergparzelle unterbrechungslos aufrecht zu erhalten, erforderte eine angepasste Sanierung:

- Abdeckung und Verstärkung der gereinigten Mauer mit einer genagelten Baustahlgitter-Spritzbetonschale,  $d = 10 \text{ cm}$
- 4 geankerte Spritzbeton-Lisenen,  $100 \times 75 \text{ cm}$ , mit 9 Dauerankern,  $\varnothing 32 \text{ mm}$ ,  $l = 8 \text{ m}$ ,  $V = 300 \text{ kN}$ , als Mauerverstärkung

## 2 Arlberg Schnellstraße S 16 / Engelwandfelssturz:

Die Arlberg Schnellstraße S 16 macht zusammen mit der Arlberg-Bahnlinie der ÖBB, der Bundesstraße B 197, den Landes- und Gemeindestraßen sowie mehreren Hochspannungsleitungen das Klostertal zur Hauptachse der W – E-Verbindung. Am 2.2.1982, 13.05 Uhr, wurde die S 16 unmittelbar von einem LKW-Zug durch eine Fels-Hangschutt-Schnee-Lawine von ca.  $10.000 \text{ m}^3$  überschüttet. 200 m über der Straße waren aus der  $70^\circ$  geneigten Wand ca.  $2.000 \text{ m}^3$  Fels ausgebrochen, in den unterliegenden bewaldeten Steilhang abgestürzt und gemeinsam mit Bäumen, Hangschutt und Schnee auf die am Hangfuß angelegte Straße abgefahren.

Die Felswand wird von steil gegen Tal einfallend geschichteten Reiflinger Knollenkalken,  $d = 20 - 100 \text{ cm}$ , des Klostertaler Sattels mit zwischengeschalteten pietra-verde-Lagen gebildet, die im Unterhang von Partnachschiefern und Arlbergschichten überlagert werden (Abb. 3).

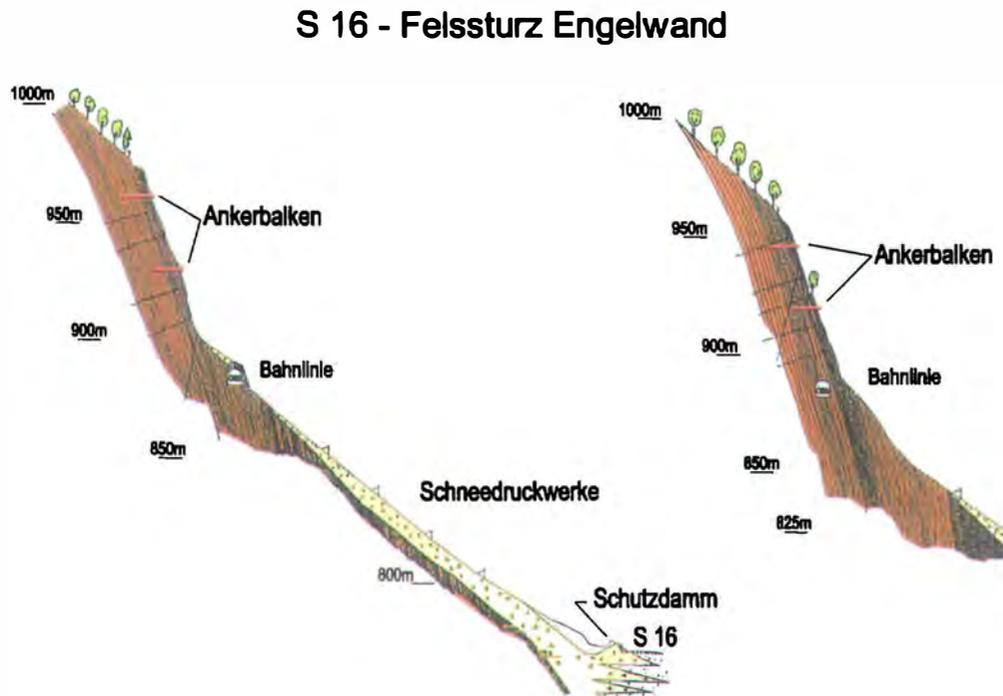


Abb. 3: Geologische Profilschnitte des Engelwandfelssturzes S 16 mit Sicherung

Durch den Fuß der Wand schneidet schleifend teils in einem Tunnel, teils in einem gemauerten Gewölbe die ÖBB-Arlbergbahntrasse. Beim Bau der Bahn hatte sich bereits ein ähnlicher Felssturz ereignet. Diese Sturzmasse zusammen mit dem Tunnelausbruchsmaterial wurde im Steilhang unter der Wand deponiert. Die Erschütterungen durch den Bahnverkehr mit zunehmenden Frequenzen und Achslasten sind an der Felswand messbar und haben zur neuerlichen Destabilisierung der Wand beigetragen.

Der Geologe wurde mit der Sofortbeurteilung der Gefährdungssituation und der Entscheidung über die Räumung und die Verkehrsfreigabe der S 16, mit der Ausarbeitung eines Sicherungsprojektes, der Ausschreibung und Bauüberwachung sowie der Endabnahme beauftragt.

Neben der Ausbruchsnische mussten beidseits labile, lokal bis zu 3 m abgesackte und durch klaffende Fugen aus dem Verband getrennte Schichtplatten im Ausmaß von ca. 12.000 m<sup>3</sup> gesichert werden. Zur Ausführung gelangten (Abb. 4):

- 150 lfm Ankerbalken mit Steinschlagschutz Nase in 2 – 3 Reihen im Bereich der Schichtköpfe sowie an Quertugen mit 45 Stück Daueranker,  $l = 15$  m,  $e = 4,20$  m,  $\varnothing 32$  mm,  $V = 280$  kN
- 17.000 m<sup>3</sup> Hangabtrag zur Schaffung einer Auffangmulde am Hangfuß mit straßenseitigem Schutzdamm,  $h = 4$  m,  $m = 6.000$  m<sup>3</sup>, davon 1/3 Steinschichtung
- Lawinenwerke und Aufforstungen
- Ein 3-fach-Extensometer und 4 Ankerkraftmessdosen



Abb. 4: Ansicht der fertiggestellten Sicherung Felssturz Engelwand S 16

Die Ausführung der Sicherung im extremen Gelände größtenteils im Winter erforderte den vollen Einsatz aller Beteiligten. Die wegen der anhaltenden Steinschlaggefährdung und der Wandhöhe anspruchsvolle Kontrolle der Messeinrichtungen seit 1983 belegt die generelle Stabilisierung der Wandplatten und das anhaltende Atmen des Gebirges mit dem Temperatur- und Bergwasserspiegelgang bis über 24 m unter Geländeoberfläche.

#### **Arlbergbahn-Westrampe – Lawindach Mühltofel:**

Die nach langjähriger Fachdiskussion 1882 – 1884 im rechtsseitigen felsigen Steilhang des Klostertales bis 150 m über dem Talgrund in Felseinschnitten, Tunneln und auf Stützmauern und Brücken trassierte Bahnlinie wird außer durch Steinschlag, Felsstürze, Muren und Untergrundsetzungen auch besonders durch Lawinen gefährdet. Ein extremes Beispiel der jährlich wiederkehrenden Lawinenabgänge ereignete sich im Lawinenwinter 1954, als neben 117 anderen Lawinenabgängen auf die Bahnlinie am 11.1.1954 um 0.25 Uhr die Muttentobellawine den im Bahnhof Dalaas angehaltenen Schnellzug und einen Teil des Bahnhofgebäudes sowie Häuser wegriss, die 42 t schwere Lokomotive und mehrere Waggons 80 m durch die Luft schleuderte und den Tod von 10 Personen verursachte (Abb. 5).

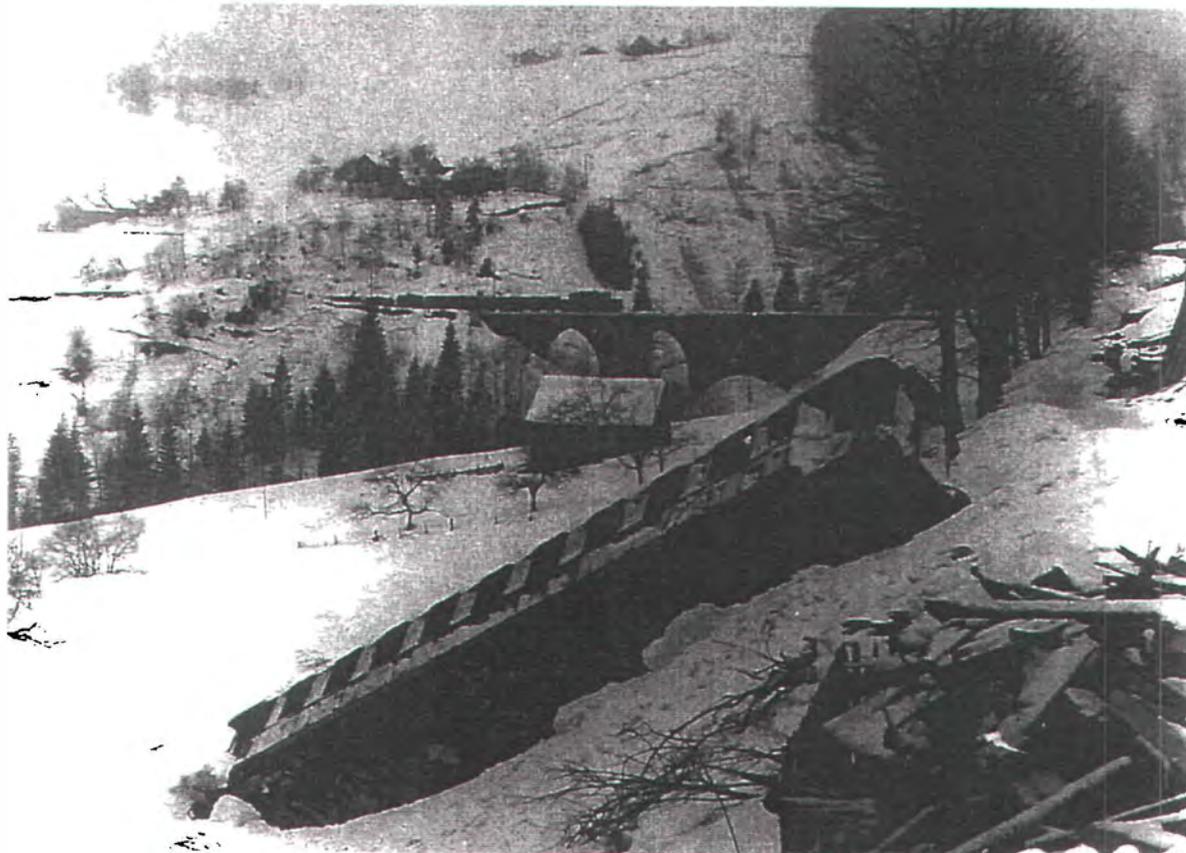


Abb. 5: Muttentobellawine im Bahnhof Dalaas am 11.01.1954

Ein besonders kritischer Abschnitt der Arlbergbahn-Westrampe liegt zwischen dem Bahnhof Dalaas und dem Radonatobel in Wald am Arlberg. Der in diesem Abschnitt den Trassenuntergrund bildende, tiefreichend verkarstete Gips-Anhydrit-Kern einer eng gepressten Faltenmulde verursacht seit dem Bahnbau ständig Probleme für die Betriebssicherheit und die Erhaltung der Bahntrasse. Rückrechnungen aus dem Sulfatgehalt der großen Gipsquellen am Hangfuß ergeben eine jährliche Auslaugungsrate von 80 – 140 m<sup>3</sup> Gips. Die unaufhaltsame Auslaugung verursachte bereits 10 Jahre nach dem Bahnbau und in den folgenden Jahrzehnten immer wieder Dolineneinbrüche bis 2 m Durchmesser und bis 1,7 m Tiefe im Gleisschotterbett sowie Gleissenkungen bis 86 cm und schwere Mauer-, Brücken- sowie Galerieschäden.

In diesem Abschnitt liegt auch die Mühltofelbrücke mit ihrem Lawinendach. Bereits 15 Jahre nach dem Bau der Bahnlinie wurde die erste Großreparatur der im Gips fundierten Mühltofelbrücke erforderlich. 1909 mußten die Widerlager bis 16 m tief u.O.G. neu gegründet werden. 1926 wurden beidseits der Widerlager Schächte bis 7 m unter das Gleis abgeteuft und dabei Kavernen von der Größe eines Bahnwärterhauses angefahren und mit Beton verfüllt. Nach Großinjektionen 1951 – 1953 von 600 m<sup>3</sup> Injektionsgut und weiterhin fortschreitenden örtlichen Setzungen im Gleiskörper wurden die Brückenwiderlager geankert und auf Pfähle gestellt sowie das über der Brücke errichtete Lawinendach 1968 – 1970 mit geankerten Ortbetonpfählen, l = 10 – 16 m, Ø 640 mm, neu gegründet. Wegen schwerer Widerlagerschäden wurden das Lawinendach und die Brücke 1976 mit zusätzlichen Injektionsfächern, Tubexpfählen und Ankern saniert. 1993 waren die Schäden am Lawinendach wiederum so groß, dass mit dem jederzeitigen Einsturz gerechnet werden musste.

Der Geologe wurde im Spätherbst 1994 mit folgenden Aufgaben beauftragt:

Projektierung einer Baustellenzufahrt vom Tal aus, Feststellung der Schadensursachen, Ausarbeitung, Überwachung und Auswertung eines Sondierprogrammes, Ausarbeitung eines Sanierungsvorschlages und nach Abstimmung der statisch konstruktiven Maßnahmen mit dem beauftragten Ingenieurbüro Detailausarbeitung der Ausführungspläne für die Ankerungen, die Übergangskonstruktion vom Lawinendach in den festen Gips und die Baugrubensicherung sowie Baubegleitung und Dokumentation.

Trotz der Sanierungsdringlichkeit musste wegen der Größe des Sanierungsprojektes und mit Rücksicht auf die gewaltigen täglichen Kosten einer Zugsumleitung über Deutschland bei baubedingter Unterbrechung des Bahnbetriebes ein auf Stunden festgelegter Bauzeitplan für eine 2-jährige Bauzeit mit insgesamt nur einer 72 Std. betragenden Zugspause ausgearbeitet werden. Durch das Mühltofel gehen nach den 100-jährigen Aufzeichnungen bis Ende Mai und ab Oktober große Lawinen ab und im Sommer bei Starkniederschlägen Murstöße. Auf diese Gefährdungssituation musste die Bauzeitplanung abgestimmt werden.

Aufgrund der geologischen Situation und der jahrzehntelangen Betriebserfahrungen mit vielfachen Dolineneinbrüchen, Setzungen und schweren Bauwerksschäden wurde für die Sanierung folgendes Konzept vorgeschlagen:

- Abtrag der Bauwerks- und Lawinenlasten über Flächenfundamente mit geringer Bodenpressung zur Überbrückung evtl. Dolineneinbrüche

- Strikte statische Trennung des Lawinendaches und seiner Gründung von der Eisenbahnbrücke sowie ihrer Gründung und den beidseits an die Widerlager anschließenden Stützmauern
- Abtrag der Hauptlasten aus Lawinenschub und Übernahme der Kippsicherung über die hangseitigen Galerie- und Widerlagerwände sowie aushubverfüllte, eingeschüttete Betonhohlkasten mit vorgespannten Ankern in den festen Gipskörper
- Rückankerung der Konstruktion durch den Gips-Anhydritkörper bis in den hangseitigen Muldenflügel aus Raiblerkalken und Dolomiten trotz der großen erforderlichen Ankerlängen (siehe Abb. 6 bis 8).

Im Zeitraum Jänner bis Oktober 1995 wurden die für Schwertransportfahrzeuge befahrbare Baustraße projektiert, behördlich verhandelt und errichtet, der weitere Projektbereich kartiert, das Sanierungskonzept erarbeitet, zwei 150 m lange Horizontalbohrungen abgeteuft und ausgewertet, das Bauprojekt ausgearbeitet, die Bau- und Ankerarbeiten ausgeschrieben, die Ankerarbeiten ausgeführt und die Übergangskonstruktionen hergestellt und winterfest gemacht.

Im Zeitraum April 1996 – Oktober 1996 wurde der östliche Lawinendachabschnitt einschließlich Dachbrücke und beidseitigen Widerlagern abgetragen, neu errichtet und mit den 1995 versetzten 15 Stück 9-Litzen-Ankern à 0,62", St 1570/1770,  $l = 100 - 146$  m,  $V = 1300$  kN, Prüflast 1820 kN, Dehnung bis 780 mm, vorgespannt zurückgeankert. Insgesamt wurden  $1100 \text{ m}^3$  Ort beton in beengtesten Platzverhältnissen bei laufendem Zugsverkehr verarbeitet.

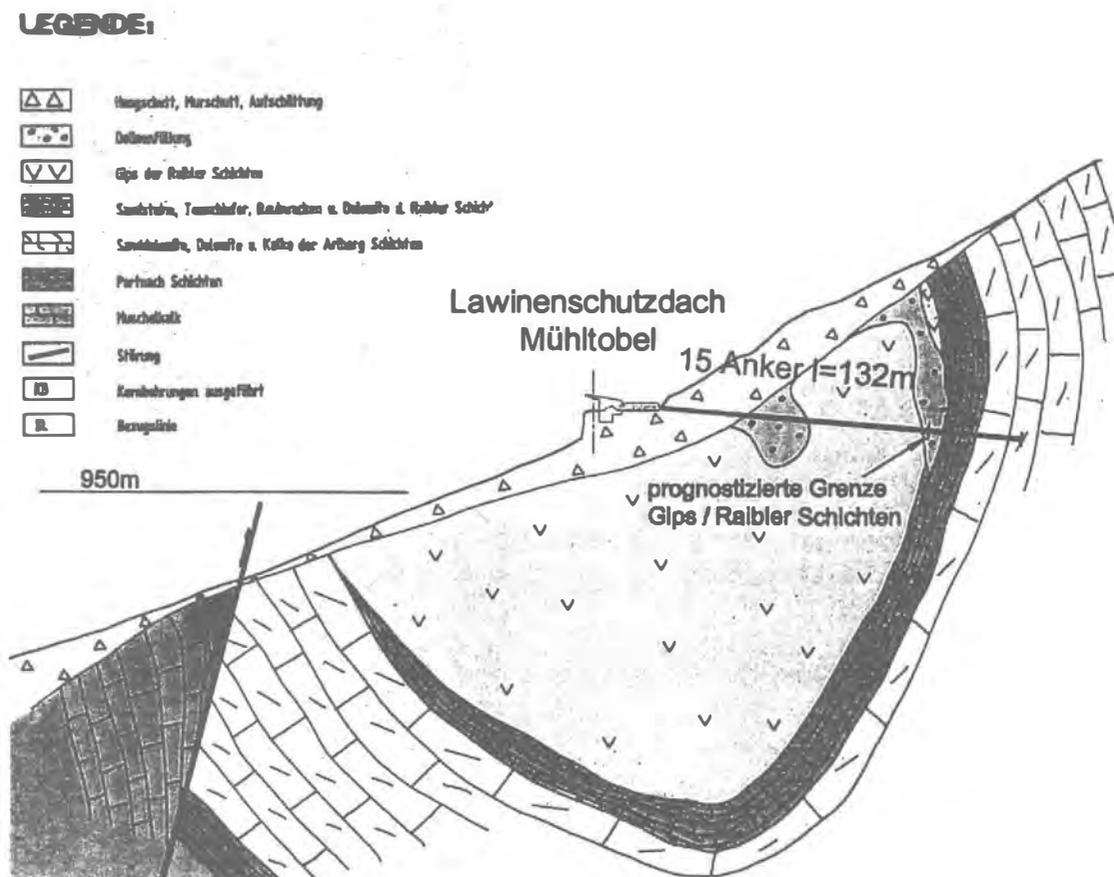


Abb. 6: Geologischer Profilschnitt Lawinendach Mühltofel Dalaas

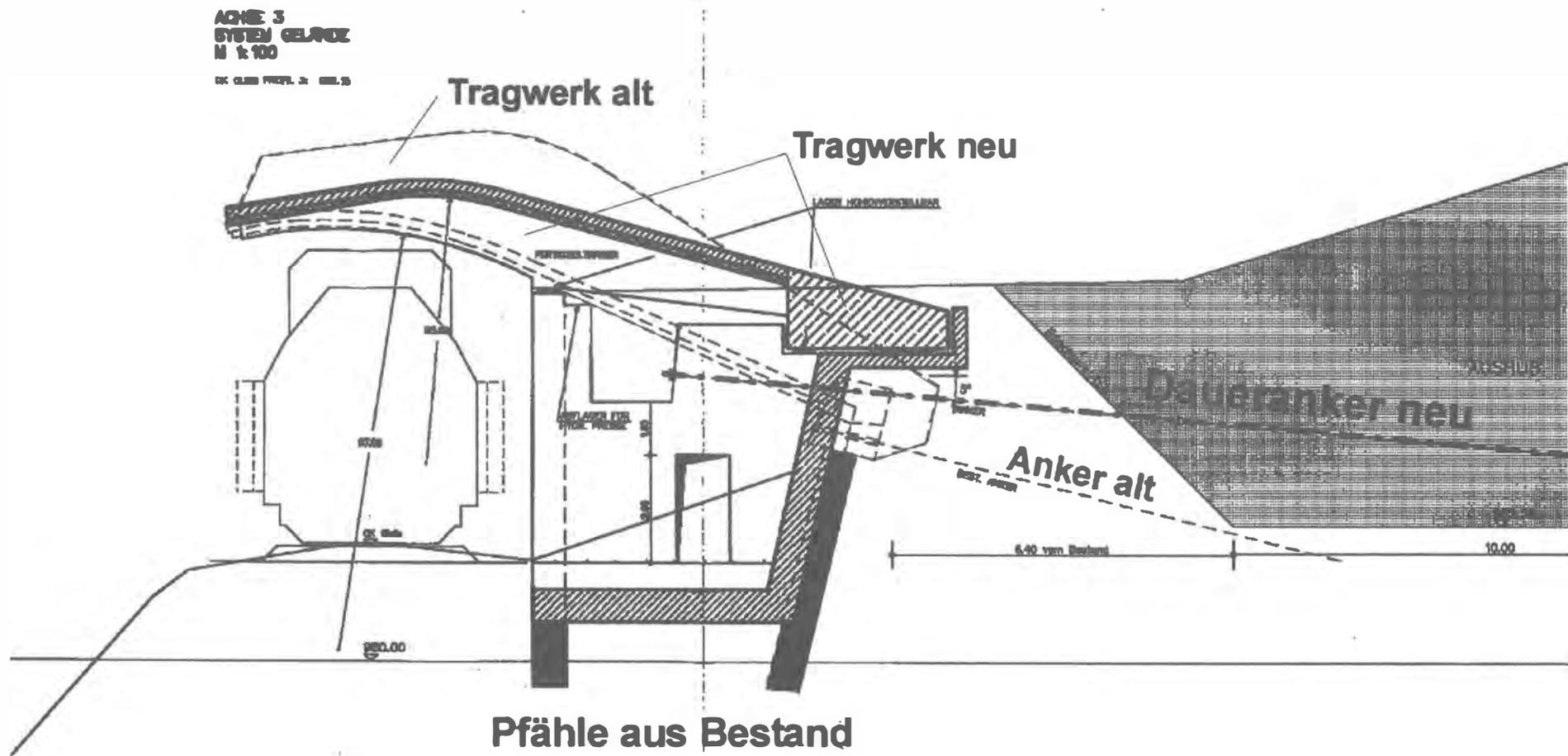


Abb. 7: Vertikalschnitt durch das Lawinendach Mühltofel

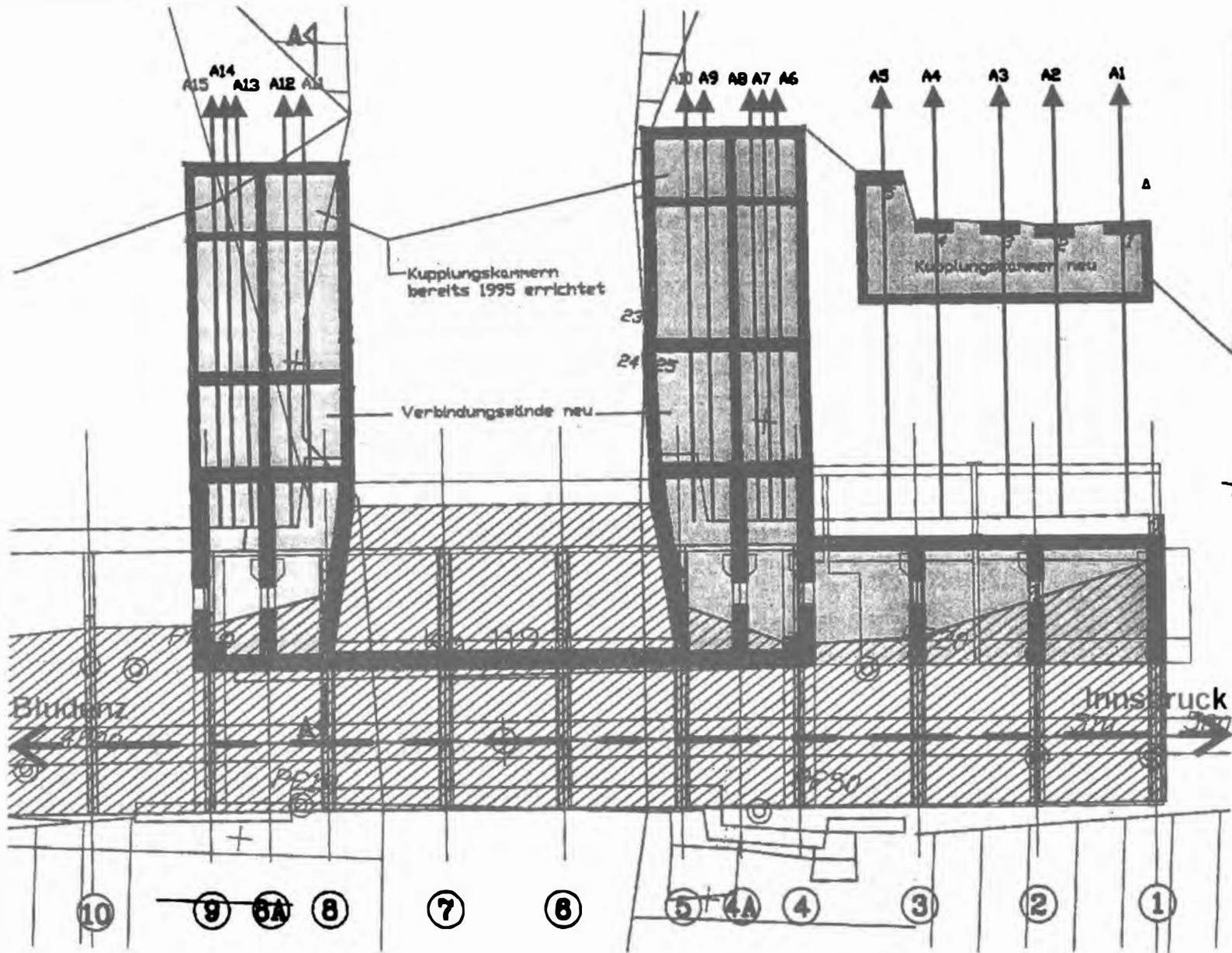


Abb. 8: Horizontalschnitt durch das Lawinendach Mühltofel

**Arlbergbahn-Westrampe – Gipsbergwerk-Viadukt:**

Unmittelbar östlich an das Mühltofel anschließend wurde von 1890 – 1959 Gips auf 2 Etagen obertägig und auf 2 Sohlen unter Tage bis 20 m hangseitig an die Gleisachse heranreichend abgebaut. Für den Abtransport des gewonnenen Gipses wurden ein Verladegleis und Verladerampen angelegt. Die Abbausohle 00 entspricht  $\pm$  dem Gleisniveau, die untere Abbausohle liegt  $\pm$  11 m unter der Gleiskante. Die Gipsgewinnung erfolgte in parallelen Strecken von ca. 6 x 3 bis 5 m mit Pfeilern von 8 x 8 m. Der Anhydritanteil unterhalb des ca. 40 m mächtigen Gipshutes beträgt 20 – 70 %. Insgesamt wurden ca. 2 km Strecken aufgeföhren. Der Abbau hatte ständig mit Einbrüchen und Einschwemmungen von Dolinenfüllungen und Karstschläuchen zu kämpfen. Seit 1959 stehen die Hohlräume ungesichert. Sie brechen allerdings in den letzten 3 Jahren beschleunigt ein, sodass derzeit nur noch die halbe Streckenlänge zugänglich ist (Abb. 9).



Abb. 9:  
Pfeilerzusammen-  
Bruch im untertägigen  
Gips-Anhydritabbau  
Dalaas

Der Abschnitt des Gipsabbaues war seit dem Bahnbau ein Abschnitt mit besonders häufigen Dolineneinbrüchen und Gleissetzungen. 1991 hatten die Setzungen wiederum ein Ausmaß erreicht, das die Verbandsauflösung der talseitigen Stützmauer, das Ausrinnen des Schotterbetts durch Setzungsfugen und die Lockerung der Gleisbettung bewirkte.

Der Geologe wurde 1992 beauftragt, einen Sicherungsvorschlag zu erarbeiten, das Ausführungsprojekt mit Ausschreibungsunterlagen vorzulegen und die geotechnische Baubetreuung zu übernehmen. Das auf die Untergrundsituation abgestimmte Sanierungskonzept beinhaltete:

- Unterfangung des Bahnkörpers mit einem Rost aus horizontalen Injektionsbohrpfählen zur Überbrückung der Dolinentrichter und zur Verminderung der Bodenpressung
- Verstärkung der zerfallenden Stützmauer durch Aufbringen einer genagelten Baustahlgitter-Spritzbetonschale,  $d = 10$  cm, auf die gesäuberte Mauer und mit einem Stahlbeton-Ankerbalken
- Rückankerung der Mauer bzw. des Ankerbalkens mittels 28 – 34 m langen, in Zielbohrungen versetzten Dauerankern,  $\varnothing 36$  mm,  $V = 275$  kN, bis in die Ortsbrust der zwei gleisnächsten Abbaustrecken des Gipsbergbaues, auf die gitterarmierte Spritzbetonplatten als Gegenplatten aufgebracht wurden (Abb. 10 und 11)
- Neuverfugung des Bogenviadukts mit Spritzbeton und anschließender Sandstrahlung

Diese Sanierung wurde 1992 ausgeführt. 1999 wurden erhebliche Zunahmen der Anker-  
spannungen sowie die Öffnung von neuen Rissen in der talseitigen Stützmauer festgestellt.

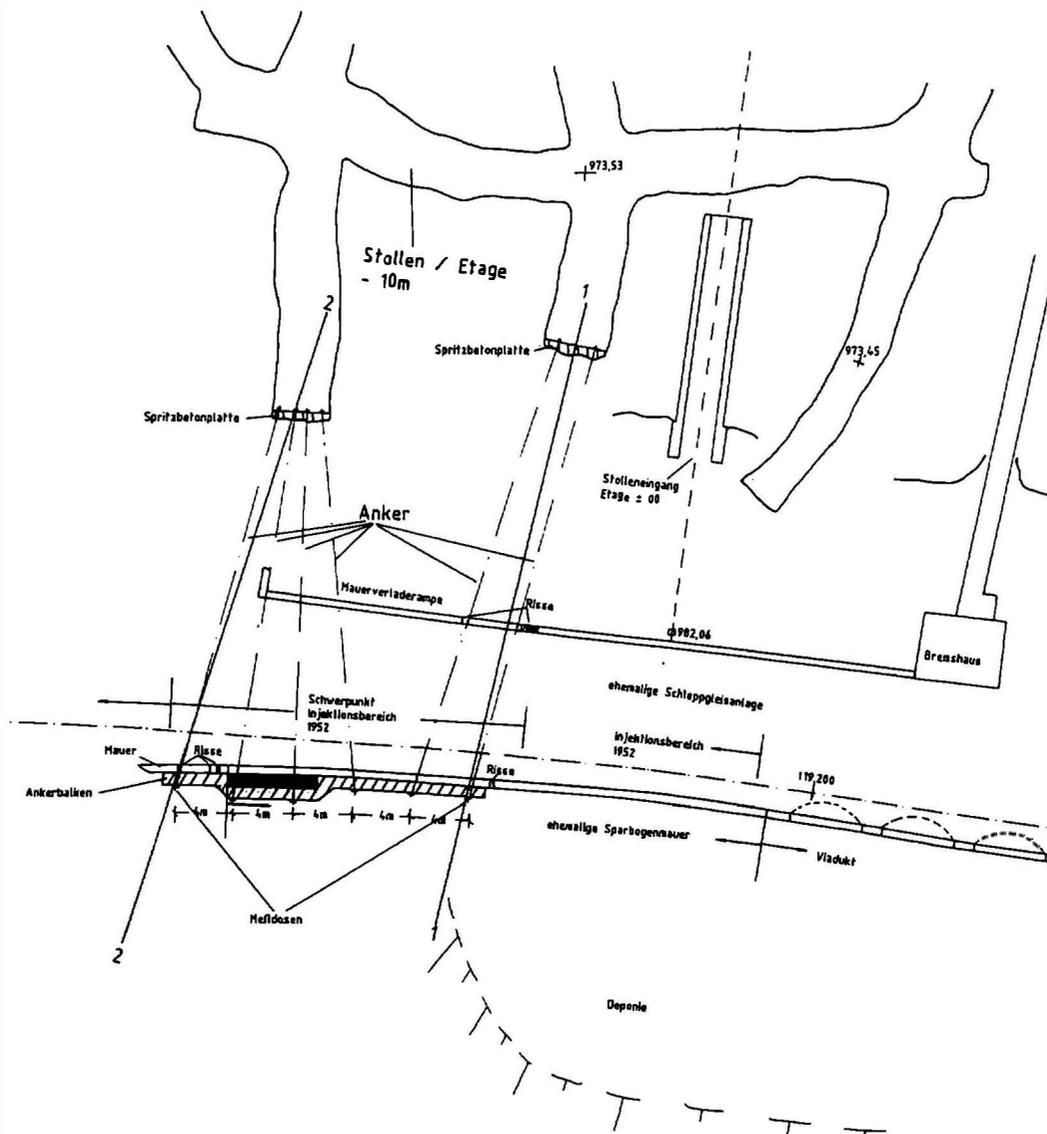
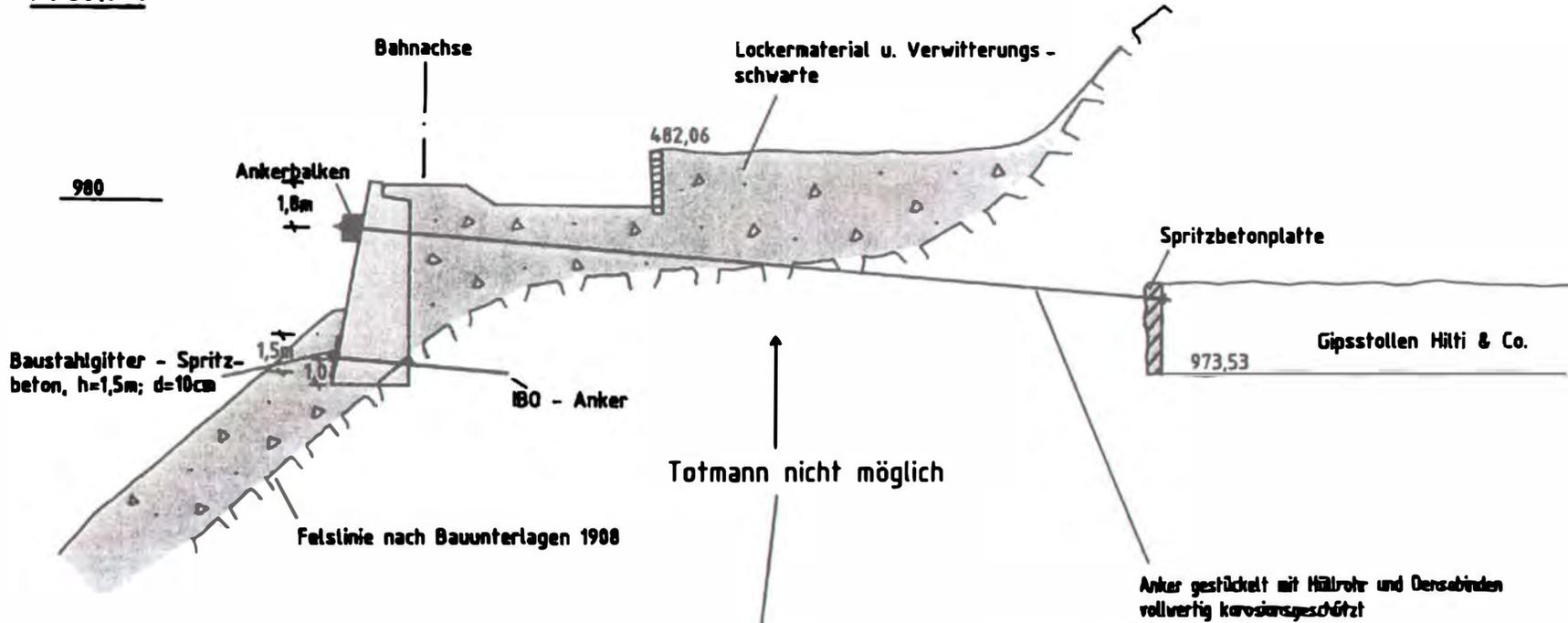


Abb. 10:  
Lageplan  
Gipsbruch-  
Viadukt /  
Sanierung  
1992

**Profil 1**



**Profil 2**

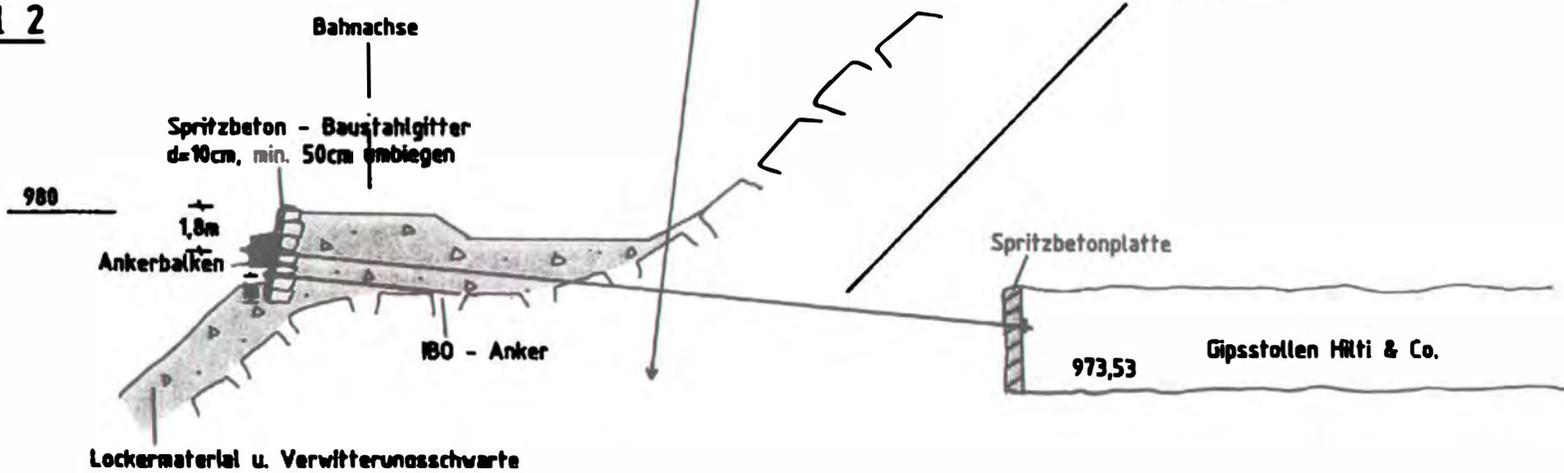


Abb. 11: Schnitte durch das Gipsbruch-Viadukt / Sanierung 1992

### Arlbergstraße B 197 / Rauz-Posteck:

Den Steilanstieg von Stuben gegen die Arlberg-Passfurche überwindet die B197 in mehreren engständigen und im Laufe der Jahrzehnte wiederholt neu trassierten Kehren. Anschließend wurde die Straße 1823/1824 aus einer weiter nördlich gelegenen Geländemulde in den felsigen rechtsufrigen Einhang des Rauzbaches, der sich entlang der steilstehenden tektonischen Naht zwischen Kalkalpen und Kristallin eingeschnitten hat, verlegt. Die den wachsenden Verkehrsansprüchen folgend mehrfach verbreiterte Straße wurde teils in einem Felseinschnitt, teils auf gewölbten Hangbrücken und Stützmauern angelegt.

Die Einengung des Bachbettes für die Verlegung einer Trinkwasserleitung, des Abwasserkanals, einer Schneileitung und für die Anlage einer Schipiste drückte seit Mitte der 80er Jahre den Bach zunehmend in den rechtsufrigen Hangfuß, der zunehmend unterschritten wurde.

Ende März 1995 wurden erstmals vom Straßenerhaltungsdienst leichte Setzungen in der Straßenfahrbahn festgestellt. Am 6.4.1995 betrug die Setzung bereits 10 cm. Sie nahm am 7. April um 5 cm zu. Am 8. April 1995 wurde der Geologe beauftragt, eine Begutachtung durchzuführen und verantwortlich über die Befahrbarkeit oder Sperre dieser Hauptzufahrt zu den Schizentren Zürs – Lech – St. Christoph in der Hauptsaison eine Woche vor Ostern zu entscheiden. Bis 10. April wurden stündliche, später ¼-stündliche Messkontrollen durchgeführt, die schließlich Setzungen bis 8 cm pro Tag und Fußausdrückungen am Mauerfuß um 60 cm sowie Felsabgleitungen auf die Piste am Hangfuß ergaben (Abb. 12 und 13).

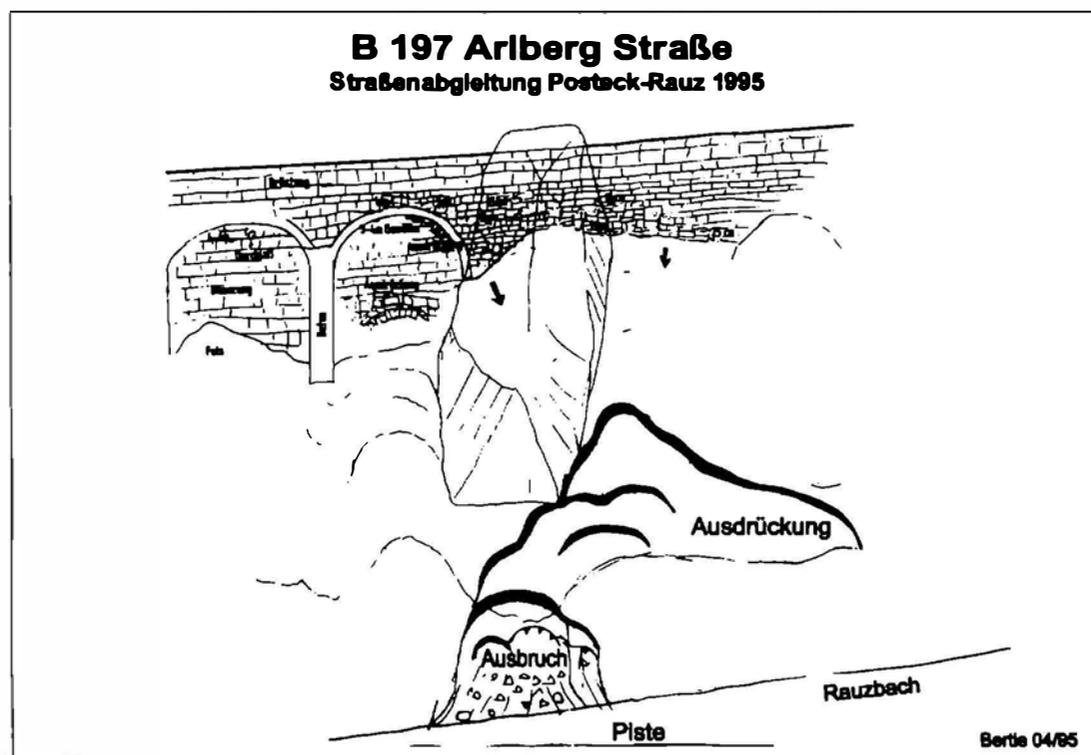


Abb. 12: Hanggleitung B 197 Posteck - Rauz



Abb. 13: Auflösung der Stützmauer Posteck – Rauz der B 197

Darauf wurde vom Geologen trotz des extrem ungünstigen Zeitpunktes die Straßensperre veranlasst und gleichzeitig mit der Ursachenfeststellung sowie der Ausarbeitung eines Sanierungsprojektes einschließlich Massenermittlung, Ausschreibungsunterlagen und Bauzeitplan begonnen.

Der Sanierungsvorschlag sah vor:

- Gebirgsschonender, 20.000 m<sup>3</sup> umfassender Abtrag der hangseitigen drückenden Felsböschung bis zu einer auffälligen Störungsfläche zurück zur Verlegung der Straße von der abgesetzten Hangbrücke in festen Arlbergdolomit; Felsabtrag auf die Straße und Abtransport über diese zu einer Deponie im Tal
- Gebirgsschonender Abtrag der abgesetzten, in Felstürme und Gleitschollen aufgelösten talseitigen Felsböschung einschließlich eines Teiles der gemauerten Hangbrücke und der Stützmauerhinterfüllung im Ausmaß von ca. 10.000 m<sup>3</sup> mit Freilegung des Bachgerinnes nach jedem Sprengabtrag zur Verhinderung von Murgefährdungen von Stuben
- Beidseitige Ufersicherung des Rauzbaches mit Vorgrundsteinberollungen und Stabilisierung der Bachsohle mit Kolkschutzschwellen aus Großsteinen
- Rückankerung der abgleitgefährdeten Stützmauer Arlberg-seitig anschließend an den Abtragsbereich mit geankerten Fußbalken, Anker  $l = 18 \text{ m}$ ,  $\varnothing 36 \text{ mm}$ ,  $V = 350 \text{ kN}$
- Sicherung lokaler Verbandsauflösungen in der hangseitigen Felsböschung mit Felsnägeln, Ankerwarzen, Untermauerungen und Vernetzungen
- Sicherung der Abtragsböschung und der angrenzenden Flächen gegen Schneegleiten durch felsverankerte Stahlstützwerke, die als Steinschlagschutz mit Maschengitter abgedeckt werden.

Die Maßnahmen wurden trotz der gewaltigen Massen und beengten Platzverhältnisse im Zeitraum 10.5. – 19.6.1999 ausgeführt und die Straße nach einer knapp 6-wöchigen Sperre vor der Sommersaison wieder geöffnet.

#### **Lechtalstraße B 198 – Flexenstraße/Hölltobel tunnel:**

1997 wurde die 100-Jahr-Feier des Baues der Flexenstraße, dieses in schwindelnder Höhe die Felswände in Tunnel, Steinschlaggalerien, Felseinschnitten und auf Brücken sowie Halbbrücken durchschneidenden Meisterwerks der Ingenieurbaukunst gefeiert. Am 22.11.1997, 11.25 Uhr, 3 Wochen vor Beginn der Wintersaison in Zürs und Lech brach aus der linksseitigen Begrenzungswand des Hölltobels 40 m über der Straße eine Schichtplatte mit ca. 800 m<sup>3</sup> Masse aus, stürzte auf das Betongewölbe der hier auf einer Natursteinbogenbrücke geführten Straße (Abb. 14 und 15) und durchschlug unmittelbar hinter einem PKW den Gewölbescheitel auf 6 m Länge.

Die dem Geologen gestellten Aufgaben waren die Festlegung der Sofortsicherung, die Entscheidung über die Verkehrsfreigabe der Straße nach der Erstsicherung, die Erarbeitung eines Sanierungsvorschlages und dessen Ausführungsbetreuung bis 15.12.1997 sowie die Überprüfung der Felssturzicherheit der gesamten Felsstrecke einschließlich Ausschreibung, Überwachung und Abrechnung von Sicherungsmaßnahmen im Sommer 1998.

Die Ausbruchsstelle in den mit 70° - 85° in den Tobeleinschnitt einfallend geschichteten Kalken und Rauhwacken der Arlbergformation wird durch ausgeprägte Klufflächen und Scherfugen begrenzt. Ihre Absicherung erforderte den Sprengabtrag von zusätzlich 200 m<sup>3</sup> Felsplatten und eine Flächenvernetzung sowie lokale Vernagelungen mit SN-Ankern. Diese Sofortsicherung konnte innerhalb von 4 Tagen abgeschlossen werden. Anschließend wurde das Gewölbe in Baustahlgitter-Spritzbetonbauweise wieder geschlossen und zusätzlich auf Vorschlag des Geologen beidseitig Kämpferüberhöhungen ausgeführt, zwischen denen eine Splittschüttung als Aufpralldämpfung für evtl. Nachstürze aufgebracht wurde. Die Sofortsicherung konnte termingerecht im Durchlaufbetrieb bis 15.12.1999 hergestellt werden.

Die baueologische Überprüfung der Felssturz- und Steinschlagsicherheit der gesamten Felsstrecke und des Zustandes der Mauern, Brücken sowie Halbbrücken im Sommer 1998 ergab eine generell geringe Gefährdung und einen guten Bauwerkszustand. Erforderlich wurden allerdings flächenhafte Felsberäumungen, die Neuerstellung einer Seilnetzsperrung und die Räumung sowie Erneuerung von zwei bestehenden Seilnetzsperrungen, die Rückhängung bzw. Ankerung einzelner Felscheiben und Blöcke sowie der Neubau der stark geschädigten Steinbruchgalerie. Diese Sicherungsarbeiten wurden 1998 und 1999 – im Bereich der Steinbruchgalerie witterungs- und felsgleitungsbedingt allerdings mit erheblichen Schwierigkeiten sowie Sicherheitsrisiken – ausgeführt.

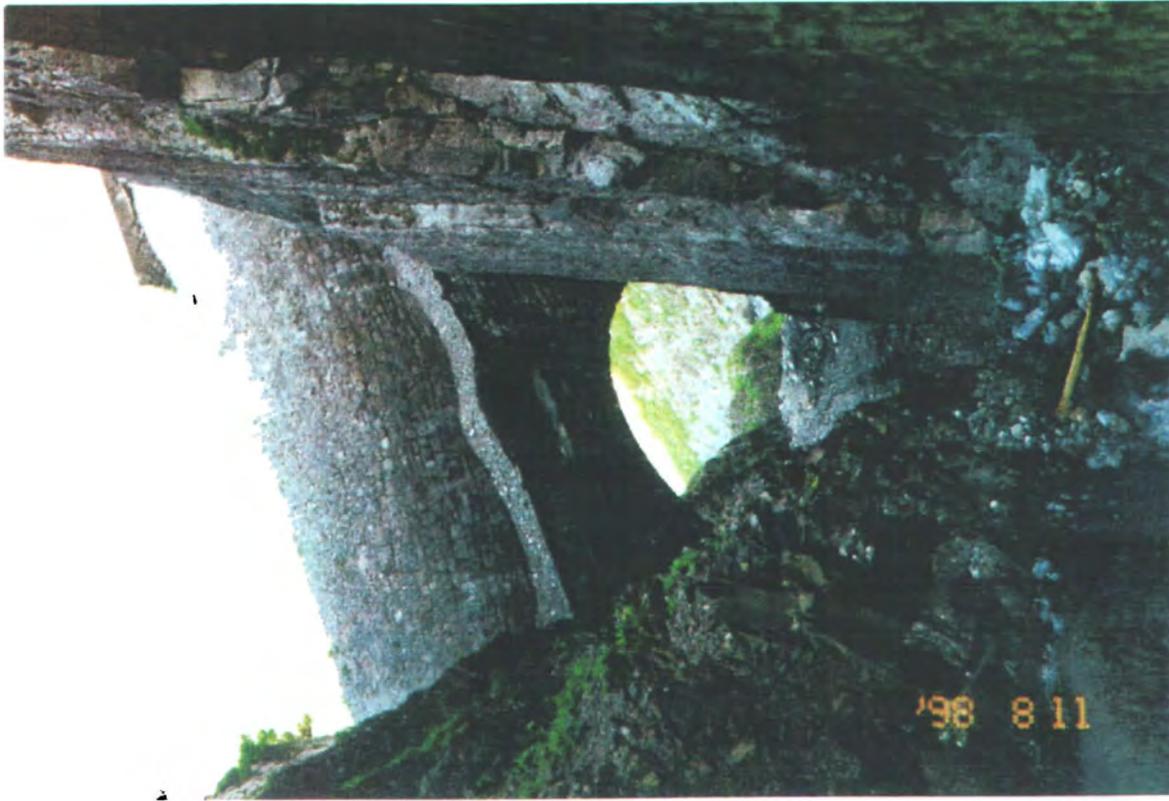


Abb. 14: Ansichten des Hölltobelunnels B 198

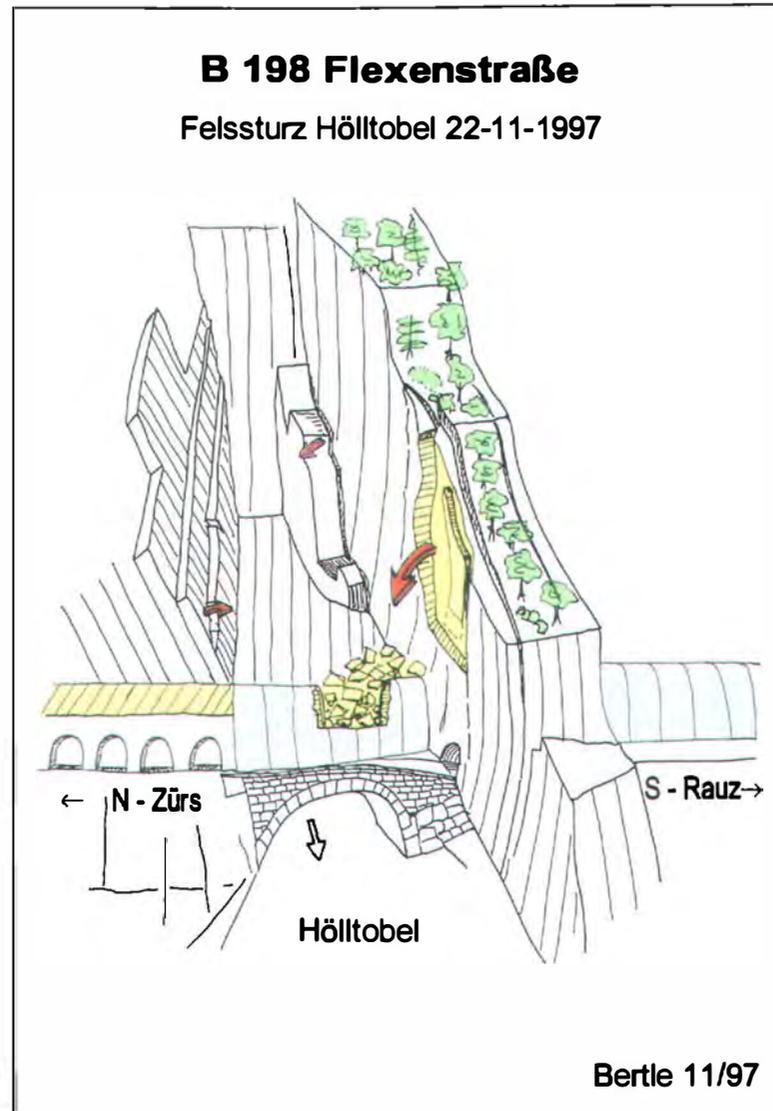


Abb. 15:  
Felssturz  
Hölltobel  
1997

#### Ischgl – 4 CLD-Gampenbahn:

Wie zahlreiche andere Seilbahnanlagen im Schigebiet Ischgl – Samnaun hat auch die 1988 ohne geologische Beratung errichtete Gampenbahn von der Gampenalpe durch den rechtsseitigen Einhang des Fimbertales auf den Pallinkopf mit schwierigsten Untergrundverhältnissen zu kämpfen. Der Nordrand des Unterengadiner Fensters und der ihm aufliegende dünne Rahmen aus Silvrettakristallin sind tiefreichend und aktiv hangtektonisch zerglitten und von Permafrost durchsetzt. Dies zusammen mit dem besonders gleitfreudigen und leicht verwitternden Gesteinsbestand (Ophiolithe, Ton- und Mergelschiefer mit wenigen tektonisch eingeschuppten Kalk- und Quarzithärtlingskernen) verursacht eine ausserordentlich vielfältige und reizvolle Landschaft, aber auch gravierende geotechnische Probleme.

Die Gampenbahn wurde ohne Kenntnis der Untergrundsituation zwischen den Stützen 16 und 21 in einer aktiven Großhangbewegung, in mehreren anderen Trassenabschnitten in Kriechhängen angelegt (Abb. 16).



Abb. 16: Trasse und Hangbewegung Gampenbahn Ischgl

Bereits 5 Jahre nach dem Bau führten die Bewegungen schräg zur Seilbahnachse trotz wiederholtem Unterlegen und Schiefstellen einiger Stützen zu Stützenbewegungen von 5 cm / Jahr und zu erheblichen Betriebsschwierigkeiten. Diese erhöhten sich sprunghaft während der besonders starken Schneeschmelze 1993. Bei der Trassenbegehung durch den Geologen Mitte August 1993 wurden bereits Stützenverschiebungen bis zu 5 cm / Tag gemessen, was Sofortmaßnahmen noch vor der nächsten Wintersaison erforderlich machte. Der Geologe wurde beauftragt, die Bewegungsursachen zu erkunden und dafür eine geodätische Geländeaufnahme, Schurfschlitze und Bohrungen zu beauftragen und auszuwerten, ein Sanierungsbauprojekt auszuwerten und bei der Behörde einzureichen, die Sanierungsarbeiten zu beaufsichtigen und abzurechnen sowie bis Anfang Dezember eine sanierte Bahn freizugeben. Die Kartierung, Gefügeuntersuchung und Sondierung zeigte, dass die Stützen 17 – 20 auf einem seit 1988 bis zu 2 m horizontal und vertikal auf einer bis 15 m u.O.G. liegenden, im Sommer stark wasserführenden Gleitfläche talwärts gekrochen sind. Die Gleitmasse ist in Einzelschollen aufgelöst und von Eis durchsetzt. Wegen der vorgegebenen Spannfelder und der maximal zulässigen Bodenabstände war eine Überspannung der Kriechmasse nicht möglich.

Daher wurde als – nicht auf Bestandsdauer sichere – Sanierungsmaßnahme vorgeschlagen:

- Neugründung der 4 Stützen auf unbewegtem Fels unterhalb der Gleitmasse mit Schwergewichtsfundamenten, die mit kontrollierbaren Dauerankern in der Stützenachsrichtung zur Vergütung des Felsuntergrundes im Fels verankert sind.
- Schutz der Stützen und ihrer Fundamente gegen den Schub der Kriechmasse durch "Knopfloch"-Sicherungsschalen, die zur Sicherung des erforderlichen Schachtaushubes als geankerte Spritzbeton-Baustahlgitterschalen von oben nach unten fortschreitend errichtet wurden. Zur Schubumleitung des Druckes aus der Hangbewegung wurden die Schalen mit stirnseitigen Lisenen und Dauerankern,  $l = 10 - 20$  m,  $\varnothing 36$  mm, in der erwarteten Fließrichtung hangseitig in den Fels rückgeankert.
- Großflächige Oberflächenwasserableitungen und Entwässerungsschlitze im Oberhang zur Verlangsamung der Gleitbewegung.

Ende Oktober 1993 konnte die mit Fahrzeugen nicht erreichbare Baustelle in 2.400 – 2.600 m ü.A. mit Schwersthubschraubern eingerichtet werden. Trotz erhöhtem Geräte- und Mannschaftseinsatz und außergewöhnlichem Bemühen aller Beteiligten musste wegen des bereits Ende November eingetretenen Wintereinbruchs am 15.12.1993 die Baustelle nach einem Lawinenabgang auf die Baustelle mit Zerstörung eines Teiles der Einrichtung und Beschädigung einer bereits erstellten Stütze eingestellt werden. Zu diesem Zeitpunkt, dem Saisonbeginn, waren die Stützen 17 und 18 fertiggestellt, die alte Stütze 20 durch die geankerte Schutzschale für das geplante gemeinsame Fundament der Stützen 19 und 20 unterfangen und der Fundamentsockel der Stütze 19 provisorisch mit einem durch das Fundament versetzten Daueranker gegen Abkriechen gesichert. An den Fundamentankern der Stützen 19 und 20 wurde je eine Ankerkraftmessplatte eingebaut, von denen die Messwerte über ein Kabel an den Stützen zu Messuhren in Augenhöhe der Sessel geleitet wurde. Die für das Schigebiet unverzichtbare Gampenbahn erhielt von der Behörde eine bedingte Betriebsbewilligung für die Wintersaison 1993/94. Bedingungen waren die Übernahme der Verantwortung für die Sicherheit der Bahnbenutzer durch den Geologen, die tägliche Meßuhr- und Fluchtkontrolle durch den Betriebsleiter, die tägliche Freigabe des Betriebes durch den Geologen aufgrund der Meßangaben und die sofortige Betriebseinstellung bei Messwertänderungen von 10 %.

Der Betrieb konnte während der Wintersaison 1993/94 ohne Unterbrechungen aufrechterhalten werden. Die ebenfalls extreme Schneeschmelze 1994 brachte die erste Bewährungsprobe für das Sanierungskonzept. In diesem Jahr wurden die Fundierungen und Ankerungen der Stützen 19 und 20 fertiggestellt und die 1993 nicht mehr vollendeten Schalenflügel der Schutzschalen der Stützen 18 und 17 ergänzt und verstärkt.

Seit 1993 verlangt die Behörde jährliche Prüfberichte des Geologen über die geotechnische Betriebssicherheit. 1997 war die geankerte Schutzschale der Stütze 17 durch die anhaltenden Kriechbewegungen bereits so stark zerstört (Abscheren und Ausdrücken der Schalenflügel, Durchstanzen der Ankerköpfe, Unkontrollierbarkeit einiger Anker und Riß eines Ankerkopfes), dass eine Erneuerung erforderlich wurde, bevor der freie Raum zum Fundament bzw. zur Stahlstütze völlig aufgebraucht war. Die mit einem doppelten Baustahlgitter armierte Spritzbetonschale,  $d = 20$  cm, wurde durch zwei stirnseitige Ortbeton-Ankerlisenen mit je 4 Dauerankern,  $\varnothing 36$  mm,  $l = 20$  m, und geankerten Queraussteifungen zwischen den Lisenen hangwärts in den Fels verankert (Abb. 17).

Seit der Neuerrichtung wird diese Schutzschale wie die der anderen Stützen wieder schadlos von der Gleitmasse umflossen. Die geodätische Kontrolle der Stützen 19 und 20 zeigte in den letzten 3 Jahren deutliche Verschiebungen der Stützen in vertikaler und in Achsrichtung der Bahn, ohne dass Erhöhungen der Ankerspannungen und Schäden an den Schutzschalen sowie an den Fundamenten aufgetreten sind. Dies weist darauf hin, dass – wahrscheinlich an einer eisgefüllten Fuge – im tieferen Felsuntergrund unterhalb der Reichweite der Anker ebenfalls während der Tauperiode Bewegungen stattfinden. Diese haben bisher die Betriebssicherheit der Anlage nicht beeinflusst.

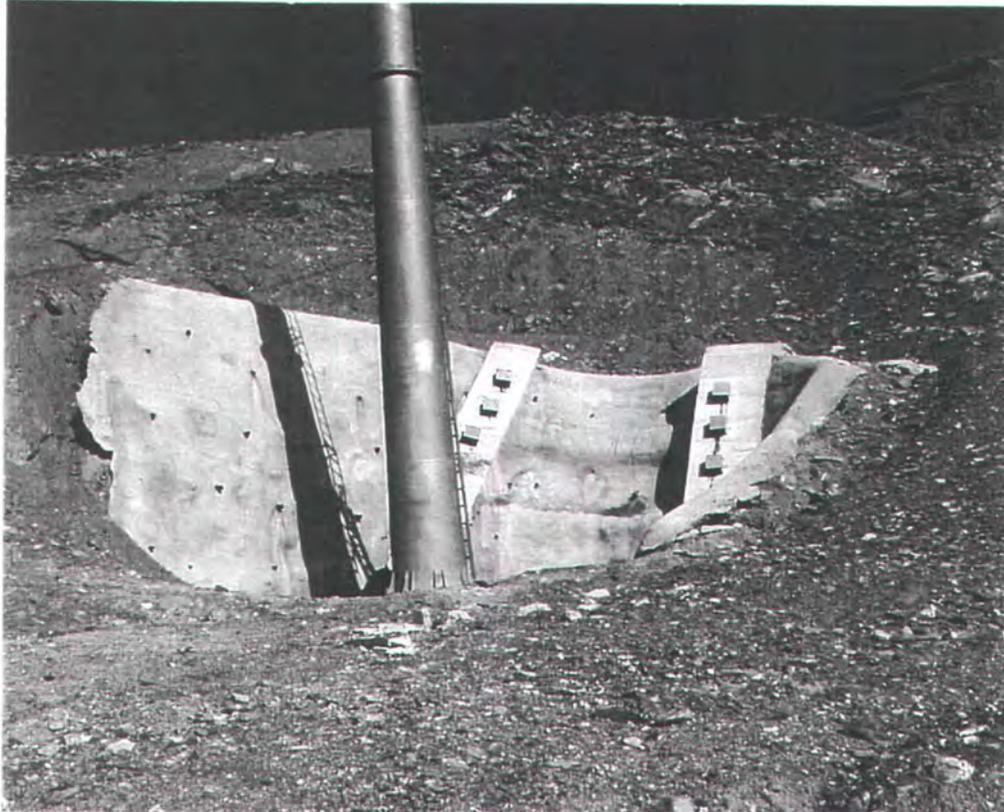


Abb. 17: Gründung und Sicherung der Stütze 17 der Gampenbahn 1997

### **ÖBB-Bahnlinie Innsbruck – Bregenz / Bahnhof Imst:**

Zwischen Imst und Roppen durchfährt die Westbahnlinie rechtsufrig des Inn die enge, steilwandige Imster Schlucht, in deren westlichem Eingang der Bahnhof Imst angelegt wurde.

Die unmittelbar von der Gleisanlage knapp 60 m zu einer Glacialterrasse aufsteigende Felswand wird unter der Terrassenoberfläche von grob gebanktem Hauptdolomit aufgebaut, der in der unteren Wandhälfte bzw. im unteren Wanddrittel von Dolomit, Mergel, Tonschiefer und Sandstein der Raiblerformation unterlagert wird. Die Raiblerformation bildet den Kern eines Gewölbes mit talparalleler Achse, weshalb die Schichtung in der rechtsufrigen Schluchtwand mittelsteil bis steil in den Hang einfällt. Entsprechend dem Schema "Harte Platte auf weicher Unterlage" und verstärkt durch die Hangfußschwächung durch U-förmige, bis 15 m tief in den Hang reichende Luftschutzbunker werden die weniger festen Raiblerschichten ausgequetscht und wittern verstärkt zurück. Der überlagernde Hauptdolomit mit der 3-fachen einachsigen Druckfestigkeit der Raiblerschichten reagiert durch die Ausbildung neuer und die Öffnung tektonisch angelegter (Unterengadin – Oberinntal-Störungen) hangparalleler Scherfugen und durch Nachbrechen der abgelösten Wandscheiben und Türme (Abb. 18).

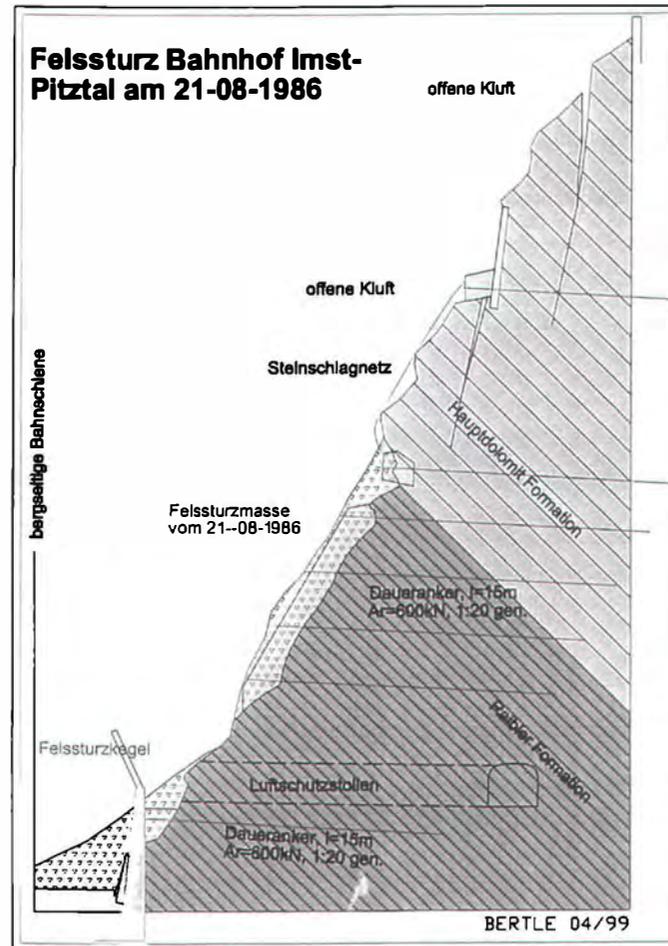


Abb. 18:  
Profilschnitt  
Felssturz  
Bahnhof  
Imst 1986

Seit dem Bahnbau 1870 ereigneten sich in der Imster Schlucht immer wieder Felsstürze und Steinschläge und verursachten Unterbrechungen des Zugsverkehrs einschließlich Entgleisungen von Zügen. Als Gegenmaßnahme wurden Unterbauungen, Steinschlagwände, Felssturzfangzäune und Ankerungen ausgeführt, erneuert und ergänzt. Am 21.8.1986 brach um 0.30 Uhr eine ca. 350 m<sup>3</sup> große Felscheibe aus dem Übergangsbereich des Dolomits zur Raiblerformation aus und stürzte unmittelbar vor einem Güterzug auf die Gleisanlage. Der Güterzug konnte nicht mehr bremsen, die Lokomotive und 10 Waggons entgleisten. Dabei rannen 140.000 l Diesel aus einem Kesselwagen in den Inn. Der Lokomotivführer wurde schwer verletzt (Abb. 19).

Dem unmittelbar nach dem Unglück verständigten Geologen wurden folgende Aufgaben übertragen:

Ursachenfeststellung und Festlegung, Beaufsichtigung und Abnahme der Sofortsicherungen sowie Freigabe der Strecke für den Bahnverkehr  
Kontrolle der Wände der gesamten Schluchtstrecke, Ausarbeitung von Sicherheitsvorschlägen und geotechnische Bauüberwachung der Sicherungsarbeiten in den Folgejahren

Als Sofortsicherung wurden die Verstärkung des geschwächten Wandfußes durch ein Korsett aus Ankerlisten und Ankerbalken sowie eine geankerte Winkelstützmauer mit aufgesetztem Fangzaun am Wandfuß in Ortbeton mit vorgespannten Freispielankern,  $\varnothing$  36 mm,  $l = 8 - 20$  m,  $V = 600$  kN, der Abtrag aufgelockerter Felsbereiche und eine Flächenvernetzung vorgeschlagen und ausgeführt (Abb. 20).

Abb. 19:  
Felssturz  
1986 im  
Bahnhof  
Imst

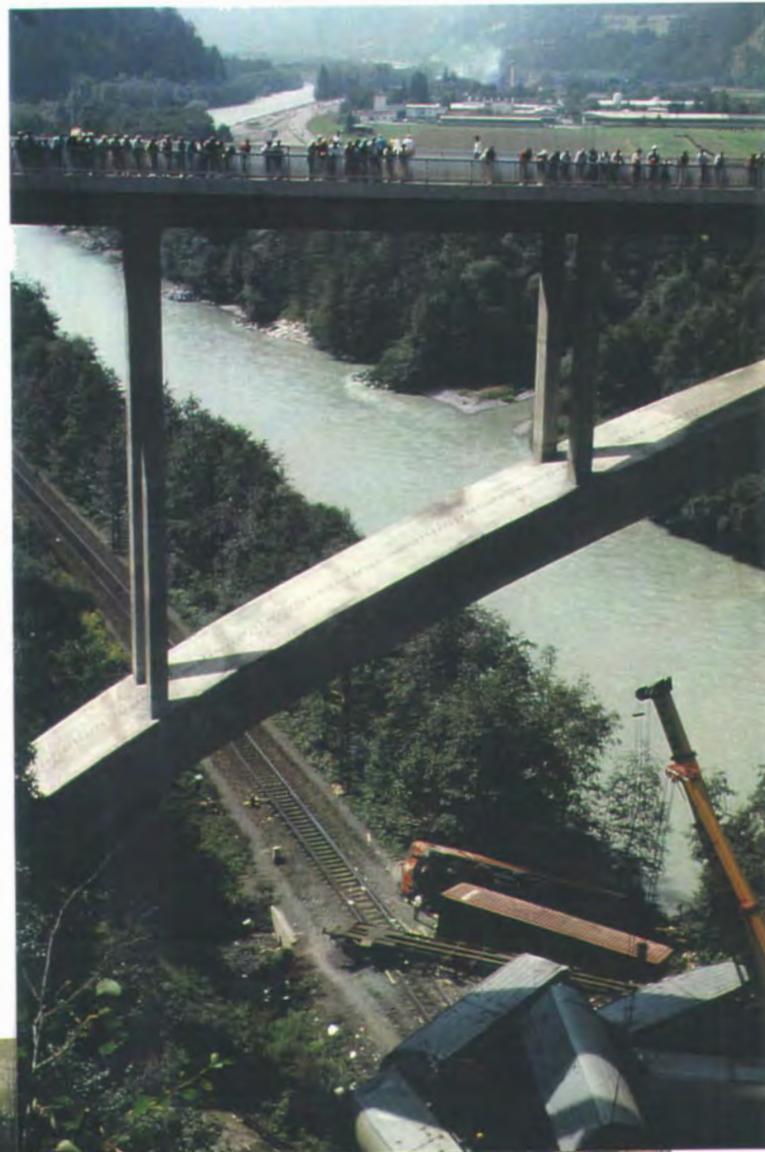


Abb. 20: Ansicht des Felssturzgebietes nach der Sanierung

Die Kontrolle der Schluchtstrecke bis Roppen ergab einen verbreitet äusserst schlechten Wandzustand. Die in den Jahren 1986 – 1990 ausgeführten Sicherungen umfassten den Abtrag einer hoch aktiven 7.000 m<sup>3</sup> umfassenden Felsgleitmasse im direkten Gleiseinhang bei aufrechtem Zugsverkehr rechtsufrig der Pitzemündung (Waldelekkopf) und die Stabilisierung zahlreicher labiler Felserker und abgetrennter Felschwarten durch Einzelanker, Ankerbalken, Ankerlisenen, Seilschlingen und Flächenvernetzungen sowie den Einbau zahlreicher Kontrolleinrichtungen.

### Hittisauerstraße B 205 und Riefensbergerstraße L 22:

Das breite Trogtal der Weißbach im Vorderbregenzerwald / Allgäu wurde von den eiszeitlichen Ill-Rheingletschern in die Tonmergel, Mergel, Kalke, Sandsteine und Konglomerate der Steigbach- und Weißbachformation der Molasse eingetieft. Beim Würnvorstoß wurden über dem Fels bzw. auf Moräne großflächig Seetone in Eisrandstauseen abgesetzt, deren Spiegel bis über die Hittisauerstraße B 205 hinauf reichte. Diese Seetone bilden den Untergrund der Wiesen und Gehöfte im Talgrund und in den beidseitigen sanften Talflanken. Die hangwärts an die Wiesen anschließenden, bewaldeten, steileren und lokal felsigen Talhänge werden von anstehendem Molassefels gebildet. Vom Fuße dieser Steilstufe aus haben sich seit den Eiszeiten Hangschutthalden, Gleitkuchen und Schwemm- sowie Bachschuttfächer lokaler Gerinne über die Seetone vorgeschoben. Oberhalb der bewaldeten Steilstufe legt sich das Gelände in die besiedelten Wiesenterrassen von Riefensberg zurück, deren Untergrund von eiszeitlichen, wasserführenden Schottern über dem Felsuntergrund gebildet wird (Abb. 21).

### Profilschnitt Gleitung Riefensberg

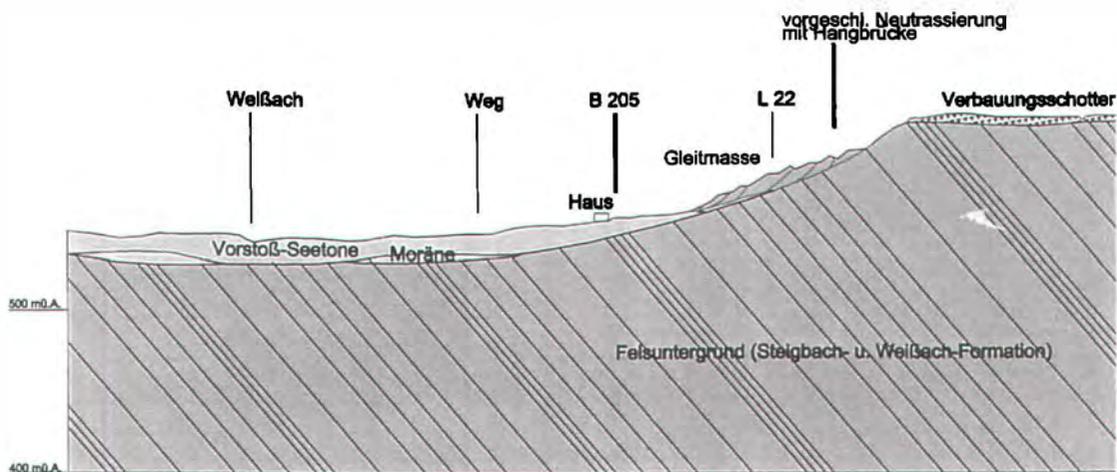


Abb. 21: Geologischer Profilschnitt L 22 Riefensbergerstraße

Abzweigend von der Bundesstraße vor der Grenzstelle Ach quert die Landesstraße L 22 gegen Süden ansteigend die bewaldete Steilstufe zur Terrassenfläche von Riefensberg in einer Doppelkehre und einem anschließenden Steilhangeinschnitt. 1988 fiel ab 22.3. starker Regen in eine geschlossene Schneedecke. Die schon in früheren Jahren entstandenen und durch Aufbringen von Asphalt ausgeglichenen Fahrbahnabsetzungen verstärkten sich auf ca. 800 m Straßenlänge dramatisch und erforderten am 24.3. die Sperre der Straße. Auf ca. 100 m Länge wurde die Straße ausgehend von Wasseraustritten aus einer Schichtfuge zwischen hangenden geklüfteten Konglomeraten und liegenden stauenden Mergeln, die aus den Terrassenschottern der überliegenden Terrassenverflachung gespeist werden, in eine Massengleitung einbezogen. Diese Gleitung erreichte am 27.3.1988 den Unterrand des Waldes bzw. die Obergrenze der druckempfindlichen Seetone der Wiesenflächen. Der in der Folge in den Seetonen ausgelöste progressive Grundbruch erreichte als Aufwölbungswelle am 28.3.1988 die Bundesstraße B 205 (Abb. 22).



Abb. 22: Grundbruchaufwölbung B 202 Hittisauerstraße / L 22 Riefensbergerstraße

Diese Grundbrüche erforderten die Sperre der Straße, die Evakuierung der talseitig der Straße liegenden Wohnhäuser und das Leerpumpen der Treibstofftanks einer hier liegenden Tankstelle durch den Geologen. Die von ihm angeordnete Öffnung von bis zu 5 m tiefen Druckentlastungsschlitzten hangseitig der Straße brachte die Ausbreitung der Grundbrüche, die offensichtlich durchwegs auf die oberste, wassergesättigte Schwarte beschränkt waren, zum Stillstand. Die Gesamtbewegung umfasste schließlich 1,5 ha Gleitmasse und 2 ha Grundbruchsfläche mit insgesamt 70.000 m<sup>3</sup> bewegter Masse.

Durch die Anlage eines flächenhaften Drainageleitungsnetzes und die Erosionssicherung des Ablaufgerinnes konnte im folgenden Jahr die Bewegung entschärft werden. Die Bewegungen halten aber nach wie vor mit Bewegungsbeträgen von einigen cm pro Jahr an. Sie weiten sich

gegen Osten aus, wobei hier eine am Himmelfahrtstag 1868 abgefahrene Gleitung von 250.000 m<sup>3</sup> Masse (3,5 ha Gleitfläche und 3 – 4 ha Grundbruchsfläche) remobilisiert wird.

Die vorgeschlagene Wiedererrichtung der unterbrochenen Landesstraße mit einer im anstehenden Fels gegründeten Hangbrücke und Kopfentlastung der Gleitmasse durch einen Großabtrag wurde zurückgestellt. Nach Riefensberg besteht auch eine andere Straßenverbindung.

### **Schlussfolgerungen:**

Die für Geologen mit fachlich und wirtschaftlich interessanten Aufgaben verbundene Erhaltung von Verkehrswegen wird in Zukunft eine zunehmende gesellschaftliche und volkswirtschaftliche Bedeutung erhalten.

Dies ergibt sich aus folgenden Feststellungen:

- Jedes Großbauwerk der Verkehrsinfrastruktur verursacht bereits wenige Jahre nach der Fertigstellung einen mit den Jahren zunehmenden Erhaltungsbedarf.
- Die Erhaltung der Verkehrswege wurde durch die Mittelkonzentration auf Neubauten finanziell und personell in den letzten Jahrzehnten vernachlässigt, wodurch eine erhöhte Nachholnotwendigkeit entstanden ist.
- Es steigt das Bewusstsein, dass rechtzeitige Erhaltungsarbeiten an Verkehrswegen Milliardenwerte für die nächsten Generationen sichern.
- Negativbeispiele wie die jahrzehntelange finanzielle Aushungerung der Bahninfrastruktur an der Arlbergwestrampe zugunsten des Straßenbaues zeigen, dass die langdauernde Vernachlässigung der Erhaltung den aufwendigen völligen Neubau von Verkehrswegen verursachen kann.

### Autor:

DDr. Heiner BERTLE  
Ingenieurkonsulent für Technische Geologie  
Kronengasse 6  
A-6780 Schruns