

<b>Die Geologie von Vorarlberg – Beispiel einer internationalen Zusammenarbeit im Bereich der westlichen Ostalpen</b>					<b>Redaktion: Maria Heinrich</b>
Jb. Geol. B.-A.	ISSN 0016–7800	Band 135	Heft 4	S. 791–808	Wien, Dezember 1992

## **Angewandte Geologie in Vorarlberg auf Grundlage der Landesaufnahme – Rückblick und Einfluß von R. OBERHAUSER**

Von HEINER BERTLE\*)

Mit 22 Abbildungen

Dr. RUDOLF OBERHAUSER  
zum 65. Geburtstag gewidmet

*Vorarlberg  
Tirol  
Helvetikum  
Nördliche Kalkalpen  
Silvrettakristallin  
Stubai Kristallin  
Felsankerungen  
Felsstürze  
Hydrogeologie  
Kalksteinbrüche  
Permafrost  
Seilbahnen*

Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blätter 111, 118, 143, 169, 174

### **Inhalt**

Zusammenfassung .....	791
Abstract .....	792
1. Einleitung .....	792
2. Geschichte der Angewandten Geologie in Vorarlberg .....	792
3. Stellung und Einfluß von R. OBERHAUSER auf die Bau- und Hydrogeologie Vorarlbergs .....	794
4. Beispiele aus der Praxis eines baugeologischen Kleinbüros .....	795
4.1. Felssturz Breitenberg (Dornbirn) .....	795
4.2. Wasserversorgung Ledi – Hohenems .....	797
4.3. Fels- und Stützmauersicherung Meschach – Götzis .....	798
4.4. Kalkgesteinsabbau Sifeler (Weiler) .....	799
4.5. Seilbahnen und Lifte .....	801
4.5.1. Pendelseilbahn Partenen – Versal .....	801
4.5.2. Schindlergratbahn St. Anton/Arlberg .....	802
4.5.3. Doppelsessellift Daunferner (Stubai) .....	803
4.5.4. Gletscherschlepplift Daunferner II (Stubai) .....	804
4.5.5. Lawinsprengseilbahnen .....	805
Literatur .....	806

### **Zusammenfassung**

Der streiflichtartige Rückblick auf die Geschichte der Bau- und Hydrogeologie in Vorarlberg seit 1839 zeigt den ständigen engen Zusammenhang von Landesaufnahme und Angewandter Geologie und die ausgeprägte Bereitschaft von Bauherrn, Geologen des In- und Auslandes für die Projektierung und Bauausführung heranzuziehen.

Seit über 30 Jahren prägt R. OBERHAUSER als Motor und Kartierer der Landesaufnahme, als Berater von Firmen, Gemeinden und Behörden, als Mitarbeiter und Berater von H. LOACKER sowie als führender wissenschaftlicher Publizist, Bearbeiter von Heimat- und Jahrbüchern sowie Tagungs-, Ausstellungs- und Exkursionsführern die Geologie Vorarlbergs. Durch Vorträge für Techniker, Lehrer und Vereine, Organisation von Tagungen und Exkursionen, Beratung von Studenten und in- sowie ausländischen Kollegen und durch seine Kartenblätter ist die Geologie landesweit bekanntgeworden und um R. OBERHAUSER abseits der Universitäten eine eigene „Schule“ der geologischen Arbeitsweise entstanden.

An Beispielen aus der über 20-jährigen Praxis eines Schülers von R. OBERHAUSER wird sein Einfluß auf die Angewandte Geologie und die marktbedingte Weiterentwicklung der Angewandten Geologie in fachliche Randgebiete und in rationalisierte Methoden dargestellt. Diese Beispiele der Felssturzversicherung, Bergwassererschließung, der Steinschlag- und Stützmauersicherung, der Lagerstätten-Abbauplanung und des Tunnelbaues sowie der Seilbahngründungen und Fellsicherung zeigen die Unverzichtbarkeit einer umfassenden, detaillierten Aufschluß- und Gefügekartierung, den ständigen Rückgriff auf Erkenntnisse der regionalen Landesaufnahme, aber auch den oft übermächtigen und mit erhöhten Risiken für den Geologen verbundenen Zwang zur Beschränkung auf die engere technische Fragestellung.

\*) Anschrift des Verfassers: DDR. HEINER BERTLE, Ingenieurkonsulent für Technische Geologie, Dorfstraße 1, A-6780 Schruns.

# Applied Geology Based on Regional Geological Mapping – Review and Influence of R. OBERHAUSER

## Abstract

Since 1983, applied geology in Vorarlberg has been determined by close and constant connection with land mapping; furthermore, national and foreign geologists have regularly been called upon for the planning and realization of constructions.

For more than 30 years R. OBERHAUSER has been shaping the scientific and applied geology of this region. He popularized geology throughout the area and created his own "school" of geological practices.

Cases drawn from various areas of engineering- and hydrogeology show that constant recourse is taken to land mapping; demonstrated is also the necessity for taking into account specialized marginal areas as well as technical, economic, and administrative aspects.

## 1. Einleitung

Bei der Bearbeitung von bau- und hydrogeologischen Projekten verschiedenster Fragestellungen während der vergangenen 20 Jahre ist der Autor immer wieder auf Gutachten, Zeichnungen, Karten und Veröffentlichungen von international bekannten und auch bereits vergessenen baugeologischen Gutachtern gestoßen, die zeigen, daß in Vorarlberg seit den Anfängen der Baugeologie im ersten Teil des letzten Jahrhunderts fortlaufend Baugeologen für Projektierung, Begutachtung und Bauüberwachung herangezogen wurden. Angesichts der Materialfülle einerseits und des beschränkten Zugriffs auf die großteils in Bauakten abgelegten Unterlagen andererseits kann dieser Rückblick nur ein unvollständiger schlaglichtartiger sein. Er zeigt aber den stetigen engen Zusammenhang der Angewandten Geologie des Landes mit der Landesaufnahme.

Während der letzten Jahrzehnte ist kein in Vorarlberg wissenschaftlich tätiger Geologe ohne Bezug auf die Veröffentlichungen von Dr. R. OBERHAUSER und ohne persönliche Kontaktnahme mit dem Geologen Vorarlbergs angekommen. Während die Bewertung der Arbeit von R. OBERHAUSER für die Regionalgeologie, insbesondere für Tektonik, Paläogeographie und Mikropaläontologie berufeneren Kollegen obliegt, soll die Stellung von R. OBERHAUSER in der Entwicklung und sein Einfluß auf den derzeitigen Stand der Angewandten Geologie in Vorarlberg aufgezeigt werden. Gerade aus der Sicht eines seit 20 Jahren in Vorarlberg selbständig arbeitenden Geologen, der sich als Schüler von E. CLAR und von R. OBERHAUSER versteht, wird die Bedeutung der auf Initiative von R. OBERHAUSER forcierten und weitgehend von ihm selbst ausgeführten Landesaufnahme für die angewandte Geologie deutlich.

An eigenen Praxisbeispielen der letzten Jahre wird dieser Einfluß von R. OBERHAUSER dargestellt.

## 2. Geschichte der Angewandten Geologie in Vorarlberg

Die Geschichte der Bau- und Hydrogeologie in Vorarlberg ist die Geschichte des engen Bezugs zur geologischen Landesaufnahme, zur geologischen Kartierung als unverzichtbarer Grundlage jeder angewandten Geologie.

Dies gilt bereits für A.R. SCHMIDT, der als Kommissär des Geognostisch-Montanistischen Vereins für Tirol und Vorarlberg zur Aufsuchung nützlicher Mineralprodukte Vorarlberg in den Jahren 1839–1843 topographisch und geognostisch kartierte und auf dieser Grundlage Mineralvorkommen beschrieb (A.R. SCHMIDT, 1843). Seine Karte und seine Profilschnitte sowie seine Detailskizzen sind

vom gleichen Bestreben nach detailliertester kartierender Erhebung der Naturphänomene gekennzeichnet, das über 150 Jahre später Dr. OBERHAUSER in seinen Kartenblättern zur Perfektion gebracht hat. Die Detailkenntnis der Geologie Vorarlbergs, wie z.B. der Aufschlüsse des Fensters von Gargellen geben umsomehr zur Bewunderung Anlaß, wenn man den damaligen Mangel an Kartengrundlagen, an Erreichbarkeit und Vorkenntnissen bedenkt. Die Deutung des Beobachteten ist selbstverständlich dem damaligen Kenntnisstand entsprechend. Wesentlich erscheint, daß für A.R. SCHMIDT trotz der damit verbundenen, heute kaum vorstellbaren Mühen und Schwierigkeiten zweifelsfrei war, daß eine detaillierte Geländeaufnahme die unverzichtbare Voraussetzung für eine erfolgversprechende Suche nach mineralischen Rohstoffen, also einen Zweig der Angewandten Geologie, bildet.

Mit dem Planungsbeginn für den Bau der Arlbergbahn und der Wasserkraftnutzung setzt ab 1845 die Detailkartierung für baugeologische Fragestellungen ein:

Die Ergebnisse der Terrainstudien für die Arlbergbahn einschließlich der sorgfältigen Erhebung der Lawinen und Murgänge erfolgte im Maßstab 1 : 2.000 durch den Sectionsgeologen H. WOLF unter Leitung des Direktors der Geologischen Reichsanstalt Ritter von HAUER. Die Ergebnisse wurden im Technischen Bericht über das Projekt der Arlbergbahn (Bludenz–Landeck), Wien 1972, in einem Geologischen Bericht mit Karte und Profilschnitten 1 : 28.000/14.400 dargestellt. Die Detailkartierung, die den Klostertaler Sattel und dessen südlich angepreßte Muldenstruktur sowie die Grenze zum Silvrettkristallin zutreffend erfaßte, bildet die Gesteinsproben zur Feststellung der Bohrbarkeit. Diese wurden nach Bohrversuchen in Quarz- und Kalklängen angegeben und mit Erfahrungen in bereits gebauten Tunneln verglichen. Ebenso wurde der möglichen Bergwasserführung der verschiedenen Gesteine besondere Aufmerksamkeit geschenkt, und insgesamt eine erstaunlich den heutigen Ansprüchen ähnliche, baugeologische Projektvorbereitung ausgeführt.

Die durch extreme Gelände- (felsige Steilhänge) und schwierige Untergrundverhältnisse (Gipsstrecke!) gekennzeichnete Westrampe der Arlbergstrecke hat in der Folgezeit der Bahneröffnung laufend bis heute die Heranziehung von Geologen für die Trassensicherung, -sanierung und -verbesserung erforderlich gemacht. Dabei war besonders M. SINGER im Zeitraum 1914–1951 ständiger Gutachter.

M. SINGER war aber auch baugeologischer Gutachter für die ersten Kraftwerksspeicherbauten in Vorarlberg, unter anderem beim Gampadelswerk 1922 und Vermunt 1926. Für den Speicher Vermunt führte er auch eine detaillierte Aufschlußkartierung und Gefügaufnahme im Maßstab

1 : 2.000 durch (M. SINGER, 1926), auf deren Grundlage M. LUGEON 1926 (Durchlässigkeitswerte!) aus Lausanne als Hauptgutachter seine Expertise erstattete. Die entscheidenden Aussagen dieses Experten „Der Gneis ist ein im höchsten Grade wasserdichter Fels“ und „Das Becken (von Vermunt) ist absolut dicht“ sind an Kürze wohl kaum zu übertreffen, wobei die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte die Allgültigkeit der ersten Aussage relativiert haben.

Ab ca. 1930 ist der Vorarlberger Stefan MÜLLER als erster ausschließlich freischaffender Baugeologe im Kraftwerksbau, für Straßen- und Tunnelprojekte sowie Hangsicherungen tätig. Die damalige Auftragslage, die Konkurrenz durch beamtete Geologen und die fehlende Befugnisabsicherung haben diesem detailliert kartierenden und äußerst modern ingenieurgeologisch arbeitenden Geologen die Berufsgrundlage zunehmend entzogen. Seine Gutachtertätigkeit bricht mit dem 2. Weltkrieg ab, nachdem er zuvor häufig die Projektgrundlagen für den Bauingenieur LUGER, sowie H. ASCHER, z.B. 1935 für den Schafbodentunnel (Hochkrumbach), erstellte.

Otto AMPFERER als klassischer Vertreter der Verbindung von geologischer Landesaufnahme und darauf aufbauender angewandt-geologischer Detailbearbeitung ist seit 1907 in Vorarlberg mit Veröffentlichungen präsent wirksam. Ihm verdanken wir unvergleichliche Detailzeichnungen von Aufschlüssen, tektonisch-stratigraphischen und baugeologischen Situationen für Kraftwerks-, Bahn- und Straßenprojekte. Als Beispiele unter vielen seien die Bearbeitung des Spullerseewerkes der ÖBB gemeinsam mit H. ASCHER, des Ausbaues des Lünensees 1940 und der Gipsstrecke der Arlbergbahn-Westrampe 1946 angeführt, die zeigen, wie weit dieser Aufnahmogeologe auf bautechnische Detailfragen kompetent eingegangen ist.

Im Gefolge von O. AMPFERER haben O. REITHOFER und O. SCHMIDEGG, aufbauend auf Kartierungen im Rahmen der Landesaufnahme der Blätter Stuben und Rätikon, Kraftwerksbauten der Vorarlberger Illwerke bei der Projektierung sowie insbesondere im Zuge der Bauausführung betreut. Die Stollenbandaufnahmen und Beschreibungen der Stollen Partenen – Latschau und Rells – Latschau sowie der Baugeologische Lageplan im Bereich des Lünensees 1952 sind Beispiele für die baugeologische Arbeitsweise von O. REITHOFER. Die geologische Übersichtskarte des Gebietes zwischen Saloniental und Lünensee einschließlich der zugehörigen, auf Anregung von E. CLAR

ausgeführten Gefügeaufnahmen 1953 zeigen die Strukturgeologie-betonte Arbeitsweise von O. SCHMIDEGG. Die Ergebnisse der geologischen Stollenaufnahme für das Lünenseewerk Vorarlberg, Abschnitt Salonien – Latschau, wurden von K. MIGNON (1962) veröffentlicht.

Josef STINI wurde besonders nach dem Ende des 2. Weltkrieges für die Kraftwerksprojektierungen der Vorarlberger Kraftwerke und des Studienkonsortiums Bregenzerach häufig herangezogen. In Ausnutzung seiner damaligen Notsituation wurde ihm dabei keine Gelegenheit zu umfassenderen Geländeaufnahmen und Beurteilungen gegeben, sondern seine Gutachtertätigkeit auf Aufschlußbeurteilungen mit allen daraus entstehenden Fehlerquellen eingeschränkt.

Sowohl an der Bregenzerach als auch bei den Kraftwerksprojekten Kops und Lünensee-Golmerhang wurde mit der Gesamtbegutachtung R. STAUB beauftragt. Diese Begutachtungen wurden für so projektsentscheidend gehalten – sie waren es dank seiner unbestrittenen Autorität auch tatsächlich –, daß R. STAUB im eigens konstruierten Tragsessel (Abb. 1) durch den jeweiligen Projektbereich getragen wurde. Als Beispiel für die Aussageprägnanz dieses Gutachters kann das auf Untersuchungen von O. AMPFERER, W. HAMMER, M. SINGER und O. REITHOFER aufbauende Geologische Gutachten zum Stau-mauerprojekt Kops 1959 verwiesen werden. Dieses enthält auch bleibend gültige Aussagen über die Verantwortung und Verantwortlichkeit des Baugeologen und endet mit der Schlußfolgerung:

„... Der unterzeichnete geologische Experte hält den Bau der Kopser Sperre gemäß ... für möglich und verantwortlich. Er kann ... dieses Bauvorhaben zur Ausführung empfehlen ...“

Als Grundlage für die Vorprojektierung der Wasserkraftwerke „Untere III“ der Vorarlberger Illwerke AG stellte L. KRASSER, der jahrzehntelange Doyen der Vorarlberger Baugeologie, aus Vorkartierungen und eigenen Aufnahmen die Geologische Karte des Walgauer im Bereich der Wasserkraftwerke „Untere III“ 1 : 25.000 1948 zusammen. Flächenhafte Kartierungen als Grundlage bau- und hydrogeologischer Bearbeitung sind bei KRASSER allerdings gegenüber Gutachten, die streng auf bautechnische Fragen ausgerichtet sind, die Ausnahme.

1955 begann R. OBERHAUSER im Rahmen der geologischen Landesaufnahme mit der geologischen Kartierung Vorarlbergs und mit angewandt-geologischen Beratungen unter anderem für Ziegeleien bezüglich der Rohstoffversorgung. Die bau- und hydrogeologischen Beratungen von R. OBERHAUSER intensivierten sich durch die enge Zusammenarbeit mit H. LOCKER für die Detailprojektserstellung des Walgauwerkes und die Kraftwerksuntersuchungen an der Bregenzerach ab 1965. Gleichzeitig erschienen die geologischen Kartenblätter 1 : 25.000 Rätikon 1965, Walgau 1967, Partenen Nord und Süd 1980, St. Gallen Süd und Dornbirn Süd 1982, Bregenz 1982, Sulzberg 1985 und die Geologischen Kartenblätter 1 : 50.000 Galtür 1990 und Mittelberg 1990, die durchwegs teils auf wesentli-



Abb. 1.  
Prof. Rudolf STAUB, Zürich, als baugeologischer Projekts-Hauptgutachter 1950 in der Bregenzerach-Schlucht.

chen bis fast ausschließlichen Kartierungen von R. OBERHAUSER beruhen, teils auf seine Initiative hin entstanden sind. Die von H. LOACKER unter dem Einfluß und unter teilweiser Mitarbeit von R. OBERHAUSER ausgearbeiteten bau- und hydrogeologischen Projektsunterlagen sowie Baudokumentationen der Kraftwerke und Kraftwerksprojekte Kops, Walgau, Langenegg, Lünersee, Alberschwende, Untere Ill, an der Bregenzerach, Kanis, Auenfeld, Marul, Alfenz-Oberstufe usw. sind Maßstäbe und Vorbilder für baugeologische, auf sorgfältigen umfassenden Geländeaufnahmen aufgebaute Arbeitsweisen.

Dieser Rückblick auf die Geschichte der Angewandten Geologie in Vorarlberg zeigt, daß es seit den Anfängen im 19. Jahrhundert bis heute in diesem Land immer wieder Bauherrn gab, denen der wirtschaftliche und sicherheitsmäßige Wert einer gediegenen baugeologischen Projektbearbeitung einschließlich entsprechender Geländekartierungen und Baudokumentationen bewußt war. Daher wurden von Beginn an einerseits die jeweils qualifiziertesten Geologen des In- und Auslandes für Projektbegutachtungen und -ausarbeitungen beigezogen, und andererseits die Bereitstellung der geologischen Grundlagen durch die Landesaufnahme von Seiten der Landesregierung und der Kraftwerksgesellschaften gefördert. Daß Vorarlberg das wahrscheinlich am besten durch neuere geologische Kartenblätter abgedeckte Bundesland ist, ist diesen Förderungen sowie dem jahrzehntelangen publizistischen Bemühen, persönlichen Vorsprachen und den weitflächigen Eigenkartierungen von R. OBERHAUSER zu verdanken.

### 3. Stellung und Einfluß von R. OBERHAUSER auf die Bau- und Hydrogeologie Vorarlbergs

Die Stellung von R. OBERHAUSER in der geschichtlichen Entwicklung der Baugeologie wurde bereits dargelegt. Seine Stellung in der gegenwärtigen wissenschaftlichen und angewandten Geologie des Landes ähnelt der von O. AMPFERER zu seiner Zeit:

- Dominierender Aufnahmegeologe und wissenschaftlicher Publizist.
- Unbestrittene Autorität und Auskunftsperson für Studenten, Hochschulen, Kartierer, Wissenschaftler und

interessierte Vereine des In- und Auslandes sowie für Gemeinden und Behörden in allen geologischen Fragen.

- Berater für private und öffentliche Auftraggeber und Kollegen in bau- und hydrogeologischen Fragestellungen.
- Vorbild und Lehrer für die in Vorarlberg tätigen Geologen in der umfassenden Beobachtung und Verarbeitung aller für die Gestaltung der Erdkruste wesentlichen Erscheinungen und Einflüsse, wie insbesondere der natürlichen und menschlichen Landschaftsformung, der Vegetation, von Ruinen und historischen Dokumenten, von Quellen und Riedflächen, Hangbewegungen, Makro- und Mikrofossilien usw.

Gemeinsam mit dem ebenfalls umfassend kartierenden, Baupraxis-betonen Geologen der Vorarlberger Illwerke, H. LOACKER, hat R. OBERHAUSER im Kartierungsstil, besonders aber auch in der Verarbeitung der Kartierungsergebnisse durch Konstruktion von Profilschnittserien und deren Vergitterung und Kontrolle durch Horizontalschnitte Maßstäbe für die jüngeren Kollegen gesetzt. Ergebnisse dieser Zusammenarbeit sind unter anderem das durch die Bauerfahrungen weitgehend bestätigte baugeologische Projektmodell des Walgaustollens durch den unvergleichbar komplexen geologischen Bau des Rätikons (Abb. 2) sowie die Geologischen Gutachten über die Gebiete Walgau und Oberes Rheintal nach Fragestellungen der Raumplanung für das Amt der Vorarlberger Landesregierung 1972 und 1973. In diesen umfassenden „umweltgeologischen“ Erhebungen wurden lange, bevor Geoökologie ein Schlagwort wurde, auf Grundlage der detaillierten Landesaufnahme und unter Einarbeitung intensiver angewandt-geologischer Erhebungen raumplanungsrelevante Aussagen über Baurohstoff- und Wasserversorgungsreserven, über Deponiestandorte sowie über Gefährdungsbereiche dargestellt und beschrieben. Diese Erhebungen bilden nach wie vor die Grundlage für raumordnende Planungsansätze und die Rohstoffsuche.

Der Sicherstellung der örtlichen und regionalen Wasserversorgung im dicht besiedelten Rheintal galt immer das besondere Interesse von Dr. OBERHAUSER. Aufgrund seiner Detailkenntnis der Strukturen des Helvetikums war und ist er in Hinblick auf die gegenüber dem Talgrundwasser leichtere Schützbarkeit und leichtere Vermeidbarkeit konkurrierender Flächennutzungen ein unermüdlicher Predi-

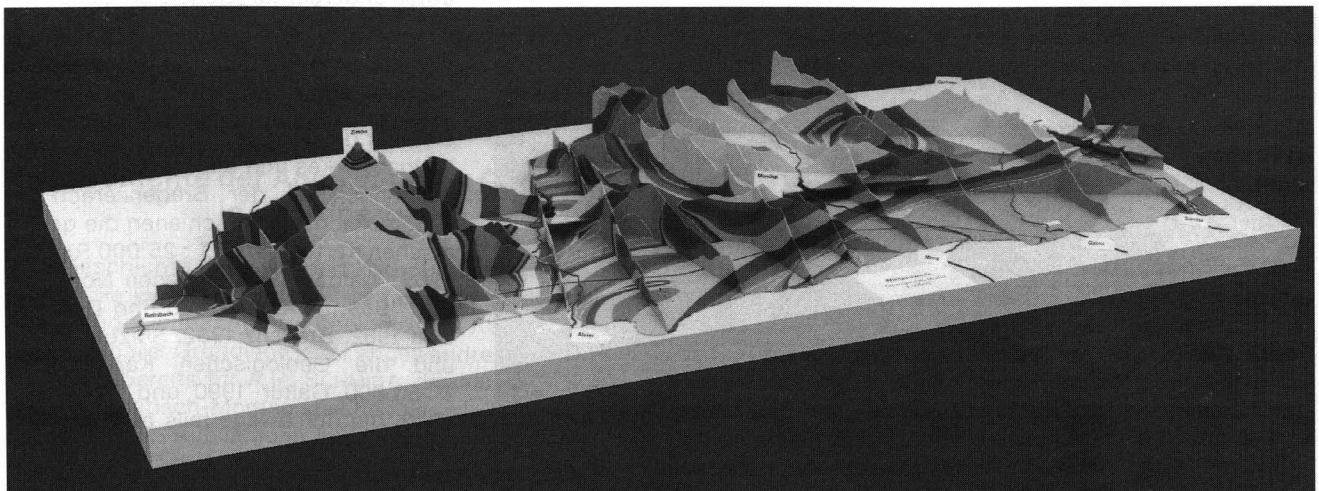


Abb. 2. Modell des Walgaustollens der Vorarlberger Illwerke AG von Dr. H. LOACKER.



Von den Behörden wurde Dr. OBERHAUSER für besonders kritische Hangstabilitätsfragen wie den Felssturz Oberklien, 1971, und die Felsstürze im Steinbruch Gstöhl-Dornbirn, 1972, herangezogen.

Aufgrund seiner umfassenden historisch-archäologischen, botanischen und allgemein landeskundlichen Interessen sowie Kenntnisse und der Fähigkeit zur anschaulichen Darstellung auch komplexer geologischer Verhältnisse wurde Dr. OBERHAUSER um Fachbeiträge für die Stadt- bzw. Heimatbücher von Hohenems 1983, Götzis 1988 und Koblach 1990 ersucht.

Diese Beiträge, die von ihm organisierten und geführten zahlreichen naturwissenschaftlichen und geologischen Tagungen sowie Exkursionen verschiedener Vereine und Institute sowie die zahlreichen Vorträge und Exkursionen im Rahmen der Lehrer- und Technikerfortbildung sowie der von ihm eingerichtete geologisch-botanische Lehrwanderweg Götzis-Fallenkobel haben ein landesweites „Geologiebewußtsein“ bei der Bevölkerung und den Behörden entstehen lassen.

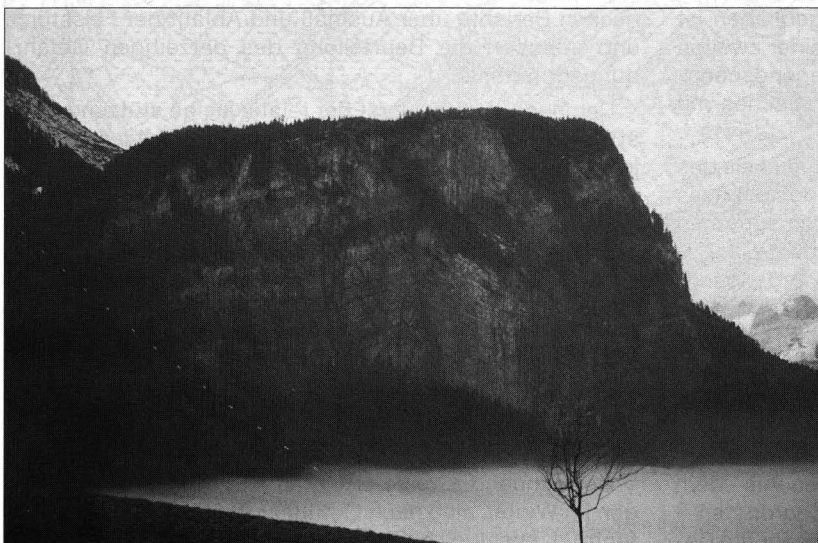
Mit diesen Tagungen und Exkursionen sowie persönlichen Ratschlägen, Geländebetreuungen und Fossilbestimmungshilfen für Studenten sowie wissenschaftlich und angewandt tätige Kollegen ist Dr. OBERHAUSER zum Kristallisationspunkt der Landesgeologie und zum Gründer einer eigenen „Schule“ der Angewandten Geologie in Vorarlberg geworden.

#### 4. Beispiele aus der Praxis eines baugelogischen Kleinbüros

Der Autor konnte bereits während seines Studiums Dr. OBERHAUSER auf Exkursionen und Kartierungsbegehungen begleiten und seine Hilfe bei Mikrofossilbestimmungen in Anspruch nehmen.

Diese und die Einbindung in bau- und hydrogeologische Arbeiten von Dr. LOACKER bereits als Ferialpraktikant waren so prägend, daß der Einfluß von R. OBERHAUSER auf die nunmehr über 20-jährige Praxis meines Büros besonders augenscheinlich wird.

Dies soll an einigen Beispielen aus verschiedenen Arbeitsgebieten dargestellt werden:



#### 4.1. Felssturz Breitenberg – Dornbirn

Südlich von Dornbirn, oberhalb der Siedlung Brehmenmahl und nordöstlich neben den großen Kalksteinbrüchen erhebt sich der Breitenberg in einer fast 700 m hohen Steilwand über die Talebene.

Aus dem obersten Teil dieser Felswand springt oberhalb einer Wandverflachung eine gelbe Wand quer aus der Wandflucht hervor. Sie markiert die seitliche Abrißfläche historischer Großfelsstürze, durch die 1654 und 1760 insgesamt eine halbe Million m<sup>3</sup> Felsmasse ausgebrochen und über die Wand und den unterliegenden Steilhang bis zur Talebene abgestürzt sind (BERTLE in R. OBERHAUSER, 1986). Beim Aufprall auf die torfig-schluffige Talfüllung wurde ein Grundbruch ausgelöst, dessen Druckwellen bogenförmig bis 650 m vom Hangfuß in die Talebene hinausreichen. Steine wurden bis 300 m vom Hangfuß auf die Ebene geschleudert. Zur Kontrolle offener Ablösungsfugen im Abrißbereich wurden 1957 mechanische Meßmarken versetzt und in Hinblick auf die latente Gefährdung der Talebene auf Vorschlag von L. KRASSER (1961) eine Bauverbots- und Baubeschränkungszone im Hangvorfuß erlassen.

Veranlaßt durch den Absturz größerer Felsblöcke aus der Wand und die Feststellung größerer Bewegungsbeträge an den Meßmarken 1986/88, hat die Stadt Dornbirn 1989 die geologisch-geotechnische Beurteilung der Felssturzgefährdung und der erforderlichen Kontroll- und Sicherungsmaßnahmen in Auftrag gegeben.

Gestützt auf die Kartierungsunterlagen von R. OBERHAUSER für die Blätter Dornbirn Süd und Nord und eine eigene Vorbegutachtung 1978 wurde gemeinsam mit Dr. L. MÄHR die Nord- und Westwand des Breitenberges trotz der extremen Geländebedingungen im Detail kartiert und gefügemäßig aufgenommen. Dadurch konnten die durch den schrägen tektonischen und erosiven Anschnitt verwischten komplexen Gefügestrukturen als Voraussetzung der Absturzbereitschaft geklärt und zu unserer Genugtuung geringfügige Verbesserungen der OBERHAUSER-Kartierung erzielt werden:

Der eigentliche Breitenberg wird von einer stirnnahen aufrechten Schichtfolge der Säntisdecke mit Gault auf der Gipfelverebnung Breitenberg – Schuttannen, Schratzenkalk im obersten Wandteil, Drusbergschichten im ausgeprägten Wandband unter der Ausbruchsnische und Kieselkalk-Valangienkalk und Valangienmergel im unteren Steilwandteil aufgebaut. Diese Schichtfolge ist nach

schräg von NE nach SW in die Wand streichenden flach achsial gewellten Achsen W- bis NW-vergent verfalzt. Eine scharf abknickende Faltenstirn und deren steilstehender Liegendschenkel bilden den absturzgefährdeten Felskerker südwestlich der historischen Ausbruchsnische und setzt sich in die enggepreßte Gaultmulde des Gipfels fort. Eine gleichartige steile Faltenstirn bzw. ein gleichartiger steilstehender Liegendschenkel baut den untersten Wandteil südwestlich des Satzbaches auf. Der hier gefundene

Abb. 3.  
Breitenberg bei Dornbirn.  
Nordwest-Abfall zur Rheintalebene mit historischer Ausbruchsnische im Schratzenkalk oberhalb der „Satz“-Verebnung (Drusbergschichten) und Gipfelverfaltung sowie Haslach-Rüttizone im Bereich der Nebelobergrenze.

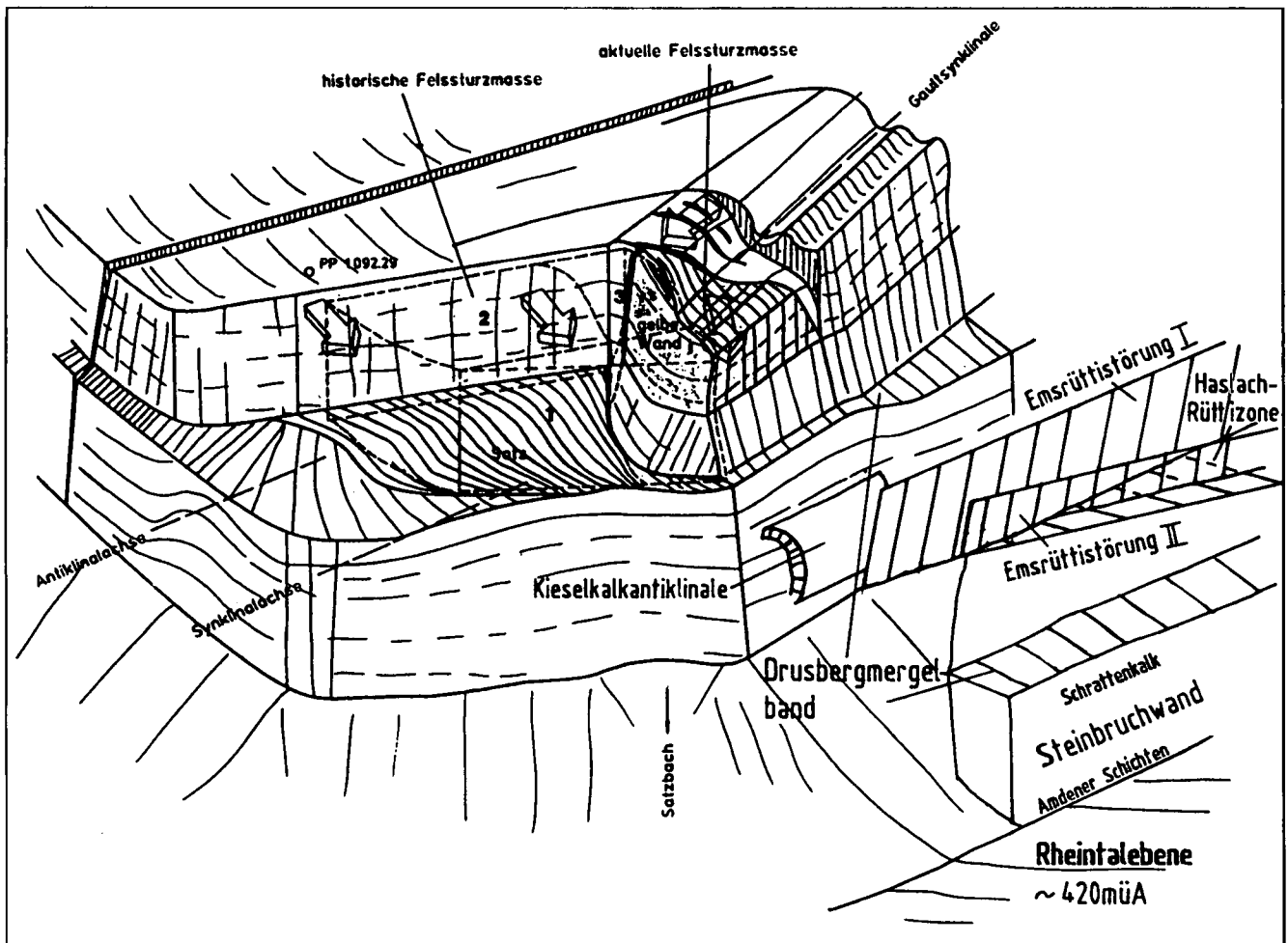


Abb. 4. Modell des Breitenberges mit den Felssturzkörpern von 1654 und 1760 sowie der derzeit absturzgefährdeten Felssturzmasse westlich der „Gelben Wand“.

Liegendschenkel aus Kieselkalk – Schrattenkalk – Gault – Grünsandstein – Seewerkalk – Amdenerschichten vermittelt zur muldenförmigen Haslach-Rüttizone, die an einer der großen Ems-Rüttistörungen als Scholle gegenüber dem Breitenberg tief abgesunken ist.

Die Junggesteinsserie der Haslach-Rüttizone aus Amdenermergel, Globigerinenmergel und Nummulitenschichten bildet den aufrechten hangenden Faltschenkel der Stirnfalte, deren Stirnübergang nur im Hohenemser Schloßberg von der Erosion verschont geblieben ist und deren relativ zur Haslach-Rüttizone an einer zweiten großen Ems-Rüttistörung stark gehobene Liegendschenkel-Scholle die Felswände westlich des Satzbaches mit den großen Steinbrüchen bildet.

Das Auffinden des vermittelnden Liegendschenkels des Breitenberges bzw. des anschließenden Muldenansatzes sowie die durchstreichenden Achsialstrukturen sprechen für eine Zusammengehörigkeit von Breitenberg-Säntisdecke, Haslach-Rüttizone und Steinbruchwand-Hohenemser Falte sowie gegen die Selbständigkeit einer „Hohenemser Decke“ (G. WYSSLING, 1984 und 1986).

Das schräge Streichen einer steilen talfallenden Faltenstirn in die Steilwand unterhalb des Gipfelabbruches und die flexurartige Verbiegung der Faltenachsen haben im Bereich der historischen Ausbruchsnische und des südwestlich anschließenden Felserkers zusammen mit – dem Faltenbau und den Ems-Rüttistörungen zugeordneten – Störungs- und Klufscharen die Voraussetzung für die De-

stabilisierung des Felsverbandes geschaffen. Nur hier – im Gegensatz zu den beidseits anschließenden Wandbereichen – lagern steil talfallend geschichtete Schrattenkalkmassen auf mittelsteil bis wenig steil aus der Wand fallend gelagerten, wasserstauenden und schmierig verwitternden Drusbergmergeln (Abb. 3).

Die Gefügeanalyse, die Rekonstruktion der Wandverhältnisse vor den historischen Felsstürzen und die Nachrechnung der Stabilitätsverhältnisse bestätigen die historischen Berichte über Ausmaß und Ablauf der Felsstürze und erlauben die Beurteilung des derzeitigen Gefährdungspotentials.

Demnach mußte zuerst der relativ kleine stützende, auf synklinal verflachten Drusbergmergeln aufsitzende Felskeil 1 (Abb. 4) der Satzmasse abgleiten (150.000 m<sup>3</sup> von 1654). Dadurch verlor die hinterliegende, auf den steil talfallenden Drusbergmergeln lagernde und nur durch die bergwärts anschließende Antiklinalverflachung zurückgehaltene große Felsmasse 2 ihre Stütze und glitt in einer Drehbewegung nach Überwindung der Seitenreibung an der „Gelben Wand“ ab (250.000 m<sup>3</sup> 16. 2. 1760). Damit wurde auch der im Winkel zwischen der Hauptablösungswand und der „Gelben Wand“ auf steilstehenden Drusbergmergeln aufsitzende Felskeil freigelegt und stürzte bereits 1 Monat später (15./16. 3. 1760, 100.000 m<sup>3</sup>) ab.

Bezeichnenderweise erfolgten alle Stürze bei Starkregen im Winter, also nach Gefügeentfestigung durch Spaltenfrost, eventuell bei schnee- und eisgefüllten Klüften.

Durch die Scherbeanspruchung infolge der Seitenreibung der abgeglittenen Felsmasse wurden der „Gelben Wand“ Harnisch-Striemen aufgedrückt und dem Kluftgefüge folgend Zerrspalten im anschließenden, vorspringenden Wandteil aufgerissen. Dabei wurde dieser Wandteil leicht aus der Wand gedreht. Er besteht aus einer keilförmigen Felscheibe, deren nordöstlicher Teil auf einer sehr steil bis steil aus der Wand fallenden Drusbergmergellage ruht, während der Südwestteil stabil auf der hier sählig bis leicht bergfallenden synklinal umgebogenen Mergellage aufsitzt. Der Felskeil ist bergseitig durch eine offen klaffende Spalte vom Gebirge getrennt und weist eine Masse von ca. 140.000 m<sup>3</sup> auf. Durch parallele offene Ablösungsspalten tiefer im Gebirge sind zusätzlich 70.000 m<sup>3</sup> aus dem Gebirgsverband abgetrennt und evtl. mobilisierbar. Durch Schwingungsmessungen während Tiefbohrlochsprüngen beim benachbarten Steinbruch wurde festgestellt, daß die Felsmasse einen freischwingenden Pfeiler bildet.

Die derzeitige Stabilität des Felspfeilers bei trockenem Wetter und bei wassergefüllten Ablösungsfugen und Mergelgleitbahnen wurde aus dem Verhältnis der Gleit- bzw. Restscherfestigkeit des überwiegend treibenden und des überwiegend stützenden Teilkörpers an der gemeinsamen Grenzfläche ermittelt. Demnach liegt die Restfestigkeit des Pfeilers bereits bei geringer Durchfeuchtung und weiterer Öffnung der Scherfuge nur noch bei 1,14 und damit deutlich unter der für Felssturzbetrachtungen erforderlichen Sicherheit von 1,25–1,5. Sie entspricht damit der Wandstabilität vor dem ersten historischen Felssturz.

Aufgrund der Geländeuntersuchung und der Stabilitäts-ermittlung wurde die bisher mit 10.000–15.000 m<sup>3</sup> angeschätzte absturzbereite Gesamtmasse auf das 10–15fache (140.000 m<sup>3</sup> + 70.000 m<sup>3</sup>) erhöht und die Reststabilität als unter der erforderlichen Sicherheit liegend erkannt. Die Abbruchwahrscheinlichkeit kann jedoch derzeit auf viele Jahrzehnte bis 1–2 Jahrhunderte eingeschätzt werden. Sie erhöht sich jedoch durch Verschlechterungen der Stabilitätsverhältnisse augenscheinlich. Daher wurde als erste Sicherungsetappe der Einbau von Mehrfachextensometern, schweren Meßankern und Fisurimetern zur Stabilitätskontrolle und die Errichtung eines Auffangdammes am Hangfuß als Schutz für das beliebte Naherholungs- und Sportanlagegebiet sowie zur

Reduzierung von evtl. Grundbruchauswirkungen im Gefolge von Felsstürzen vorgeschlagen. Die bereits jetzt projektierte äußerst kostenaufwendige Dauersicherung durch eine kombinierte Gleit- und Kippsicherung der absturzgefährdeten Felsmasse mittels 31 10–60 m langen und auf 1.900 kN vorgespannten Litzankern sowie Ankerbalken mit einer Gesamtlänge von 112 m kann bis zur Messung bedrohlicher Stabilitätsveränderungen zurückgestellt werden.

#### 4.2. Wasserversorgung Ledi – Hohenems

Ende des vorigen Jahrhunderts wurden von der Gemeinde Projektierungsarbeiten in Auftrag gegeben, die im Jahre 1901 zur Einreichung eines Projekts zur Versorgung von Hohenems mit Trink- und Brauchwasser führten. Für die geologische Beratung wurde Prof. BLAAS aus Innsbruck beigezogen, der die Einzugsgebiete und Austrittsbedingungen der zu fassenden Quellen im Bereich Ledi – Finsternauerbach südöstlich des Ortskerns zutreffend bestimmte. Die in der Folge mit Fassungsstollen aufwendig gestaltete Quelfassung reichte bis vor einigen Jahren mit einer Schüttung von 10–40 l/s aus, eine Hauptstütze der städtischen Wasserversorgung zu bilden. Seither schwankt die Quellschüttung von 1–120 l/s und ist bei Starkniederschlägen und nach der Schneeschmelze bis zur Unbrauchbarkeit getrübt.

As Voraussetzung für die Entscheidung über Aufgabe der Quellwassernutzung oder Neufassung der Quellen wurde die hydrogeologische Überprüfung der Schüttungskapazität, der Einzugsgebiete und der Oberflächenbeeinflussung der Quellen in Auftrag gegeben. Aufbauend auf gemeinsamen Exkursionen und den Anregungen von R. OBERHAUSER bezüglich der sein Steckenpferd bildenden Bergwassernutzung aus den Helvetischen Faltenzügen wurde auf der Grundlage der Geologischen Karte 1 : 25.000, Blatt St. Gallen Süd – Dornbirn Süd, gemeinsam mit Dr. L. MÄHR das mögliche direkte Einzugsgebiet im Maßstab 1 : 10.000 nachkartiert. Diese Detailkartierung erbrachte außer zusätzlichen kleinräumigen Bruchstufen und Verschuppungen die volle Bestätigung der Landesaufnahme von R. OBERHAUSER und ermöglichte anhand von Serienprofil-schnitten (Abb. 5 und 6) durch das Ranzenberg-Staufenspitze- und das Götzerberg-Strahlkopf-Bocksberg-Ge-

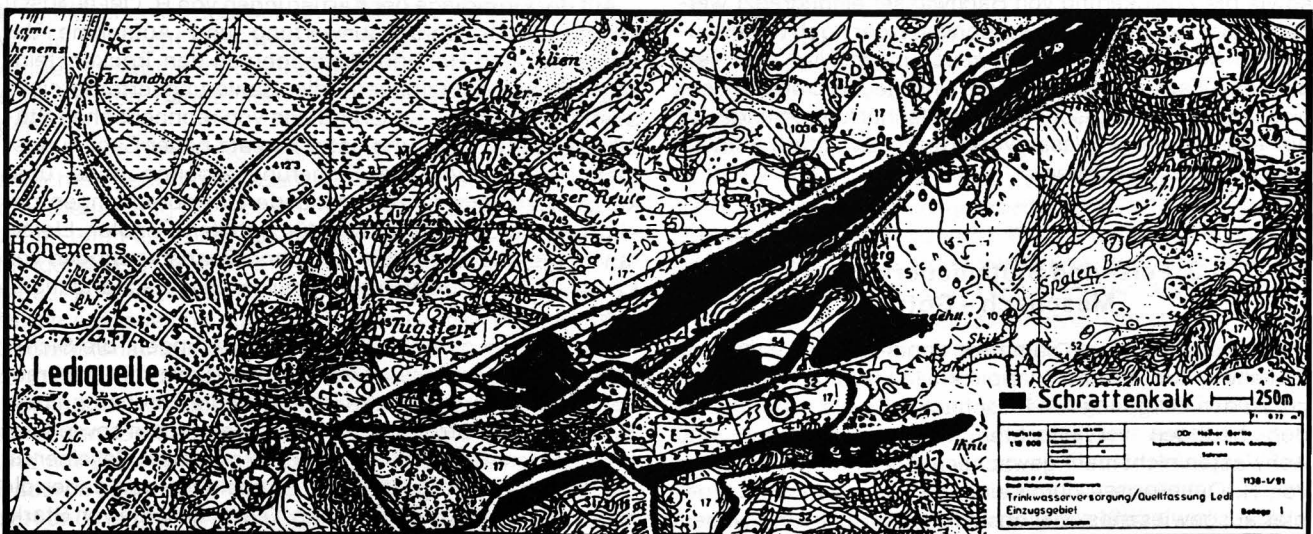


Abb. 5. Lediquellen Hohenems: Hydrogeologischer Lageplan nach R. OBERHAUSER mit wahrscheinlichen Einzugsgebieten A–C.



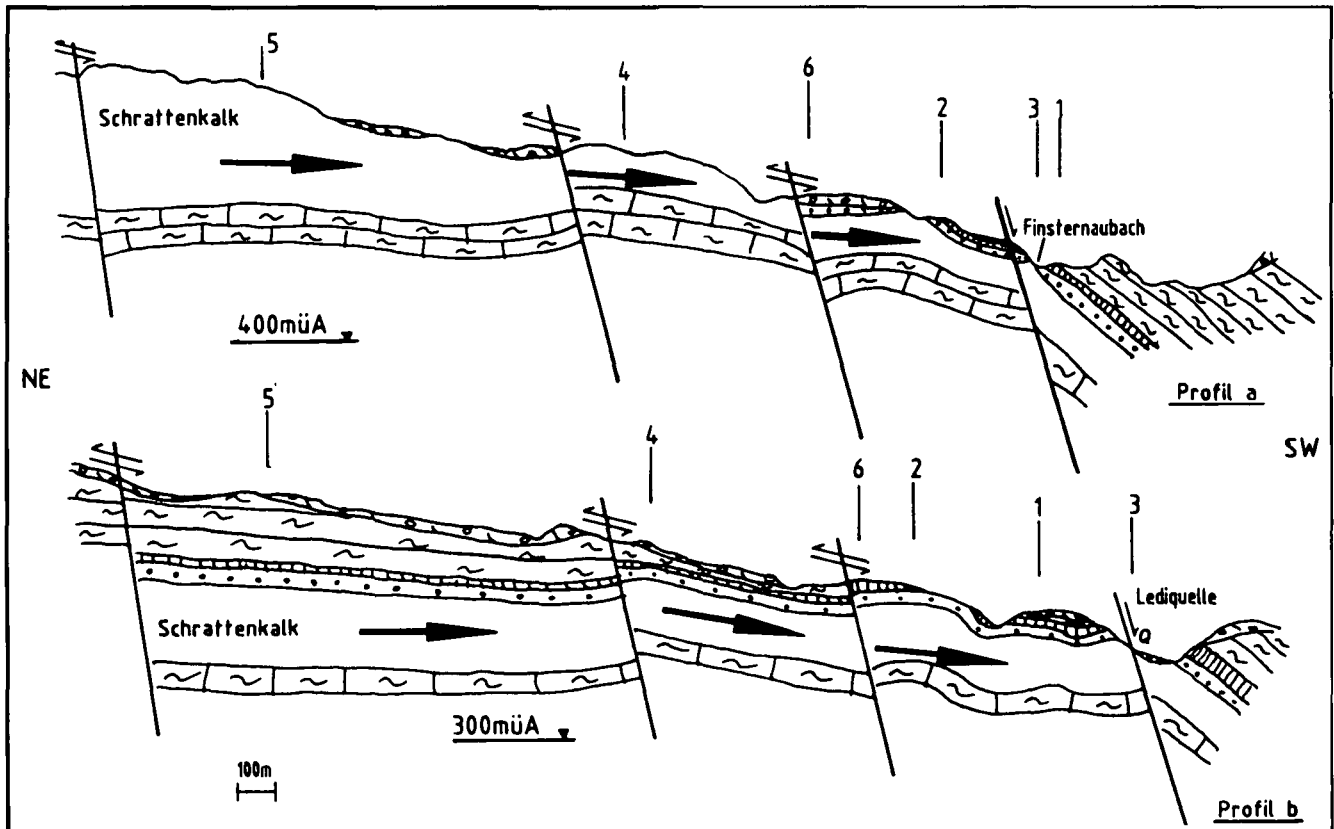


Abb. 6. Lediquellen Hohenems: Achsialschnitte der Alimentationswege durch die verkarsteten Schrattekalkschenkel des Ranzenberg-Staufenspitz- und des Götznerberg-Strahlkopf-Bocksbergsgewölbes.

wölbe eine direkte Zuordnung des möglichen Einzugsgebietes von 2,5 km<sup>2</sup> und die Eingrenzung der Zulaufwege zu den Lediquellen. Die aus dem Einzugsgebiet ermittelte mittlere Durchschnittsschüttung von 36 l/s wurde durch die alten Projektsberichte und durch die regelmäßigen Quellschüttungsmessungen von 35–40 l/s bestätigt. Durch die regelmäßige Messung der Schüttung, des Oberflächenabflusses des Finsternaubaches an drei Meßquerschnitten, der Temperatur, der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes in Bezug zu Lufttemperatur und Niederschlag konnten die hydrogeologischen Einzugsenerwartungen bestätigt, die Verweil- und Fließdauer sowie die Zusickerung von Bachwasser eingegrenzt werden. Nach den bisherigen Ergebnissen der noch weiterlaufenden Messungen und Untersuchungen wird eine verbesserte Fassung eine größere und gegen Oberflächenwasserzutritte abgeschirmte Quellschüttungsmenge für die eigenständige Wasserversorgung der Stadt Hohenems erschließen können.

#### 4.3. Fels- und Stützmauersicherung Meschach – Götzis

Die ursprünglich als Saumweg angelegte und später als Güterweg ausgebaute knapp 4 km lange Straße von Götzis zu den Bergparzellen Meschach – Spalla – Millrütli ist den heutigen vervielfachten Verkehrsfrequenzen und Achslasten nicht mehr gewachsen. Sie führt im Heimatort von R. OBERHAUSER durch ein als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesenes, viel besuchtes Wander- und Naherholungsgebiet mit fast mehr Gast- als Wohnhäusern. Nachdem durch Steinschlag und Kleinfelsstürze Schäden an Autos und Verkehrsunterbrechungen eintraten, wurden

von der Marktgemeinde Götzis 1986–1988 die Projektierung, Ausschreibung und Bauüberwachung der Sicherung der jeweils gefährdetsten Abschnitte und 1989 nach der Unterbrechung der Straße durch den Abbruch einer Fußstützmauer die Beurteilung der gesamten Wegstrecke, eine Dringlichkeitsreihung und Kostenschätzung der Sanierungsabschnitte in Auftrag gegeben. Seither werden jährliche Bauprogramme vom Geologen im Detail projektiert, ausgeschrieben, überwacht und abgerechnet. Die Gesamtsanierungsaufwendungen der voraussichtlich 1992/93 abzuschließenden Sicherungen wird sich auf über 20 Mio. Schilling belaufen.

Auf der Grundlage der Kartierungen von R. OBERHAUSER konnte durch Gefügeauswertung und Aufnahme der Setzungs- und Hangdruckschäden an den Trockensteinschichtungs-Stützmauern die Sanierungserfordernisse bestimmt werden. Auf Grundlage von rechnerischen Stabilitätsermittlungen und unter Einsatz neuer Sanierungstechniken wurden die Sicherungsarbeiten ohne über kurze Wartezeiten hinausgehende Unterbrechungen der einzigen Verbindungsstraße für Schüler, Pendler, Lieferfahrzeuge und Ausflügler und ohne Beanstandungen von Landschaftsschützern und Behörden in wirtschaftlichster Weise ausgeführt.

Dazu waren großflächige Felsnetzungen, die Sicherung abgleitbereiter Felsplatten und -keile mit Dauerankern, Felsabträge, Stützknaggen und die Erneuerung bzw. Sicherung von Stützmauern und Futtermauern sowie Auskofferungen des Straßenkörpers erforderlich. Bei einer für die Sanierung vorgesehenen Stützmauer war dabei die Natur rascher als die Sanierung. Die im Gefolge von Starkniederschlägen abgeglittene Mauer mußte unter schwierigen Bedingungen durch eine tief im Unterhang gegründete hohe Vorgrundsteinschichtung ersetzt werden. Ein





Abb. 7.  
Meschach-Götzis.  
Ansicht der Straßenquerung der Meschacher Antiklinale auf der Stützmauer „Fuchsfalle“ vor der Sanierung.

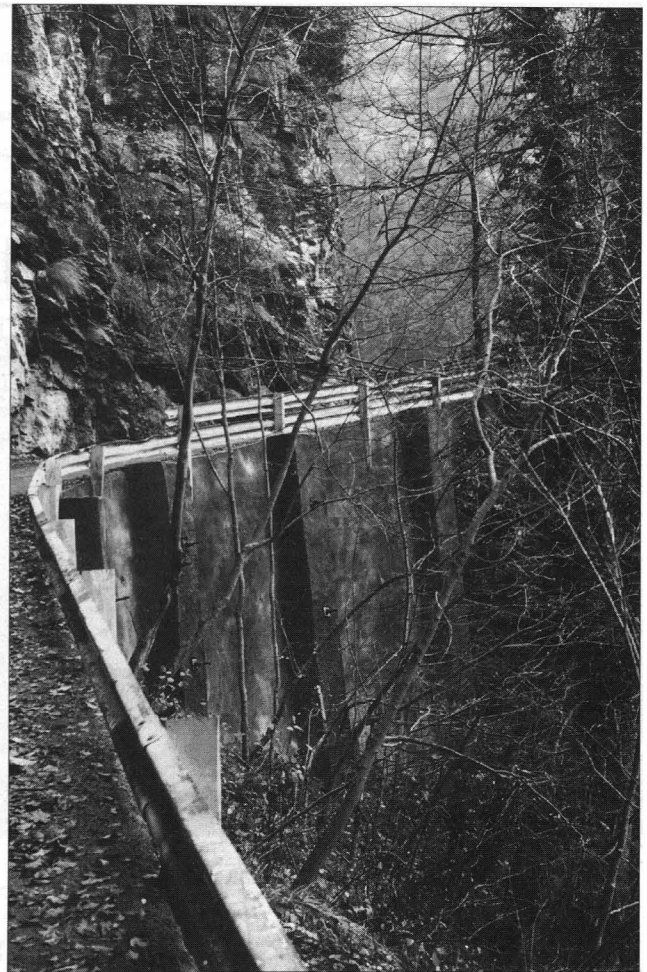


Abb. 8.  
Meschach-Götzis.  
Ansicht der Straßenquerung der Meschacher Antiklinale auf der Stützmauer „Fuchsfalle“ nach der Sanierung mit verankerten Lisenen und einer aufgenagelten Baustahlgitter-Spritzbetonschale.

Beispiel für die gelungene Sanierung von vielen, teilweise weit ausgebauchten und in Auflösung begriffenen Trockenmauerwerk-Stützmauern ist die bis 9 m hohe „Fuchsfalle“-Stützmauer kurz vor Meschach (Abb. 7, 8 und 9).

Diese bogenförmige Stützmauer quert den überkippten Liegendschenkel des kleinen Meschacher Gewölbes und wurde auf leicht verwitternden, tafelfallend geschichteten Amdenermergeln im Steilhang fundiert und mit handgeschmiedeten Bandankern in den Schrattekalk zurückgehängt.

Die an die Gesteinsgrenze Gault/Seewerkalk-Amdenerschichten gebundenen ganzjährigen Wasseraustritte und die Überlastung der Trockenmauer durch die Schwerfahrzeuge und Felsstürze aus dem oberhalb der Straße überhängenden Schrattekalk haben Anker abgerissen, die Mauer ausgebaucht und die Mauersteine lokal zerdrückt. Durch Aufnagelung einer durchgehenden Baustahlgitter-Spritzbetonschale mit Microsilikazusatz als Verwitterungsschutz,  $d = 10 \text{ cm}$ , auf die gesäuberte Bruchsteinmauer und die Anordnung von Stützrippen (Lisenen) aus armiertem Spritzbeton wurde die Stützmauer ausgesteift und mit Dauerankern in den festen Fels zurückgeankert. Dadurch können die Mauern zukünftig problemlos bei Bedarf unterfangen und die Straße durch Auflegen einer Betonplatte auf die Lisenenköpfe verbreitert werden.

Ähnliche Sanierungen wurden an allen Stützmauern ausgeführt, bei denen eine hangseitige Straßenver-

breiterung für die Bauzeit zur Umleitung des Verkehrs geländemäßig nicht möglich war.

#### 4.4. Kalkgesteinsabbau Sifeler – Weiler

In Hinblick auf die in 6–7 Jahren absehbare Erschöpfung des bisherigen Gesteinsabbaues Rötis der Rölfix Baustoffwerkges. m. b. H. wurde, an einen Vorschlag von R. OBERHAUSER im Raumplanungsgutachten 1973 anknüpfend, 1980 ein Vorprojekt für einen Gesteinsabbau in Form eines Kesselbruchs mit Erschließung über einen 800 m langen Tunnel ausgearbeitet (Abb. 10). Auf Grundlage einer Detailkartierung 1 : 500 mit umfangreichen Gefügeauswertungen wurden vergitterte Profilschnittreihen und Endzustandspläne in verschiedenen Abbauphasen ausgearbeitet und darauf aufbauend vom beauftragten Vermesser ein Abbaumodell verfertigt (Abb. 11). Dieses Modell, der umwelt- und anrainerfreundliche Erschließungsvorschlag mit einem aufwendigen Tunnel und die Vorlage von Abbauetappen und detailliert ausgearbeiteten Sprengabschlagsplänen sowie Erschütterungs-, Gefährdungs-, Lärm- und Staubimmissionsabgrenzungen waren entscheidend für den Erfolg der 1985 durchgeführten Gemeindevolksabstimmung und des 10 Jahre bis 1991 dauernden gewerbe-, landschaftsschutz- und forstrechtlichen Genehmigungsverfahrens durch alle Instan-

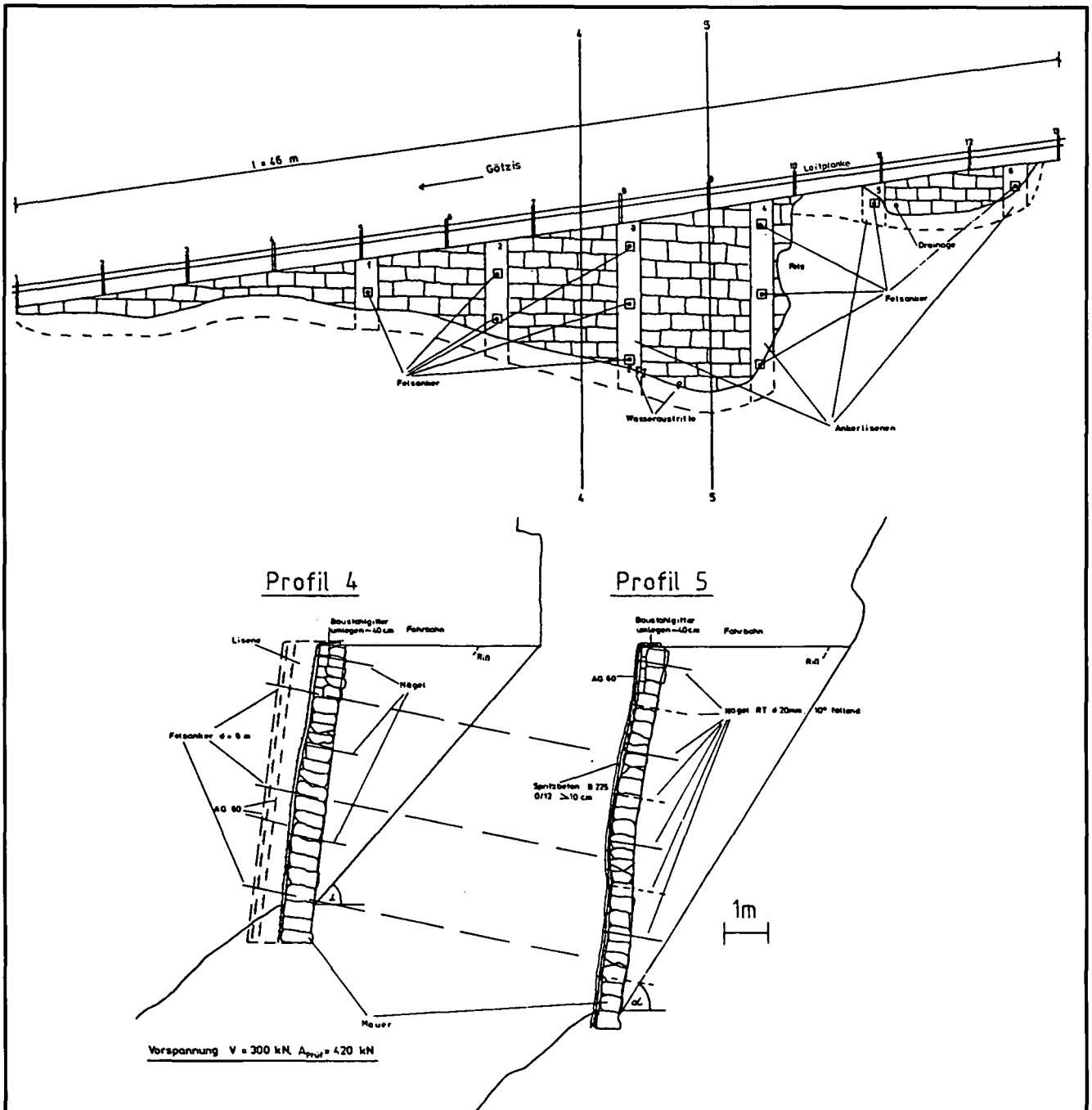


Abb. 9.  
 Meschach-Götzis.  
 Ausführungspläne der Maueranierung „Fuchsfalle“ mit Baustahlgitter, Microsilika-Spritzbeton, Mauernägeln und Dauerankern.

zen einschließlich Verwaltungs- und Verfassungsgerichtshof. Mit der Gesamtplanung und der Vertretung in den Verfahren wurde der Baugeologe ebenso betraut wie mit der Detailprojektierung, Ausschreibung, Bauüberwachung und Abrechnung des Zufahrtstunnels vom bestehenden Steinbruch aus zur Sohle des Kesselabbaues.

Beim Ausbruch des Tunnels wurden die ausgeschriebenen Gebirgsverhältnisse einschließlich der Lage der wasserführenden Störungen weitestgehend angetroffen und die äußerst kostengünstig angebotenen Ausbruchs- und Sicherungs- sowie Innenausbauarbeiten noch unter der Auftragssumme abgerechnet. Die einzigen Überraschungen waren einerseits das Anschneiden einer eng begrenzten, beutelförmig eingepreßten Amdenerschichten-Seeverkalk-Gault-Grünsandstein-Einmündung in die Schrat-

tenkalkstirn des Sifelerkopfes im rechten Hang der Malonsfurche im Portalbereich des Zufahrtstunnels, die bei der Kartierung unter der Schuttbedeckung nicht erkennbar war.

Andererseits wurde in den Drusbergschichten (!) und nicht, wie in der Prognose vorgesehen, im Schratkalk ein mit Wasser, Schlamm, Kies und Blockwerk angefülltes weitläufiges Karsthöhlensystem angefahren, das sich in den Tunnel entleerte. Dieses Höhlensystem steht mit der eiszeitlichen Schmelzwasserfurche von Malons in Verbindung und verursachte in dieser Setzungstrichter. Die seither verrohrt in den Tunnel austretenden, saisonal starken Wasserabflüsse bestätigen die von R. OBERHAUSER postulierte, an Karste gebundene Bergwasserführung aus dem Gebirge in das Rheintalgrundwasser.

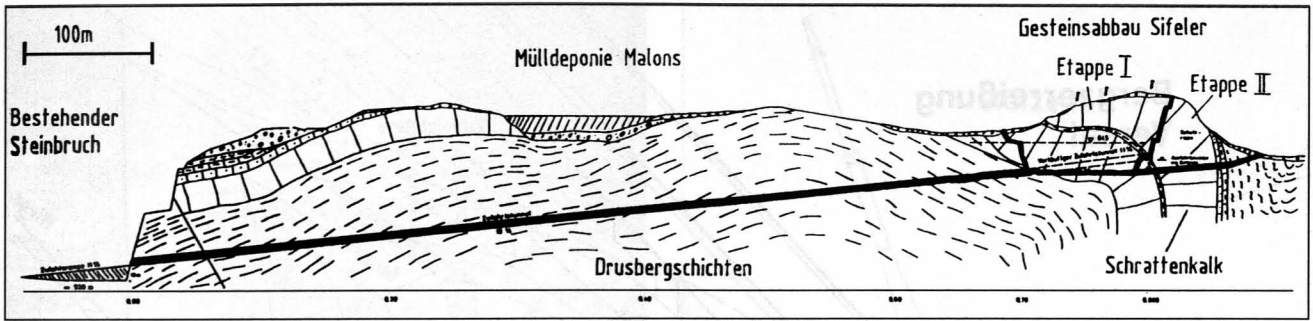
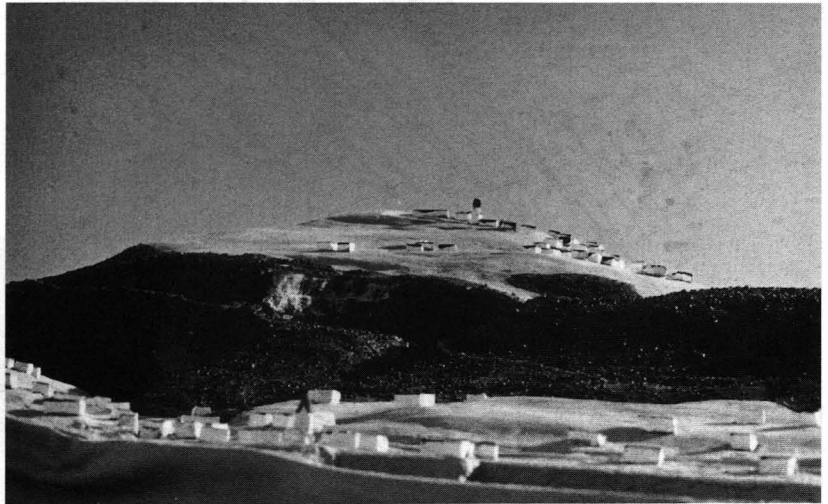


Abb. 10. Sifeler-Weiler/Röthis. Erschließungstunnel vom bestehenden Steinbruch Röthis aus und Kalkgesteinsabbau Etappe I kessel-förmig hinter einer Abschirmrippe sowie Endab-bauabschnitt II.

Abb. 11. Sifeler-Weiler/Röthis. Ansicht des Gipsmodells von Dipl.-Ing. MARKOWSKI im Abbaustand vor der Endsanierung von Weiler aus gesehen 1 : 2.000.



Der mit 10 % Steigung und einem Querschnitt von 35 m<sup>2</sup> sowie drei Ausweichen aufgefahrene Zufahrtstunnel ist bereits in Betrieb und der seit 1. 1. 1991 unter Aufsicht der Bergbehörde stehende Kalkgesteinsabbau in 4 Abbaustufen auf ca. 7 ha im Gange. Dabei bestätigt sich die prognostizierte starke Detailverfaltung und achsiale Wellung sowie glaziale Schliiffüberformung der Lagerstätte Sifeler mit einer genehmigten Abbaudauer von 30 Jahren und einem genehmigten Abbauvorrat von 3 Mio. m<sup>3</sup> Kalkgestein.

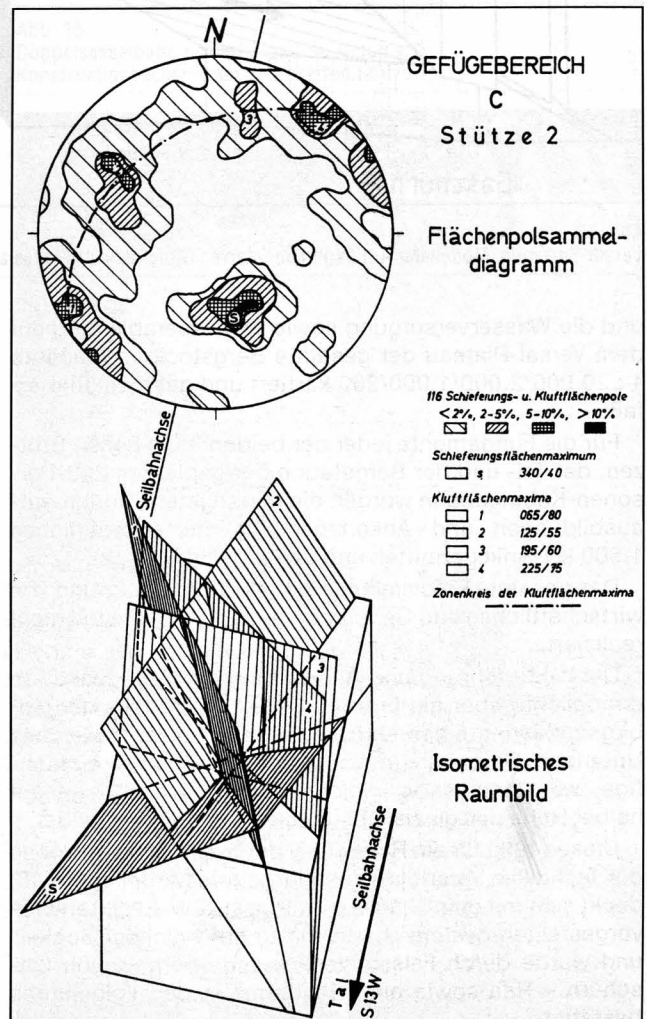
#### 4.5. Seilbahnen und Lifte

Durch das Vordringen der Freizeiteinrichtungen in zunehmend extreme Geländebeziehungen und durch den Zwang zu Kosteneinsparungen sind in den letzten zwei Jahrzehnten neue, umfangreiche Aufgaben für Baueologen entstanden. Über die wirtschaftlichen Vorteile der Heranziehung des Felsuntergrundes durch Felsanker anstelle von Beton-Schwergewichtsfundamenten für Stützen und Stationen wurde in der Seilbahnrundschau anhand von konkreten Beispielen berichtet (H. BERTLE, 1982, 386–388). Die Feststellungen, daß „gesunder Fels im Gesteinsverband belastbarer ist als unter hochalpinen Bedingungen eingebrachter Beton“ und daß „es widersinnig ist, gesunden Fels aus dem Verband herauszusprengen und durch schlecht verdichteten Beton aus Zuschlagstoffen, die aus dem durch Gewässer ins Tal transportierten Fels bestehen, zu ersetzen“, haben sich bei den in den letzten zwei Jahrzehnten bearbeiteten 40 Seilbahnen und Liften bestätigt.

##### 4.5.1. Pendelseilbahn Partenen – Versal

1974/75 wurde aufbauend auf der Kartierungs- und Gefügeauswertungsmethodik für Bauprojekte von OBERHAUSER – LOACKER für das Seilbahnprojekt Partenen – Versal sowie verschiedene Sportbahnen und Schlepplifte

Abb. 12. Versal-Partenen. Polpunkt- und isometrische Darstellung des geologischen Gefüges des Stützenstandortes 2 der Pendelseilbahn Partenen-Versal in Bezug auf die Seilbahnachse.



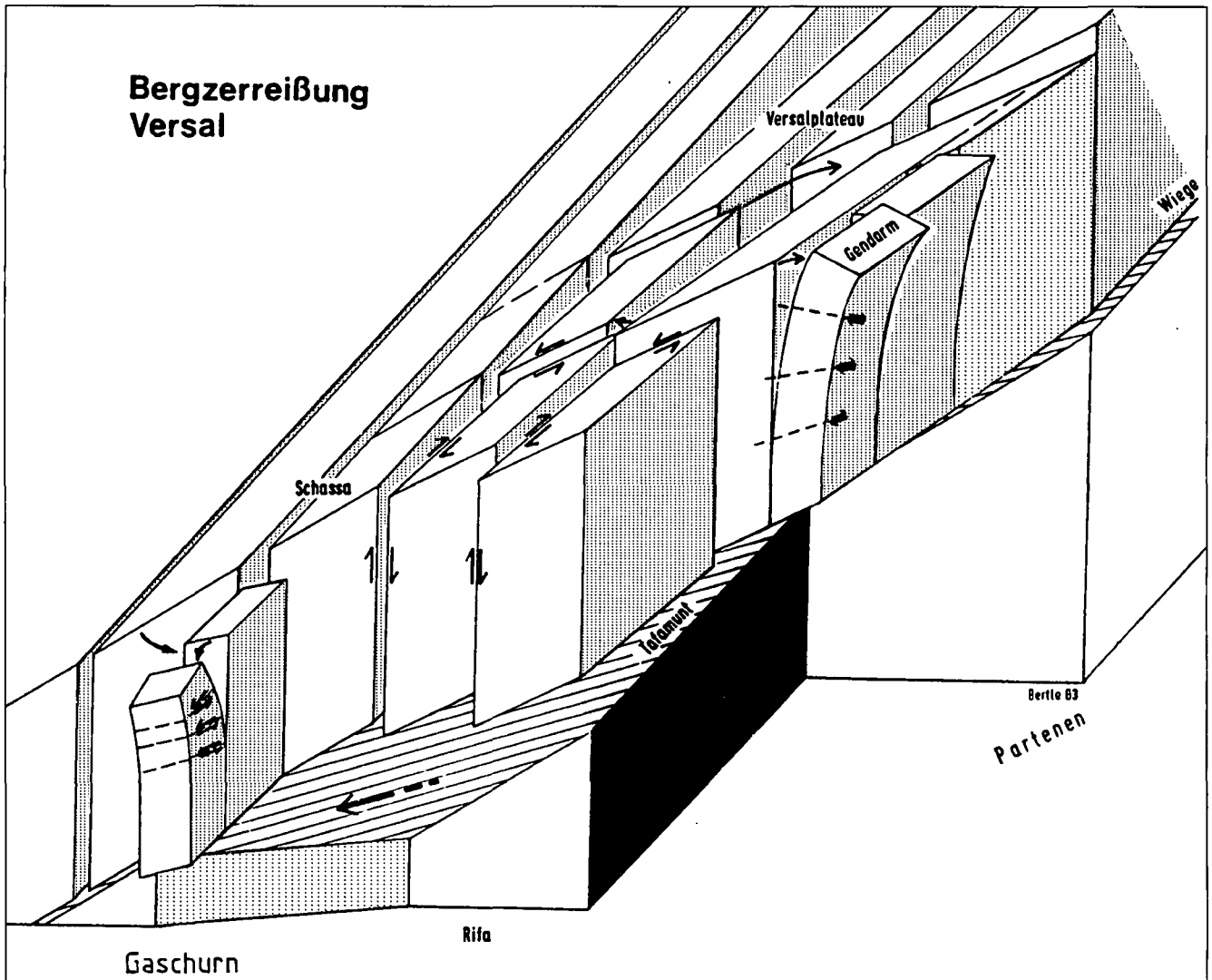


Abb. 13.  
Versal-Partenen: Modell der Auflösung der starren Gipfelplateau-Masse auf der weichen Glimmerschieferlage von Wiege-Tafamunt.

und die Wasserversorgung sowie Abwasserableitung auf dem Versal-Plateau der gesamte Bergstock im Maßstab 1 : 20.000/2.000/1.000/200 kartiert und gefügemäßig erfaßt.

Für die Fundamente jeder der beiden 35 m hohen Stützen, der Tal- und der Bergstation der geplanten 220-Personen-Kabinenbahn wurden die günstigsten Fundamentausbildungen und Ankerlagen für die erforderlichen 1.500 kN-Anker ermittelt und dargestellt (Abb. 12).

Das gesamte Erschließungsprojekt wurde aufgrund von wirtschaftlichen und Genehmigungsschwierigkeiten nicht realisiert.

Die Weiterführung und Auswertung der Gefügeanalyse ermöglichte aber die Erarbeitung eines Modells der Gebirgsauflösung eines starren Körpers auf einer weichen Unterlage. Diese wird im konkreten Fall durch eine mächtige, wasserstauende, weiche Glimmerschieferlage auf halber Höhe des glazial übersteilten Talhanges gebildet.

Dieses 1983 für ein Referat bei der 5. Universitätswoche der Technik in Vorarlberg ausgearbeitete Modell (Abb. 13) deckt sich mit dem 1988 von R. POISEL & W. EPPENSTEINER vorgestellten System „harte Platte auf weichem Sockel“ und wurde durch Felssturzereignisse oberhalb von Gaschurn – Rifa sowie am „Gendarm“ in den Folgejahren bestätigt.

#### 4.5.2. Schindlergratbahn St. Anton am Arlberg

Für die 1980 errichtete 1,5 km lange Doppelsesselbahn mit einem Höhenunterschied von 595 m vom Arlensattel durch die felsige Südwand auf den Gipfel der Schindler Spitze schlug der Generalunternehmer aufgrund des knappen Bautermines, der absehbaren Gründungsschwierigkeiten für viele Stützen in der Felswand sowie um Baukosten einzusparen, eine Fundierung mit vorgespannten Ankern vor.

Auf der Grundlage einer detaillierten stratigraphisch-petrographischen und Gefügaufnahme wurden für die exponierten Stützen in Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. WISSER Fundierungen über sparsame, mit jeweils einem kontrollierbaren, bis 12 m langen 1.000 kN-Anker im Fels verankerte Betonfundamente vorgeschlagen.

Die Abnahme der Aufstandsflächen und die Überwachung der Betonier- und Ankerarbeiten wurden dem Geologen übertragen.

Die regelmäßige Nachkontrolle der Ankervorspannungen dieser in besonders extremem Felsgelände gegründeten Personenseilbahnstützen seit über 10 Jahren hat die Lastannahmen und die Funktionsfähigkeit voll bestätigt (Abb. 14 und 15).





Abb. 14.  
Doppelsesselbahn Schindlergrat St. Anton a. A.  
Ansicht der verankerten Stützen in den Arlberg-  
schichten der Südostwand.

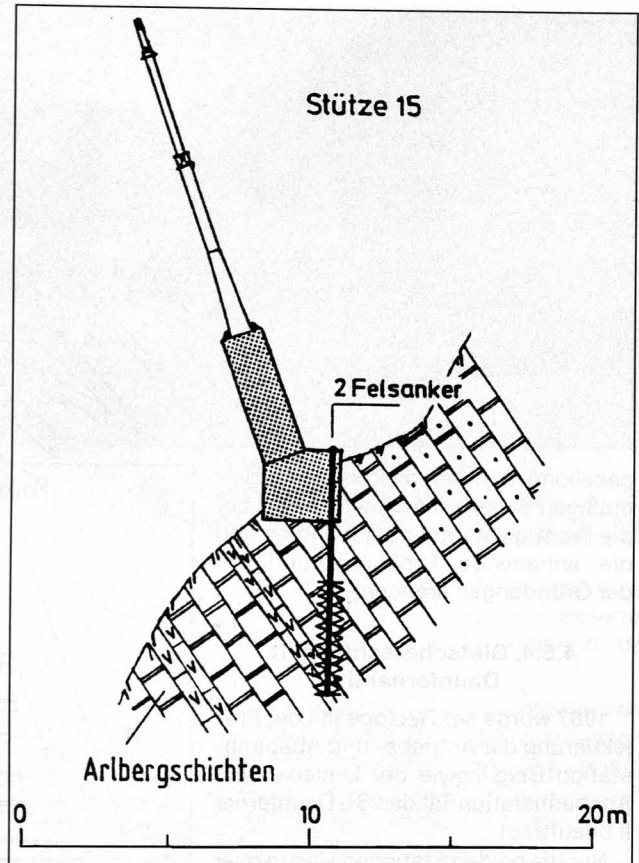
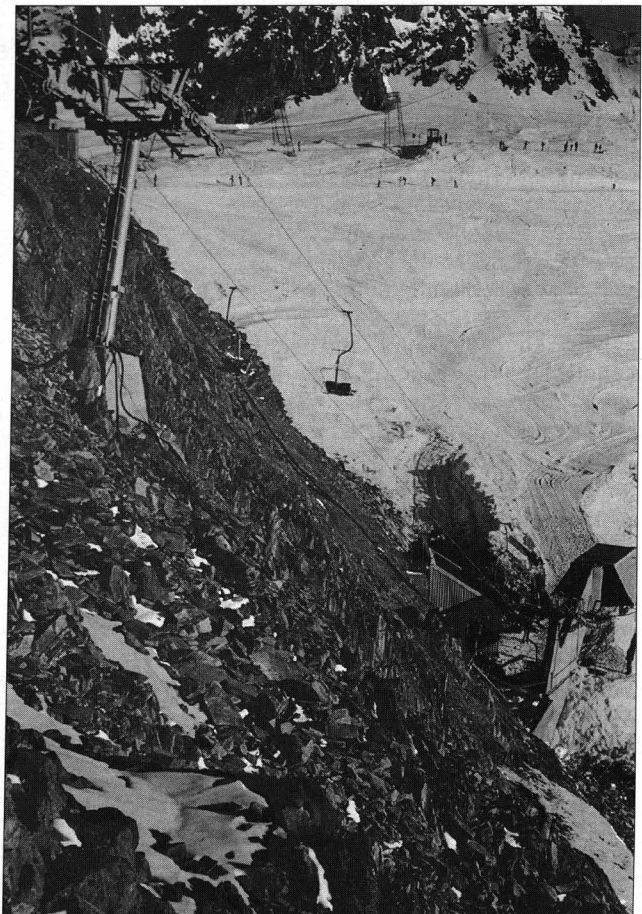


Abb. 15.  
Doppelsesselbahn Schindlergrat St. Anton a. A.  
Konstruktionsschema der verankerten Stütze 15.

#### 4.5.3. Doppelsessellift Daunferner – Stubai

Bei der Projektierung der Talstation dieses Liftes im Stubaier Gletscherschigebiet mußte festgestellt werden, daß der Fels überhängend tief unter den Gletscher abtaucht und keine normale Gründung erlaubt. Daher wurde der Geologe 1984 mit der Projektierung und der Abnahme der Ankerarbeiten für alle Stützen und Stationsfundamente beauftragt. Aufgrund der in einer Höhe von über 3.100 m im Gletschergebiet zur Verfügung stehenden kurzen Bauzeit und der späten Einschaltung des Geologen mußte die Grundlagenerhebung auf eine profilmäßige Gesteins- und Gefügeerfassung beschränkt werden. Gemeinsam mit Ing. R. BAUER wurde die Talstation als horizontal in der Randkluffelswand verankerte, über den Gletscher auskragende Betonpilzscheibe mit integrierter Ausfahrtstütze ausgebildet und die Stützen und die Bergstation einschließlich Ausstiegsrampe mit unter der tiefgründig eisdurchsetzten Auflockerungsschwarte in Felsgroßschollen verankerten Einzelfundamenten gegründet (Abb. 16 und 17). Das Versetzen der bis 11 m langen und auf 150–650 kN vorgespannten Daueranker im eisdurchsetzten und ganzjährig gefrorenen Fels verursachte unvorher-

Abb. 16. ⇒  
Doppelsesselbahn Daunferner I (Stubaier Gletscher-Schigebiet).  
Blick in die aufgelösten Glimmerschiefer und Biotitschiefergneise der  
Bildstöckeljoch-Südwand mit Talstation und Seilbahnstützen.



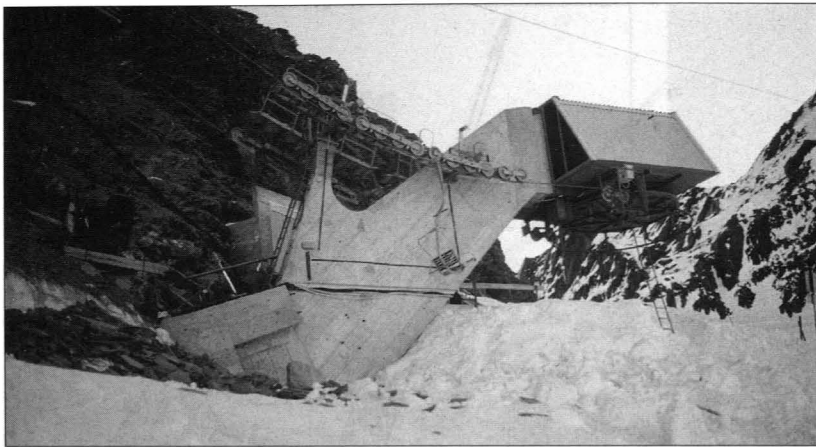


Abb. 17.  
Doppelsesselbahn Daunferner I  
(Stubai Gletscher-Schigebiet).  
Horizontal im Quarzitgneis über die Randklufft aus-  
kragend geankerte Talstation.

Abb. 18.  
Gletscherschlepplift Daunferner II  
(Stubai Gletscher-Schigebiet).  
Modellskizze, Kluff-, Lage- und Kräftesystem der  
Stand sicherheitsuntersuchung der Antriebs- und  
Abspannstation Berg.

gesehene Schwierigkeiten. Die regel-  
mäßigen Ankerkontrollen haben aber  
die Richtigkeit der Lastannahmen und  
die anhaltende Funktionstüchtigkeit  
der Gründungen ergeben.

#### 4.5.4. Gletscherschlepplift Daunferner II

1987 wurde der Geologe mit der Pro-  
jektierung der Antriebs- und Abspann-  
station Berg sowie der Umlenk- und  
Abspannstation Tal des SL Daunferner  
II beauftragt.

Nur die beiden Stationen sind in quer  
zur Seilachse steil abfallenden Fels-  
wänden fundierbar, während die Stüt-  
zen auf dem Gletscher schwimmen  
und über das Abspannseil in den Stüt-  
zenköpfen in ihrer Lage gehalten wer-  
den. Zum Zeitpunkt der Beauftragung  
im Winter waren am Standort der Berg-  
station in der mit 50°–60° abfallenden  
Eisflanke nur einige kleine Felszacken  
zu sehen und einmeßbar, die eine  
steinschlaggefährdete steile Felsrippe  
erwarten ließen, während der mit  
75°–85° zum Gletscher abfallende Tal-  
stationsbereich gut aufgeschlossen  
war. Die Stationsfundamente ein-  
schließlich Trafo und Steinschlag-  
schutzwand bzw. -netz mußten durch-  
wegs horizontal über Reibung in den  
mit dem Hang bzw. steiler als dieser  
talwärts fallend geschieferten Glim-  
merschiefern und Gneisen mit Anker  
von 8–12 m Länge, Vorspannung  
100–600 kN, geankert werden.

Nach der gemeinsam mit Ing. R. BAU-  
ER ausgeführten Projektierung und Be-  
messung zeigte sich bei der Ausape-  
rung sowie beim Sprengabtrag der  
Eisflanken, daß insbesondere die Fels-  
rippe der Bergstation überhängend un-  
ter den Gletscher einfällt und von offen  
klaffenden, eisgefüllten und aus dem  
Hang frei austretenden Klüften durch-  
setzt wird. Nach Versetzen der Anker  
und Fundamente erfolgten noch vor  
der Stahlmontage erste Felsabbrüche  
neben den Bergstationsfundamenten.

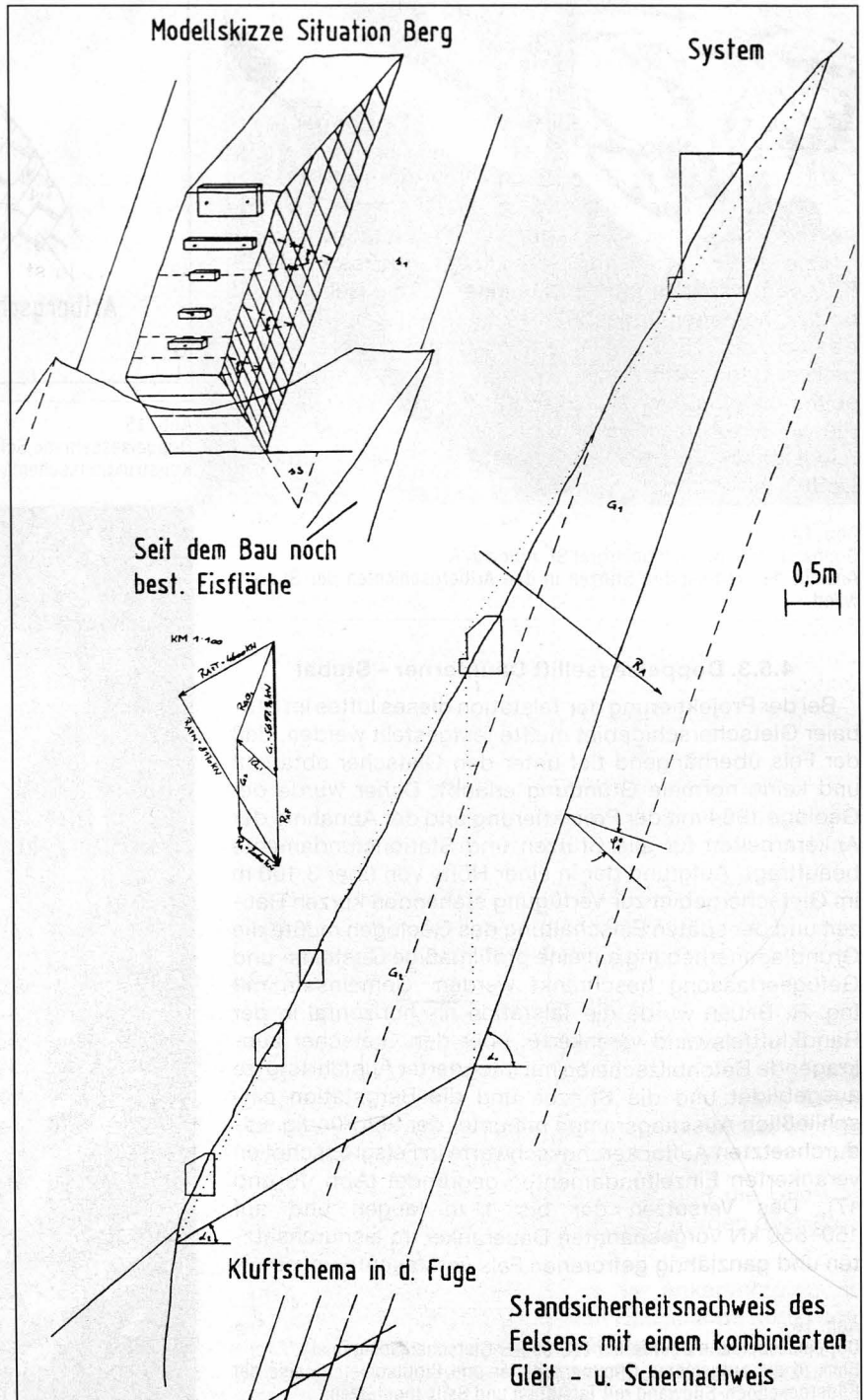




Abb. 19. Gletscherschleplift Daunferner II (Stubai Gletscher-Schigebiet). Horizontal verankerte Bergstation mit Antrieb, Abspannung und Trafo.



Die Stabilitätsberechnung durch den von der ausführenden Baufirma verständigten, projektierenden Geologen zeigte, daß für den Nachweis der Geländebruchsicherheit der Talstation und des Gesamterkers der Bergstation die Scherfestigkeit auf der wahrscheinlichsten Scherfläche maßgeblich und derzeit gegeben ist. Für die verankerten Einzelfundamente der Bergstation und den Gesamterker der Bergstation ist jedoch die Gleitsicherheit auf den teilweise geöffneten und eisgefüllten Schieferungsfugen sowie einer zugeordneten Gleitfuge im unterliegenden Eisabtragsbereich maßgeblich und nicht mehr gegeben, wenn die Enteisung weiter fortschreitet (Abb. 18, 19). Daher konnte die für die Beförderung von Personen erforderliche Sicherheit der Liftanlage als Voraussetzung für die behördliche Betriebsbewilligung nicht bestätigt werden. Trotz wirtschaftlichen und terminlichen Druckes wurde die Freigabe erst nach Ausführung einer auf die Belastungen und Sicherheiten abgestimmten, aufwendigen Sicherung des gesamten Felserkers der Bergstation mit drei Ankerbalken und zusätzlichen Einzelankerungen erteilt. Die seither durchgeführten Ankerspannungskontrollen sowie die weiter fortgeschrittene Enteisung in den Stationsbereichen haben die Notwendigkeit und Richtigkeit der getroffenen Maßnahmen bestätigt.

Die Bauverfahren im Stubai, Ötztaler, Kaunertaler und Hintertuxer Gletschergebiet zeigen die überdurchschnittliche Problematik und die großen Risiken auch und besonders für den Baugeologen von Fundierungen im Permafrostbereich mit schlechten Aufschlußverhältnissen, extremen Geländesituationen, tiefgründigen Felszerlegungen und kurzen Bauzeiten sowie schwierigen Antransport- und Baubedingungen.

#### 4.5.5. Lawinensprengseilbahnen

In den letzten Jahren werden in den Alpen als Alternative zu Stützverbauungen, Lawinendämmen und Lawinen-

sprengungen vom Hubschrauber aus oder von Hand zunehmend Lawinensprengseilbahnen zur portionierten Entladung von Lawinenhängen bereits während der Schneefälle errichtet.

Naturgemäß sind dafür meistens Stations- und Stützenstandorte in steilem Gelände oft an extrem unzugänglichen, felsigen Standorten erforderlich. Da diese Sprengseilbahnen geringe Anlagekosten haben und keine bzw. nur eine Umwegrentabilität ergeben, ist der Zwang zur Kosteneinsparung bei den Gründungen gegeben.

Daraus entstand die Anforderung, den mit Hubschraubern teuer einzufliegenden Fundamentbeton durch aushub-, beton- und landschaftssparende, verankerte Fundamente zu ersetzen und in Hinblick auf die Verwendung als ausschließliche Materialbahnen ohne Personenbeförderung einfache und billige Anker- und Fundamentlösungen zu finden.

Nach ersten Fundierlösungen ähnlich den bei den Personenseilbahnen bewährten 1985–1989 in Lech, Rauz und Stuben-Albona werden seither vom Autor zeit- und kostensparende Methoden der Standortfestlegung, -beurteilung und Gefügeerfassung, der Fundierungsbemessung und der Bauplanausfertigung entwickelt. Beispiele für die rationalisierte Direktverankerung im extremen Gelände sind die 1990/91 errichteten „Lawinensprengseilbahnen Seilbahnrinne und Kaminspitzen“ an der Nordkette

oberhalb von Innsbruck mit insgesamt 2,7 km Länge und 15 Stützen (Abb. 20 und 21). Die Stützen und Antriebsstationen dieser Anlage erforderten insgesamt nur 23 m<sup>3</sup> Beton und 76 Tenax-Anker von 2–4 m Länge, die bis 300 kN vorgespannt wurden.

Diese vom Zwang zur Rationalisierung diktierte Arbeits- und Gründungsweise ist weit von der Arbeitsmethodik von R. OBERHAUSER entfernt. Die über baustahlgitter-armierte Ausgleichsbetonsockel direkt mit Seilbahnankerschrauben im Fels verankerten Stahlstützen sowie die durch In-



Abb. 20. Lawinensprengseilbahn Kaminspitzen (Nordkette Innsbruck). Horizontal verankertes Stützenfundament im Bauzustand.

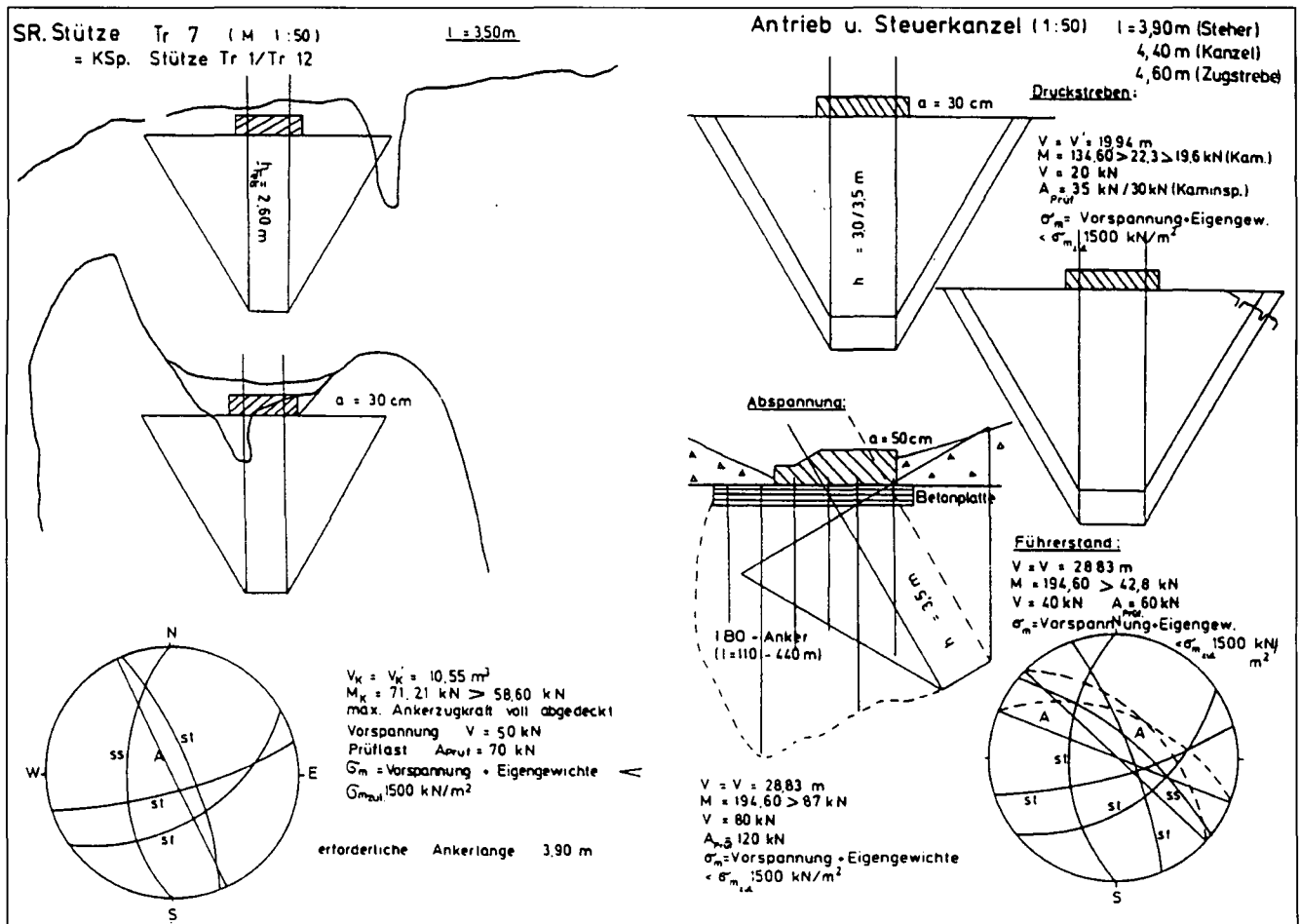


Abb. 21. Lawinensprengseilbahn Kaminspitzen (Nordkette Innsbruck): Konstruktions- und Bemessungspläne der Fundamente von Antriebsstation (Injektionspfahl-Ortbetonplatte) und einer Seilbahnstütze (verankertes Ausgleichsfundament).

jektionsanker ohne in frostfreie Tiefe reichende Baugrubenaushübe ausgeführten „Ortbetonsockel“ für die Antriebsstationen haben ihre Funktionstüchtigkeit während 1–2 Winter bereits bei extremen Schneedruck- und Windbelastungen bestätigt. Die Weiterentwicklung dieser rationalisierten Gründungen auch für Lockermaterialstandorte ist in Arbeit.

Gerade die Projekts- und Bauüberwachungsarbeit für Seilbahnanlagen mit ihren Rationalisierungszwängen sind Anlaß für die ständige Rückbesinnung auf die Mahnung von R. OBERHAUSER, die Geländekartierung und Gefügeaufnahme als solide, risikenmindernde Grundlage der Baugeologie nicht zu vernachlässigen. Im Bewußtsein der Richtigkeit dieser Mahnung und als ehrlich verstandenes Zeichen des Dankes ist die Darstellung meines „Lehrers“ Dr. Rudolf OBERHAUSER in Abb. 22 zu verstehen.

### Literatur

AMPFERER, O.: Geologisches Gutachten für den Ausbau des Lünzerseewerkes. – Unveröff. Gutachten, Archiv Vorarlberger Illwerke, 51 S., 29 Abb. und Prof., Wien 1940.

AMPFERER, O.: Bericht über die geologischen Verhältnisse an der Arlbergbahn in der Umgebung des Gipsabbaues zwischen den Stationen Wald und Dalaas mit sechs geologischen Zeichnungen. – Unveröff. Gutachten, Archiv ÖBB, 6 S., Innsbruck 1946.

AMPFERER, O. & ASCHER, H.: Über geologisch-technische Erfahrungen beim Bau des Spulerseewerkes. – Jb. Geol. B.-A., 75, 365–422, 27 Fig., 8 Taf., Wien 1925.

BERTLE, H.: Vorgespannte Felsanker für Sesselbahnen – eine wirtschaftliche Konstruktionsalternative. – Internationale Seilbahn-Rundschau, 7/1982, 386–388, 5 Abb., 1 Tab., Wien 1982.

KRASSER, L.: Geologische Karte des Walgaus im Bereich der Wasserkraftwerke „Untere Ill“ mit Farben- und Zeichenerklärung. – Unveröff. Karte, Archiv Vorarlberger Illwerke, Bregenz 1948.

LOACKER, H.: Geologische Beschreibung des Walgaustollens (Vorarlberg, Österreich). – Mitt. Öster. Geol. Ges., 78/1985, Wien 1986.

LUGEON, M.: Geologisches Gutachten über das Projekt einer Sperrmauer in Vermunt. – Unveröff. Gutachten, Archiv Vorarlberger Illwerke AG, 22 S. – Lausanne 1926.

MIGNON, K.: Ergebnisse der geologischen Stollenaufnahme für das Lünzerseewerk. Vorarlberg; Abschnitt Salomon – Latschau. – Jb. Geol. B.-A., 105, 49–64, 2 Taf., 1 Abb., Wien 1962.

MÜLLER, S. & LUGER, J. M.: Geologisch-technisches Gutachten über den projektierten Tunnel beim Holzbodeneck im Zuge der Hochtannbergstraße. – Unveröff. Gutachten, Archiv Landesstraßenbauamt Feldkirch, 5 S., 1 Abb., Feldkirch – Dornbirn 1935.

OBERHAUSER, R.: Zur Hydrogeologie des Vorarlberger Rheintales zwischen Feldkirch und Hohenems – Klien unter besonderer Berücksichtigung der Bergwasserzuflüsse. – Verh. Geol. B.-A., 1970, Wien 1970.

OBERHAUSER, R.: Geologisches Gutachten über das Gebiet des Walgaues nach Fragestellung der Raumplanung. Erstellt für das Amt der Vorarlberger Landesregierung. – Bibl. Geol. B.-A., Wiss. Archiv, Wien 1972.

OBERHAUSER, R.: Geologisches Gutachten über das Gebiet des Oberen Vorarlberger Rheintales nach Fragestellung der Raumplanung. Erstellt für das Amt der Vorarlberger Landesregierung. – Bibl. Geol. B.-A., Wiss. Archiv, Wien 1973.



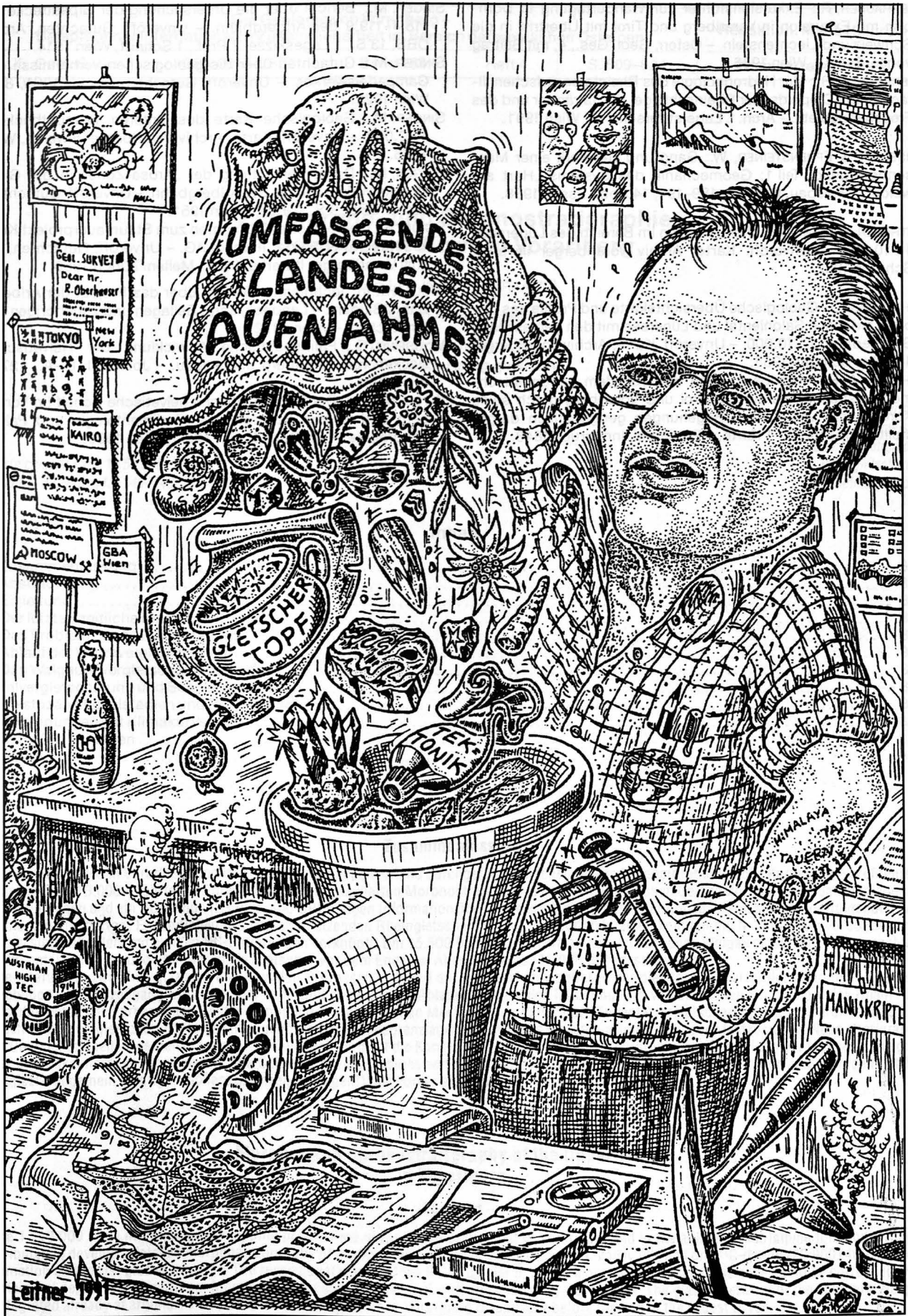


Abb. 22. Fließdiagramm der Geologischen Landesaufnahme in der Auffassung von Dr. R. OBERHAUSER.

- OBERHAUSER, R.: Exkursionsführer zur Wandertagung in Dornbirn mit Exkursion in Vorarlberg und Tirol mit Übertritt in die Schweiz und Liechtenstein. – Österr. Geol. Ges., **4**, mit Beitrag von H. BERTLE, Wien 1986.
- OBERHAUSER, R.: Zur Hydrogeologie des Rheintales zwischen Illfächer und Diepoldsauer Rheinschlinge, der Talränder und des Freschengebiets. – Arch. f. Lagerst.forsch., **13**, Wien 1991.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER, W.: Gang und Gehwerk einer Massenbewegung, Teil 1: Geomechanik des Systems „Hart auf weich“. – Felsbau, **6** (1988), 189–194, 14 Abb., Essen 1988.
- REITHOFER, O.: Geologischer Lageplan im Bereich des Lünensees 1 : 10.000. – Unveröff. Karte, Archiv Vorarlberger Illwerke, Schruns 1952.
- SCHMIDEGG, O.: Geologische Übersichtskarte und Profile des Gebiets zwischen Salontal und Lünensee mit den gemessenen Gefügedaten 1 : 10.000. – Unveröff. Karte, Archiv Vorarlberger Illwerke, Schruns 1953.
- SCHMIDT, A. R.: Vorarlberg; nach den von dem geognostisch-montanistischen Verein für Tirol und Vorarlberg durch seine Kommissäre veranlaßten Begehungen geognostisch dargestellt. – VIII+158 S., 1 Karte, 1 Profiltafel, Innsbruck 1843.
- SINGER, M.: Bericht über die Untersuchung der Gipsstrecke km 118,4–119,9 der Arlbergbahn. – Unveröff. Gutachten, Archiv ÖBB, 13 S., 1 Lageskizze, 7 Prof., 1 Schnitt, Wien 1914.
- SINGER, M.: Gutachten über die geologischen Verhältnisse des Gampadelswerkes. – Unveröff. Gutachten, Archiv VKW, 8 S., Wien 1922.
- SINGER, M.: Geologische Karte des Unteren Vermuntbeckens 1 : 2.000. – Unveröff. Karte, Archiv Vorarlberger Illwerke, Wien 1926.
- SINGER, M.: Die Untersuchung der „Arosa-Zone“ in der Gipsstrecke Wald – Dalaas der Arlbergbahn. – Unveröff. Gutachten, Archiv ÖBB, 9 S., 1 Beil., Wien 1951.
- STAUB, R.: Geologisches Gutachten zum Staumauerprojekt Kops 1959 der Vorarlberger Illwerke AG. – Unveröff. Gutachten, Archiv Vorarlberger Illwerke, 98 S., Meilen/Zürich 1960.
- WOLF, H.: In: Technischer Bericht über das Project der Arlberg-Bahn (Bludenz – Landeck) samt Beilagen und zugehörigen Actenstücken. – Wien 1872.
- WYSSLING, G.: Palinospastische Abwicklung der Helvetischen Decken von Vorarlberg und Allgäu. – Jb. Geol. B.-A., **127/4**, Wien 1984.
- WYSSLING, G.: Der frühkretazische helvetische Schelf im Vorarlberg und Allgäu: Stratigraphie, Sedimentologie und Paläogeographie. – Jb. Geol. B.-A., **129/1**, Wien 1986.