

Die Gestaltung von Böschungen in Lockermassen und in Fels

Hermann Brandecker



Land Salzburg

Für unser Land!

Impressum:

Verleger:

Land Salzburg, vertreten durch die Abteilung 6:
Landesbaudirektion, Geologischer Dienst
Postfach 527, 5010 Salzburg

Für den Inhalt verantwortlich:

Gerald Valentin

Grafik:

Hausgrafik Land Salzburg
(Umschlag, Vorwort, Laudatio und Tätigkeitsbericht)

Druck :

Hausdruckerei, Postfach 527, 5010 Salzburg

Juni 2002

Vorwort

Das Land Salzburg stellt aufgrund seiner naturräumlichen Gegebenheiten seit jeher ein reiches Betätigungsfeld für Geowissenschaftler dar. Erste Bergbautätigkeiten zur Gewinnung von Salz sind seit der Jüngerer Steinzeit bekannt. Die Entdeckung von Kupfer in der Bronzezeit beschleunigte die Entwicklung der Zivilisation. Heute stellt das Scheelitvorkommen im Felbertal die weltweit bedeutendste Wolframlagerstätte dar.



Das Land Salzburg ist zum Großteil dem alpinen Lebensraum zuzuordnen. Siedlungen und Verkehrswege sind daher einem natürlichen Gefährdungspotenzial durch Rutschungen, Steinschläge und Felsstürze ausgesetzt. Als geschichtlich bedeutendste Massenbewegung ist der Felssturz am Mönchsberg im Jahr 1669 zu nennen, bei dem 220 Personen den Tod gefunden haben. Die Anzahl der Wohnhäuser hat sich seit damals vermutlich potenziert, jedenfalls aber seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts vervierfacht. Geologen müssen heute als Risikomanager im Spannungsfeld zwischen naturräumliche Gefahren, Raumordnung, Politik und privaten Interessen agieren.

Die Geschichte des Tunnelbaus begann im Land Salzburg im Jahre 1130. Zur Wasserversorgung der Stadt Salzburg wurde der St. Peter Almstollen in mehrjähriger Arbeit durch den Mönchsberg vorgetrieben. Das Tunnelbauwerk ist so gut an die sehr wechselhaften Gebirgsverhältnisse angepasst worden, dass dessen Standfestigkeit bis zum heutigen Tag gewährleistet werden konnte.

Die Geotechnik und der moderne Tunnelbau erlebte nach dem Zweiten Weltkrieg in Salzburg ihre Geburt. Auf Anregung von Leopold Müller wurde der sogenannte „Salzburger Kreis“ gegründet, in welchem im interdisziplinären Zusammenwirken Probleme der Geotechnik diskutiert worden sind.

Untrennbar mit den geowissenschaftlichen Tätigkeiten im Land Salzburg ist auch der Name Hermann Brandecker verbunden. Heute Doyen in diesem Fachbereich, hat der Geologe Hermann Brandecker seit dem Jahre 1950 maßgeblich bei privaten und öffentlichen Bauvorhaben mitgewirkt. Zu den bedeutendsten Projekten zählen der Bau der Tauernautobahn, des Felbertauerntunnels und zahlreicher Wasserkraftanlagen. Aber nicht nur im praktischen Umgang mit Gesteinen und deren Eigenschaften konnte Hermann Brandecker seine Kompetenz unter Beweis stellen. Viele seine Publikationen gelten auch heute noch als Standardwerke der Angewandten Geologie.

Anlässlich des 80. Geburtstages von Herrn Hermann Brandecker und als Würdigung seiner Leistungen hat das Land Salzburg seine Arbeit „Die Gestaltung von Böschungen in Lockermassen und in Fels“ einer Neuauflage zugeführt. Ich übergebe dieses Buch mit Freude und Anerkennung dem Jubilar und dem interessierten Fachpublikum, als Beispiel verdienstvoller Arbeit und zur Ermunterung für künftige Aufgaben.

A handwritten signature in black ink, reading 'Walter Blachfellner'. The signature is written in a cursive, flowing style.

Walter Blachfellner
Landesrat

Der Geologe - Dr. Hermann Brandecker

Nach den Kindheits- und Jugendtagen in Oberösterreich musste der am 28.8.1922 in Windischgarsten geborene Hermann Brandecker die Wirren der Kriegsjahre von 1941 bis 1945 im Arbeitsdienst bzw. im Kriegseinsatz verbringen. Nach einem Lazarettaufenthalt in den letzten Kriegstagen entschloss sich Hermann Brandecker zu einem naturwissenschaftlichem Studium. Den ersten Studienjahren von 1945 bis 1947 an der Montanistischen Hochschule in Leoben folgte das Geologiestudium bei Prof. Metz an der Universität in Graz. Diese Jahre bis 1950 waren von harten Entbehrungen – erste Nächten auf Bänken in Eisenbahnwaggons, die Wintermonate 1947/1948 in einer ungeheizten und stromlosen Waschküche bis als erste Unterkunft ein 7 m² großes Gartenhaus bezogen werden konnte - aber auch einer bis heute andauernden Freundschaft zu seinen Studienkollegen (Helmut Flügel, Arthur Kröll, Viktor Maurin, Felix Ronner, Franz Schippeck u. a.), die sich in bis heute jährlich stattfindenden gemeinsamen Exkursionen zeigt, geprägt. Diese trugen mit der außergewöhnlichen Unterstützung seiner Professoren Metz, Heritsch und Schuppee viel dazu bei, dass trotz widriger Lebensumstände das Studium rasch absolviert wurde. Mit dem Abschluss seiner Dissertation - einer detaillierten und großflächigen geologischen Kartierung der Talklagerstätte Lassing und deren Umgebung sowie der anschließenden Analyse der Geländedaten u.a. anhand der damals gerade entwickelten Gefügekunde nach Sander - promovierte Hermann Brandecker am 3.10.1950.

Ausgestattet mit diesen Kenntnissen konnte Hermann Brandecker seinen weiteren Berufsweg im April 1950 bei Leopold Müller beginnen, der in dieser Zeit sein „Ingenieurbüro für Geologie und Bauwesen“ in Salzburg eröffnete. Dabei erlebte Brandecker 1951 das erste „Salzburger Kolloquium“, das sich unter der Führung von Leopold Müller in den Folgejahren zum jährlich stattfindenden „Salzburger Geomechanikkolloquium“ fortentwickelte.

Nach erfolgreichen Bearbeitungen verschiedener Projekte wie etwa der Sanierung der Festung Hohensalzburg, des Felbertauerntunnels, der Kraftwerkskavernen Braz, Ötztal und Sylvenstein begann 1952 die Zusammenarbeit mit dem später an die TU Graz berufenen Christian Veder. Die baugelogische Betreuung von Bohr- und Injektionsarbeiten an der Kamptalsperre Dobra, die Untersuchungen der Sperre Ottenstein, aber auch Bauleitungsaufgaben wie z. B. bei der Sanierung des Karawanken-Eisenbahntunnels fallen in diese Zeit.

Ein Angebot der SAFE, dem Salzburger Energieunternehmen, holte Brandecker nach Salzburg zurück: Die baugelogische Voruntersuchung und der Bau des Dießbach-Speichers im Steinernen Meer stand bevor. Brandecker konnte die Bedenken älterer Fachkollegen gegen diesen Speicherstandort in einem Karstgebiet aufgrund seiner geologisch-hydrogeologischen Erkenntnisse, aber auch



seiner Erfahrungen mit Sperrenabdichtungen entkräften, so dass der Sperrenbau und der Aufstau erfolgreich realisiert werden konnte. Nachfolgenden Verlockungen von Berufungen an Institute im Ausland widerstand Brandecker auch aufgrund seiner Verbundenheit mit den Bergen.

Im Jahr 1957 folgte der damals ungewisse Schritt in die Selbständigkeit: Über Empfehlung von Schadler, dem früheren oberösterreichischen Landesgeologen, begann seine Mitarbeit bei der Realisierung des Österreichischen Autobahnnetzes. Für die Voruntersuchung der 36 km langen Strecke Mondsee - Seewalchen waren bis zu 20 Bohrgeräte im Einsatz, die baugologisch zu betreuen waren. Damit war der Anfang zu einer außergewöhnlichen baugologischen Bearbeitung des österreichischen Autobahnnetzes gesetzt. In den Folgejahren bewies Brandecker mit der baugologischen Betreuung von Innkreis-, Mühlkreis-, Pyhrn-, Süd-, Tauernautobahn und der Semmering Schnellstrasse seine außerordentliche Fähigkeit, geologische Phänomene rasch zu erfassen und in bautechnisch verständlichen Modellen des Baugrundes darzulegen. Nicht alle Projekte, für die Brandecker als baugologischer Bearbeiter zeichnet wie z. B. der Talübergang Schottwien, die Bogenbrücke Gigerach über die Salzach, 50 m hohe Kühltürme in stark tektonisierten Kalken des Pyrenäenvorlandes und verschiedenste Tunnelbauwerke des Salzburger und Oberösterreichischen Strassennetzes, können hier angeführt werden.

Brandeckers besondere Vorliebe, der er bis heute - nunmehr in Zusammenarbeit mit seinem Sohn Harald - frönt, gilt der Hydrogeologie. Mit den Voruntersuchungen, die zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung des Grossraumes Salzburgs dienten, machte er sich weithin bekannt und ist auch heute noch eine unbestrittene Autorität auf diesem Fachgebiet.

In der vorliegenden Kurzdarstellung seines Lebensweges können natürlich nur einzelne fachliche Leistungen und Erfolge von Dr. Hermann Brandecker angeführt werden. Als einer derjenigen, die das Glück hatten, die ersten Berufserfahrungen unter seiner Mithilfe und Unterstützung zu sammeln, ist es mir ein besonderes Anliegen, auch den Menschen Hermann Brandecker hervorzuheben. Trotz aussergewöhnlichen fachlichen Kenntnissen und dem genialen Verständnis für die Erfassung und Darstellung der Eigenschaften des Baugrundes für den Bauingenieur ist Hermann Brandecker seinem bescheidenen, unkomplizierten und ungekünstelten Wesen treu geblieben. Seine vorbehaltlose Zusammenarbeit mit anderen Fachdisziplinen, die sehr viel zur Akzeptanz der Baugologie im Bauwesen beigetragen hat, vor allem aber seine Herzlichkeit im Umgang mit seiner Familie und seinen Freunden und seine Aufgeschlossenheit gegenüber allem Neuen sind nur einige der Wesenszüge, die ihn auszeichnen.

Zu seinem Jubiläum wünsche ich ihm an dieser Stelle noch viele Jahre im Kreise seiner Familie und Freunde, aber auch die Zeit und die Freude an seinen Hobbys wie auch der Erkundung fremder Länder.

Dieter Bechtold

DR. PHIL. HERMANN BRANDECKER

ÜBER 50 JAHRE BERUFLICHE TÄTIGKEIT

1950 bis 1952: Angestellter beim Ingenieurbüro für Geologie und Bauwesen
(Dipl.-Ing. Dr. L. MÜLLER, Salzburg)

Bau- und hydrogeologische Bearbeitungen:

- ÖBB-Kraftwerkskaverne Braz / Vorarlberg
- Speicherprojekt Huben - Ötztal / Tirol
- Kavernenprojekt - Ötztal / Tirol
- Sanierung Festung Hohensalzburg
- Speicherprojekt Schönenbach / Vorarlberg
- Krafthaus Taxenbach / Salzburg
- Brunnenfeld Bischofswald / Salzburg
- Felbertauerntunnel / Salzburg - Osttirol
- Wasserkraftanlage Sylvenstein / Bayern
- Baugrundbegutachtungen

1952 bis 1954: Angestellter bei der Firma ICOS (Dipl.-Ing. Dr. Ch. VEDER, Mailand - Salzburg)
Als Geologe und Bauleiter:

- NEWAG-Kamptalsperren Dobra und Ottenstein samt Untertagebauten
- Wehranlage Waidhofen / Ybbs
- Felssicherungen für diverse ÖBB-Strecken
- Donaukraftwerk Jochenstein
- Stollentrassen Kraftwerk Lünersee und Speicher Latschau
- Sanierung ÖBB-Karawankentunnel
- div. Baustellen im norditalienischen Raum

1954 bis 1957: Angestellter bei der Salzburger AG für E-Wirtschaft (SAFE)

Ingenieurgeologische Bearbeitungen und Beratungen für Wasserkraftprojekte und deren Baudurchführung: Wahl von Sperren- und Krafthausstandorten sowie Stollentrassen; Untergrundabdichtungen von Stauräumen und Sperrenstellen; Gründung von Krafthäusern, Druckrohrleitungen; Baugeologische Dokumentationen

■ **Wasserkraftwerke:**

- Dießbach / Pinzgau
 - Rotgüldenensee / Lungau
 - Mur - Plölitzen / Lungau
 - Projekte Saalachstufen: Lofer - Reith - Unken / Pinzgau
 - Bockartsee
- Hochbauten, Schaltstationen und Hochspannungs-Leitungen

Seit 1957: Freischaffender Geologe / Berater für Angewandter Geologie:

A) Autobahnen / Schnell- und Bundesstraßen samt Brücken- und Tunnelstrecken

In Projektierungsphase und tw. bei Bauausführung:

Beratungen und Empfehlungen zur Trassenwahl für Freiland- und Tunnelstrecken; Beurteilung der Standsicherheit von geologisch problematischen Geländeabschnitten; Entwurf von Böschungen und Sicherungsmaßnahmen; Projekte für Grundwasser- Entwässerungen; Begutachtungen von Brückengründungen sowie baugewissliche Tunnel-Prognosen und -Aufnahmen (Dokumentationen):

Autobahnen:

- West Autobahn Mondsee - Seewalchen / Attersee
- Innkreis Autobahn Wels - Suben
- Mühlkreis Autobahn Linz - Gallneukirchen (-Freistadt)
- Pyhrn Autobahn Selzthal - Spital / Pyhrn - Windischgarsten (mit Bosrucktunnel)
- Süd Autobahn Graz - Gleisdorf
- Tauern Autobahn:
 - Salzburg - St. Michael / Lungau
samt Tunnel : Ofenauer-, Hiefler-, Brenten-, Zetzen- und Helbersberg sowie Tauerntunnel
 - Liesertal: Rennweg - Gmünd / Kärnten
hs. bestehend aus Talübergängen und Hangbrücken
(zus. mit o.Univ.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. H. BRANDL, TU Wien und Mitarbeiter: Dr. M. MOSER, Dr. W. FÜRLINGER, Salzburg)
- Pyhrn Autobahn: Windischgarsten - Kirchdorf
Für Projekt: Empfehlungen zur Trassenwahl der Freiland- und Tunnelstrecken (Laimberg, Tunnelkette AS Hinterstoder - AS Klaus, Hungerbichl und Galgenberg Tunnel)
tw. mit BVFS Salzburg (Dipl.Ing.Dr. H. BREYMANN und Dr. D. BECHTOLD)
- Semmering Schnellstraße mit Talübergang Schottwien und Tunnelvarianten (zus. mit Prof.Dipl.-Ing. G. PÜCHL, Wien; o.Univ.Prof.Dr. G. RIEDMÜLLER, TU Graz; Prof.Dr. B. SCHWAIGHOFER, BOKU Wien)

Bundesstraßen:

- Salzachtal: Paß Lueg - Werfen - Bischofshofen - Taxenbach mit Unterstein-Brücke
- Fritzachtal: Kreuzbergmaut - Hüttau (Salzburg)
- Gasteinertal: Lend - Bad Gastein (mit Gigerach-Bogenbrücke und Klammtunnel)
- Salzkammergut-Bundesstraße: Traunkirchen - Ebensee (mit Traunkirchner und Sonnstein Tunnel); Oberösterreich
- Eisen-Bundesstraße / Steiermark / Oberösterreich (zus. mit Prof.Dipl.-Ing.Dr.hc PACHER)
- Ybbstal-Bundestraße mit Umfahrung Waidhofen / Ybbs / Niederösterreich
- Wolfgangsee-Bundesstraße: St. Gilgen - Strobl / Salzburg
- Umfahrung Hallstatt (samt Tunnel) / Oberösterreich
- Umfahrung St. Wolfgang samt Tunnel (Mitarbeiter Dr. J. KLEBERGER) / Oberösterreich
- Umfahrung Bad Ischl mit Kaiserparktunnel (Mitarbeiter Dr. W. FÜRLINGER) / Oberösterreich
- Zell am See - Schüttdorf; Salzburg
- Lamprechtshausener Bundesstraße: Salzburg - Oberndorf: 12 Objekte
- Rauriser Straße (mit Salzach-Bogenbrücke)
(Salzburger Projekte tw. in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Dienst der ASLR)

Insgesamt erstreckten sich die baugewisslichen Beratungen bzw. Betreuungen einschließlich Dokumentationen über ca.

300 km Autobahnen und Schnellstraßen

150 km Bundes- und Landesstraßen

35 km Tunnelstrcken

250 Brücken

Außer den oben aufgelisteten Arbeitsbereichen wurden einige Hundert kleinere Untersuchungen und Begutachtungen für Bundes- und Landesämter, Gemeinden Industriebetriebe und Private durchgeführt.

B) Kraftwerksbauten

Die geotechnischen Begutachtungen umfaßten Empfehlungen über die Standortwahl für Sperrenstellen, Krafthäuser, Kavernen und Wasserschlösser sowie Linienführungen von Stollentrassen (insgesamt mehr als 100 km); Bearbeitungen und geologische Dokumentationen für Stauraum- und Sperren-Untergrundabdichtungen samt Durchlässigkeitsuntersuchungen, Gründungen von Objekten.

a) Ausgeführte Anlagen

SAFE:

KW Bockartsee - Böckstein / Gastein (Projektierung: SIEMENS)

KW Rieding - Zederhaus / Lungau (Mitarbeiter Dr. D. BECHTOLD; Projektierung: Dipl.-Ing. H. WÖLFLE)

KW Mur - Rotgüldensee / Lungau (Projektierung: Dipl.-Ing.Dr. FLÖGL)

KW Krimml - Wald / Pinzgau (Mitarbeiter Dr. D. BECHTOLD; Projektierung: Dipl.-Ing. MÜHLBERG)

KW Urstein / Salzach (Projektierung: Dipl.-Ing.Dr. FLÖGL)

KW Sohlstufe Hallein / Salzach (Projektierung: Dipl.-Ing.Dr. FLÖGL)

KW Böckstein - Remsach / Gastein (Mitarbeiter Dr. D. BECHTOLD)

KW Hollersbach

SAFE und TKW (Tauernkraft):

KW St. Johann im Pongau

KW Urreiting

KW Bischofshofen

KW Kreuzbergmaut

KW Pfarrwerfen (Projekt)

TKW (Tauernkraft):

KW Wallnerau

KW St.Veit

Salzburger E-Werke:

KW Wiestal-Stausee

OKA (Oberösterreichische Kraftwerke AG):

KW Großarler Ache

STEWEAG (Steirische Kraftwerke AG):

Ennskraftwerke

b) Projekte

SAFE:

Saalbach - Maishofen (Saalach)

Tamsweg - Einach / Lungau - Steiermark (Mitarbeiter Dr. J. KLEBERGER)

Trattenbach - Mühlbach - Wald / Pinzgau (Mitarbeiter Dr. D. BECHTOLD)

Rotmoos (Käfertal) / Pinzgau

Dienten / Embach - Lend (Salzach)

Rotgülden - Hintermuhr / Lungau (1. Projektierungsphase)

OKA (Oberösterreichische Kraftwerke AG):

Teichl-Gebiet (Oberösterreich)

STEWEAG (Steirische Kraftwerke AG):
Hohentauern Speicher-Projekt

Fa. Kaindl:

KW Blühnbach - Imlau / Tennengau (Projektierung: Dipl.-Ing. WÖLFLE)

C) Industriebauten / Deponien / Sonstige

Baugeologische Begutachtungen hinsichtlich Untergrundverhältnisse, Standsicherheiten, Böschung-Sicherungen, Gründungsmaßnahmen, Wasserhaltung udgl.

- SAG-Lend / Salzburg
- Wärme-Kraftwerk Berga / Spanien
- Hallein Papier / Salzburg
- Öl-Pipeline TAL Triest - Ingolstadt
- Schmitten-Seilbahn / Zell a. See
- Gaisberg - Gipfelbahn (Studie zus. mit Dipl.-Ing. Harald BRANDECKER)
- Eisenbahnanlagen (z.B. Bahnhof Selzthal)
- ÖBB-Eisenbahnbrücke Salzach / Salzburg
- SALZBURGER WASSERWERKE: Speicher-Hochbehälter-Kaverne Kapuzinerberg
- Steinbrüche und Schottergruben

Deponien:

Beurteilung der mit der Sanierung von Altlasten und Errichtung von Sondermülldeponien verbundenen hydrogeologischen Fragen und Abdichtungsprobleme für Standorte in Oberösterreich und Salzburg (siehe auch GUS-Arbeit)

D) Wasserversorgungen

vorwiegend für Grundwassergewinnungen durch Tiefbrunnen, Quellfassungen und Trinkwasserstollen

- Hydrogeologische Basisuntersuchungen (Kartierungen)
- Ermittlung bodenphysikalischer und geohydraulischer Parameter
- geohydraulische Berechnungen
- Aufnahme von Quellen
- Prospektionen auf Trinkwasserreserven
- Standortwahl für Grundwasserentnahmen und Beurteilung der Entnahmemengen
- Schutzgebietsausweisungen
- Ausschreibungen von Aufschluß- und GW-Bohrungen
- Beweissicherungen

Österreich:

Salzburger Stadtwerke:

Wasserwerk Bischofswald (als Mitberater Büro Dr. MÜLLER)

Wasserwerk St. Leonhard - Grödig (hydrogeologischer Berater; in Zusammenarbeit mit Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. NEMECEK, TU Graz)

Stadt Hallein:

Wasserwerk Gamp und Rehhof-Brunnen (hydrogeologischer Berater für Dipl.-Ing. H. STRASCHIL)

Sonstige (Auswahl):

Stadt Tamsweg, Saalfelden, Bad Gastein (z.T. mit Thermalquellen), Mauterndorf, Krimml, St. Johann / Pongau, Schwarzach, Bischofshofen, Kirchdorf (und mehr als 100 kleinere Anlagen)

Wasserverband Salzburger Becken:

Trinkwassergewinnungen im Südlichen Salzburger Becken, Lammertal, Bluntatal und Tennengebirge (zus. mit Univ.-Prof.Dr. V. MAURIN, Graz)

Bayern (zus. mit Dipl.-Ing. Harald BRANDECKER):

Stadt Freilassing:

Brunnenanlagen Tiefenthal (Patting - Weng)

Zweckverband zur Wasserversorgung der Surgruppe:

Brunnenanlagen Tiefenthal (Kothbrünning - Patting - Straß)

Brunnenanlage Gemach

Brunnenanlagen Haunerting - Weibhausen

Brunnenanlage Vogling

Trinkwasserquellen Teisenberg (mit Projekt Wasserkraftnutzung)

Projekte: Brunnthal, Freidling, Moosen, Surtal, Kaltenbach

Zweckverband zur Wasserversorgung der Otting-Pallinger-Gruppe:

Brunnenanlage Palling

Brunnenanlage Sieberöd

Brunnenanlage Palling-Süd / Bitterstein (Projekt)

Stadt Laufen:

Brunnenanlage Lauterbrunn

Projekt Brunnenanlage Haslachwald

Gemeinde Piding / Bad Reichenhall:

Staufen-Schloß-Quellen

Zweckverband zur Wasserversorgung der Achengruppe:

Brunnenanlagen Eging, Petting und Ollerding

Brauerei Wieninger, Teisendorf:

Untersuchung und Begutachtung bestehender Wasserversorgungen sowie Prospektion von Trinkwasser-Vorratsgebieten

Stadt Traunreut:

Basisuntersuchungen zur Versorgungssituation

Gemeinde Bischofswiesen:

Begutachtung Trinkwasserquellen mit Schutzgebietsausweisungen für Karstquellen

Markt Berchtesgaden:

Begutachtung Trinkwasserquellen mit Schutzgebietsausweisungen für Karstquellen

E) Forschungsaufträge/ Studien

Erkundung und Bewertung von **Trinkwasser-Vorratsgebieten** (Poren-Grundwasser, Quellen, Karstwässer):

- Land Salzburg (gesamt)
- Salzburger Becken
- Totes Gebirge (zus. mit Prof.Dr. J. ZÖTL, Graz)
- Lungau / Salzburg
- Großarler Tal (zus. mit Dipl.-Ing. H. STRASCHIL, Hallein)
- Mitterpinzgau (zus. mit Dipl.-Ing. H. STRASCHIL)
- Tw-Reserven Hinterstoder / Totes Gebirge / OÖ
- Oberpinzgau (zus. mit Dipl.-Ing. H. STRASCHIL und Mitarbeiter Mag. W. GADERMAYR)
- NW Flachgau (zus. mit Dipl.-Ing. H. STRASCHIL)
- Thalgau - Enzersfeld (zus. mit Dipl.-Ing. H. STRASCHIL)
- Pongau

F) Spezielle Bearbeitungen

- **Trinkwasserreserven im südlichen Salzburger Becken** (Salzach- Lammerspitz und Bluntautal): Hydrogeologisches Gutachten, für Wasserverband Salzburger Becken, 1979 (mit U.Prof.Dr. V. MAURIN)
- **Gesamtuntersuchung Salzach (GUS) - Grundwasserhaushalt**
1994 (Mitarbeiter Dipl.-Ing. H. BRANDECKER und Mag. W. GADERMAYR; Beratung Karstwasser: U.Prof.Dr. V. MAURIN)
 - Basisuntersuchung: Vorderkrimml - Fritzbachmündung
 - Regionalstudie: Fritzbachmündung - Salzburg (Süd)
- **GUS-Ergänzungsteil: Salzach - Grenzstrecke** (Salzburg Nord - Landesgrenze)
1995, (Mitarbeiter Dipl.-Ing. H. BRANDECKER)
- **GUS-Untersuchung des Konfliktpotentials des Kraftwerkprojektes Gries (Tauernkraft) - Grundwasserhaushalt**
1995, (Mitarbeiter Dipl.-Ing. H. BRANDECKER)
- **Wasserversorgung Zentralraum Salzburg (WZS)**
zus. mit Dipl.-Ing. H. Straschil und Mitarbeiter Dipl.-Ing. Harald BRANDECKER,

G) Veröffentlichungen:

- Hydrogeologische Untersuchungen und baueologische Erfahrungen beim Bau des Diesbachspeichers (Steinernes Meer) mit V. MAURIN und J. ZÖTL; Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 1965
- Die Baueologie der Dießbach-Wasserkraftanlage; ÖIZ, 1967
- Gründung des Krafthauses für das Dießbach-Kraftwerk (mit M. RÜGER); ÖIZ, 1967
- Baueologie der Autobahn Mondsee - Seewalchen, OÖLR; 1968 (47 S., 14 Abb.)
- Die Gestaltung von Böschungen in Lockermassen und Fels; Forschungsbericht ÖIAV, 1971 (59 S., 33 Abb.)
- Baueologie des Bauloses „Klamm“ der Gasteiner Bundesstraße / Salzburg (mit R. VOGELTANZ); Festschrift Karl Metz, Joanneum, Graz, 1975
- Hydrogeologie des Salzburger Beckens; Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 1974 (35 S., 16 Tafeln / Pläne)
- Die Baueologie der Tauernautobahn-Scheitelstrecke; Bd. II: Tauernautobahn AG / Kiesel, Salzburg; 1976 (26 S.)
- Die Fundierung einer exponierten Bogenbrücke / Gigerach; Gasteiner Bundesstraße (mit J. GOLSER und K. MUSSGER); Internationale Gesellschaft für Felsmechanik, 1979

- Trinkwasserversorgung und Trinkwasserforschung im Lande Salzburg; Rohstoff-Forschung / Raumordnung in Kärnten; Klagenfurt, 1980
- Autobahnbau unter extremen geotechnischen Bedingungen (Die Tauernautobahn im Liesertal); Beitrag zum Aufsatz von H. BRANDL; Mitteilungen TU Wien, 1982
- Die Trinkwasserreserven des südlichen Salzburger Beckens und seiner Umrahmung; mit V. MAURIN; ÖWW, 1982, (20 S, 14 Abb.)
- Grundwasserreserven im südlichen Salzburger Becken; Wasser für Salzburg; Wasserverband Salzburger Becken, 1985
- Die Pyhrnautobahn im Raum Spital am Pyhrn - Entwicklungsgeschichte und Baugeologie (Dorf im Gebirge, Spital / Pyhrn, 1990)
- Erläuterungen zur Geologischen Karte Blatt 94 Hallein: Hydrogeologie Trinkwasserreserven in den Poren- und Karstaquiferen (mit V. MAURIN); Geologische Bundesanstalt, 1990
- Erläuterungen zur Geologischen Karte Blatt Mur: Baugeologische Erfahrungen und Hydrogeologie; mit D. BECHTHOLD und H. HÄUSLER; Geologische Bundesanstalt, 1990
- Rezension: JORDAN, H.P. & WEDER, H.J. (Hrsg.): Hydrogeologie. Grundlagen und Methoden; Regionale Hydrogeologie: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin. Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. Verlag F.ENKE, Stuttgart 1995.
- Wasserversorgung Zentralraum Salzburg mit Dipl.-Ing. H. Straschil und Mitarbeiter Dipl.-Ing. H. Brandecker; Amt der Salzburger Landesregierung, 1995 (164 Seiten, 20 Abbildungen)
- Grundwasserhaushalt der Salzach (GUS: Gesamtuntersuchung Salzach; ÖIR, Wien / Salzburger Landesregierung, 1997 (166 Seiten, 63 Pläne, Grafiken)
- Trinkwasser-Anlagen und -Reserven in Bayern (zwischen Traun und Saalach / Salzach) Hydrogeologie und Wasserwirtschaft, mit Dipl.-Ing. H. Brandecker (erscheint Ende 2002)

Dr. Hermann Brandecker

**Die Gestaltung von Böschungen
in Lockermassen und in Fels**

**Forschungsberichte der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen im
Österreichischen Ingenieur - und Architekten - Verein**

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Bauten und Technik

V o r w o r t

Der Bau von Verkehrswegen, insbesondere der zügig trassierten Autobahnen und Schnellstraßen mit ihren großen Querschnitten, bedeutet immer einen Eingriff in die Natur und hat, vornehmlich im gebirgigen Gelände wegen der erforderlichen Einschnitte und Hanganschnitte, eine Beeinflussung der Standfestigkeit des anstehenden Gebirges zur Folge. Die Wahl der Böschungsneigung hat schon bei der Planung unter Berücksichtigung der technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte so zu erfolgen, daß die Standfestigkeit der Böschungen noch hinreichend gewährleistet erscheint.

Wenn auch Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Boden- und Felsmechanik in den letzten Jahrzehnten bereits wertvolle Erkenntnisse erbracht haben, so kann doch in den meisten Fällen der praktischen Erfahrungen nicht entbehrt werden.

Die Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen begrüßt es daher sehr, daß Herr Dr. H. BRANDECKER an Hand seiner langjährigen Erfahrungen im vorliegenden Bericht den Projektanten und Bauleitern von Straßenbauvorhaben wertvolle Hinweise für die Gestaltung und Sicherung von Böschungen gibt. Für den in den einschlägigen Fachgebieten weniger versierten Ingenieur wird damit eine Lücke in der bisher von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen herausgegebenen Schriftenreihe geschlossen.

Der Vorsitzende der Forschungsgesellschaft
für das Straßenwesen



Sektionschef Dipl.Ing.Dr.techn. Otto Raschauer

Wien, im Mai 1971

Einleitung

Es war das Verdienst der erst vor wenigen Jahrzehnten begründeten modernen Bodenmechanik, Ordnung in die auf reine Empirie gestützte Vielfalt von Faustregeln über zulässige Bodenpressungen usw. gebracht zu haben. Die von TERZAGHI entdeckte Gliederung in totale, wirksame und neutrale Spannungen im Boden gestattete vor allen anderen Erkenntnissen erstmalig eine sinnvolle Anwendung der schon vor langer Zeit in der Theorie gelösten erdstatischen Probleme. Darüber hinaus war dem Ingenieur die Möglichkeit geboten, die Vorgänge in der Natur richtig zu deuten, eigene Erfahrungen in geologisch anders geartete Gebiete zu übertragen und die Erfahrung anderer nutzbringend anzuwenden.

Man ist geneigt anzunehmen, daß man mit dem Rüstzeug der Geologie, der Bodenmechanik und der Bodenerkundung in der Lage wäre, die Standsicherheit einer Einschnittsböschung im voraus genau zu bestimmen. Leider ist dies nur in vereinzelt Fällen möglich. Im Gegensatz zu Dammböschungen, wo man den Schüttbaustoff wählt, seine Eigenschaften prüfen kann, die Güte des Einbaues vorausbestimmt und die hydraulischen Verhältnisse im Boden abschätzen kann, sind die Kenntnisse über die maßgeblichen Eigenschaften des Bodens unter einer Einschnittsböschung auch bei noch so sorgfältiger Erkundung immer lückenhaft. Aus Gründen der wechselhaften Schichtenfolge ist die Bodenerkundung in solchen Fällen meist unzureichend. Die Bestimmung der auf Versuche gestützten Bodenkennziffern beschränkt sich vorwiegend auf kohäsive Böden, während man die Eigenschaften anderer Böden schätzt. Vorherrschend ist aber die stets mangelnde Kenntnis der während der Bauausführung und im fertigen Zustand zu erwartenden, bei extremen Witterungsverhältnissen oft nur kurzfristig wirkenden Strömungsdrücke.

Daher kann eine noch so sorgfältig durchgeführte, auf bodenmechanische Kennziffern gestützte Gleitkreisuntersuchung falsche Ergebnisse liefern, wenn auch nur ein einziger der zahlreichen Faktoren mit den Verhältnissen in der Natur nicht übereinstimmt. Berechnungen der Standsicherheit einer Einschnittsböschung sollten daher nur auf besondere Fälle beschränkt und von hierfür qualifizierten Fachleuten durchgeführt werden.

Der in einem geologisch gleichgearteten Gebiet tätige erfahrene Ingenieur weiß oft besser als jeder andere, mit welcher Neigung eine Einschnittsböschung wirtschaftlich und dabei noch sicher genug angelegt werden muß. Bewußt oder unbewußt wägt er dabei die Folgen des allfälligen Abrutschens einer zu steilen Böschung mit dem Mehraufwand für eine sichere, flacher geneigte Böschung ab und trifft eine Entscheidung, der ein sogenanntes kalkuliertes Risiko zugrunde liegt. Ein bedeutender amerikanischer Straßenbaufachmann hat gesagt, daß eine Straße, die aus Gründen der Bemessung keine Schäden aufweist, zu teuer gebaut ist. Da aber der Straßenbau stets im Blickpunkt der Öffentlichkeit steht und dort von Laien beurteilt wird, kann die Karriere eines Ingenieurs, der diesem Ratschlag folgt, leicht besiegelt sein.

Der mit dem Entwurf einer Straße befaßte Ingenieur, der weder über örtliche baugeologische Erfahrungen verfügt noch über die geotechnischen Gegebenheiten Bescheid weiß, kann sich bei der Wahl der Böschungsneigung auf keine wie immer gearteten Grundlagen stützen.

In solchen Fällen einem Mangel abzuhelpfen, hat es sich der Autor dieser Druckschrift, Herr Dr. H. BRANDECKER, in dankenswerter Weise zur Aufgabe gemacht, seine als beratender Geologe beim Bau von Autobahnen und Bundesstraßen gesammelten reichen Erfahrungen weiterzuvermitteln. Es liegt auf der Hand, daß eine solche Schrift weder Anspruch auf Vollständigkeit erheben noch ein Ersatz für die vom Standpunkt der Bodenmechanik und der Felsmechanik anzustellenden Überlegungen und allenfalls durchzuführenden Berechnungen sein kann.

Die Arbeitsgruppe Untergrund der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen sieht in diesem Beitrag seines Mitarbeiters eine wertvolle Hilfe sowohl für den planenden als auch für den mit der Bauausführung betrauten Ingenieur und hat den Antrag gestellt, die von Dr. H. BRANDECKER verfaßte Arbeit im Rahmen eines Forschungsberichtes zu veröffentlichen.

Der Leiter der Arbeitsgruppe Untergrund
Wirkl. Hofrat Dipl.Ing. Wolfhart Ludwig

Klagenfurt, im Mai 1971

Vorwort des Verfassers

Durch eine vieljährige Tätigkeit als beratender Baugeologe beim Bau von Autobahnen und Bundesstraßen immer wieder mit den Problemen der Gestaltung und Herstellung von Geländeeinschnitten oder Hanganböschungen beschäftigt, konnte ich auf diesem Gebiete Erfahrungen sammeln, deren Zusammenfassung und Weitergabe mir wertvoll erscheint, zumal darüber nur wenig praxisnahe Literatur vorliegt. Die gegenständliche Schrift verfolgt dabei die Absicht, Hinweise für die Projektierung zur zweckmäßigen Gestaltung von Böschungen in Lockermassen und in Fels zu geben sowie die wichtigsten und gebräuchlichsten Arten von Böschungsverkleidungen und sonstigen Sicherungen in kurzen Umrissen aufzuzeigen.

Aus der ursprünglich geplanten, von Herrn Ministerialrat Dipl.Ing.Dr.techn. F. MATL angeregten Böschungsstudie ist vor allem durch die dankenswerten Bemühungen der Herren Sektionschef Dipl.Ing.Dr.techn. O. RASCHAUER und Wirkl. Hofrat Dipl.Ing. W. LUDWIG eine wesentliche Erweiterung dieser Arbeit und schließlich ein Auftrag der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen im Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein für eine umfangreichere Darstellung dieses Themas entstanden. Dafür und für die Bereitstellung der Mittel für die Drucklegung des Heftes im Rahmen der Forschungsberichte darf sich der Verfasser an dieser Stelle bei allen Mitgliedern des zuständigen Redaktionskomitees sehr bedanken.

Mein verbindlichster Dank ergeht auch an die Herren Dipl.Ing.Dr.techn. H. BRANDL, Baumeister Ing. E. HAUPTMANN, Oberbaurat Dipl.Ing.Dr.techn. E. KODRIC, Wirkl. Hofrat Dipl.Ing. W. LUDWIG und Dipl.Ing. F. PACHER, die mir wertvolle Hinweise gaben, Korrekturen durchführten oder mir freundlicherweise Unterlagen zur Verfügung stellten.

Salzburg, im Mai 1971

DER VERFASSER

INHALT

	<i>Seite</i>
1 EINFÜHRUNG	1 – 2
2 BÖSCHUNGEN IN LOCKERMASSEN	3 – 27
2.1 GRUNDLAGEN	3 – 7
2.1.1 Chemisch-mineralogische Einflüsse	3 – 4
2.1.2 Physikalischer Zustand	4
2.1.3 Geologische Verhältnisse	4 – 5
2.1.4 Hydrogeologisches	5
2.1.5 Biologische Vorgänge	6
2.1.6 Witterungseinflüsse	6
2.1.7 Verwitterungserscheinungen	6 – 7
2.2 ENTWURF UND GESTALTUNG	7 – 13
2.2.1 Grundsätzliche Überlegungen	7 – 9
2.2.2 Wahl der Böschungsneigungen	9 – 12
2.2.3 Bermen (Banketten, Etagen)	12 – 13
2.3 BÖSCHUNGSVERKLEIDUNGEN UND BÖSCHUNGSSICHERUNGEN	13 – 24
2.3.1 Allgemeines	13
2.3.2 Bautechnische Sicherungen	13 – 20
2.3.3 Entwässerungen	21 – 22
2.3.4 Biologische Verbauungen	22 – 24
2.4 SONSTIGE MASSNAHMEN UND ALLGEMEINE HINWEISE	24 – 25
2.5 BEISPIELE VON BÖSCHUNGSGESTALTUNGEN UND BÖSCHUNGS- SICHERUNGEN	26 – 27
3 FELSBÖSCHUNGEN	28 – 46
3.1 ALLGEMEINES, ENTWURF UND GESTALTUNG	28 – 32
3.2 BERMEN (BANKETTEN, ETAGEN)	32 – 33
3.3 BESONDERS GEFÜGEBEDINGTE FELSBÖSCHUNGEN	33 – 36
3.4 FELSBÖSCHUNGEN IN INSTABILEM FELS	36
3.5 HINWEISE ZUR BÖSCHUNGSSHERSTELLUNG	37 – 38
3.6 SANIERUNGEN, SICHERUNGEN UND BEOBACHTUNGEN	38 – 42
3.7 BEISPIELE VON BÖSCHUNGSGESTALTUNGEN UND BÖSCHUNGS- SICHERUNGEN	42 – 46

	<i>Seite</i>	
4	BÖSCHUNGEN IN FELS UND LOCKERMASSEN	46 – 49
4.1	ALLGEMEINES	46
4.2	BEISPIELE	47 – 49
5	BÖSCHUNGEN IN VERFESTIGTEN LOCKERMASSEN UND VERÄNDERLICHFESTEN GESTEINEN	49 – 51
6	BÖSCHUNGEN IN AKTIVEM RUTSCHGELÄNDE	51 – 52
7	VORERHEBUNGEN UND UNTERSUCHUNGEN	52 – 56
8	ZUSAMMENFASSUNG	56
9	LITERATURAUSWAHL	57 – 59

1 EINFÜHRUNG

Beim Ausbau eines verkehrsgerechten Straßennetzes im österreichischen Alpengebiet ergeben sich bei Einhaltung der gewünschten Trassierungselemente (Steigungen und Radien) oft beträchtliche Schwierigkeiten. Das vielfach straßenfeindliche Gelände, aber auch Besiedlungen, Flußläufe, Bahnanlagen oder sonstige vorhandene Verbauungen zwingen nämlich zu immer umfangreicheren Kunstbauten, wie Untertunnelungen, großen Brückenbauwerken, beträchtlichen Dammaufschüttungen und schließlich auch zu hohen Geländeanschnitten bzw. tiefen Einschnitten.

Derartige Böschungs-Anschnitte oder -Einschnitte in natürlichen Lockermassen oder in Fels werfen eine Reihe Probleme auf, wobei insbesondere

die technische und wirtschaftliche Durchführbarkeit des Abtrages überhaupt,

die Art der Böschungsgestaltung in Abhängigkeit vom Bodenaufbau, bodenmechanischen und hydrogeologischen Verhältnissen,

der erforderliche Umfang notwendiger Böschungsbefestigungen und sonstiger geotechnischer Sicherungsmaßnahmen,

die Wiederverwendung des Abtragmaterials und

der Durchführungszeitpunkt sowie der Zeitaufwand für die Erd- und Sicherungsarbeiten

eine entscheidende Rolle spielen.

Es sind daher schon bei der Planung von Gelände-An- und -Einschnitten die von Natur aus gegebenen Umstände – wie Geländegestalt, Schichtaufbau, Beschaffenheit und stoffliche Eigenschaften der Böden oder Inhomogenitäten in felsigem Gebirge und nicht zuletzt die Bergwasserverhältnisse – zu beachten und bei der Wahl der Böschungsneigung und Böschungsgestaltung zu berücksichtigen.

Hohe Baukosten, verursacht durch progressiv ausgreifende Rutschungen an übersteilten Böschungen, aber auch übervorsichtig verflachte Einschnitte (Abtragmassen, Grundinanspruchnahme), mahnen schließlich zu einer weitgehenden Anpassung an die geologisch-bodenmechanischen Verhältnisse des vorliegenden Untergrundes.

Eine exakte Erfassung aller jener Faktoren, welche die Standsicherheit einer Böschung bestimmen oder welche überhaupt erst die richtige Einschätzung ihrer geomechanisch und wirtschaftlich günstigsten Neigung gestatten, ist in vielen Fällen allein wegen der Unterschiedlichkeit des Bodenaufbaues oder in Ermangelung ausreichender bodenphysikalischer Kennwerte nicht möglich. Der verlässlichen Vorausberechnung der Standsicherheit einer künstlichen Böschung in Lockerböden oder in Fels sind deshalb gewisse Grenzen gesetzt, und zumeist muß die *Entwurfsböschung* im Planungsstadium oft nur nach vorhandenen geologischen Merkmalen, Naturbeobachtungen und geschätzten Bodenkennwerten oder empirisch festgelegt werden.

Nachdem die Eigenschaften der Böden (Kornaufbau, Lagerungsdichte, Konsistenz, Scherfestigkeit usw.) oder eines Gebirges (Schichtfolge, Raumstellung von Klüftung, Bergwasser u.dgl.) durch künstliche Aufschlüsse – eventuell auch durch geophysikalische Untersuchungsmethoden – erkundet sind, bedarf es schließlich der richtigen Einschätzung der möglichen Auswirkungen der durch den Anschnitt erfolgten Veränderungen gegenüber dem bestehenden Zustand sowie der sich daraus ergebenden baulichen und biologischen Maßnahmen und Absicherungen. Zu den nur selten völlig erfaßbaren ungünstigen Einflüssen kommt die in unserem Klimabereich herrschende Witterung als ein nicht zu unterschätzender Unsicherheitsfaktor. Die Schwierigkeiten in der Vorausbestimmung von *Entwurfsböschungen* im Fels liegen wiederum hauptsächlich darin, die als Gleit- oder Bruchflächen in Betracht kommenden Inhomogenitäten des Gesteinsverbandes hinsichtlich ihres mechanischen Verhaltens richtig einzuschätzen.

Trotz solcher bodenkundlicher Ungewißheiten und nicht vorhersehbarer Bauerschwernisse soll versucht werden, schon im Planungsstadium in Zusammenarbeit mit dem Geologen und dem Bodenmechaniker eine dem Endzustand möglichst entsprechende *Bschungsform* zu finden. Dies ist allein mit der Notwendigkeit einer rechtzeitigen Massenermittlung, der Festlegung der Grundinanspruchnahme sowie der Schaffung genauer Ausschreibungsbedingungen hinreichend begründet. Dazu gehören auch Überlegungen über die Wirtschaftlichkeit von Böschungsverflachungen gegenüber sonst notwendigen Befestigungen oder gar Sanierungen steilerer Böschungen durch präventive baulische, hydrologische oder biologische Maßnahmen und ebenso die Klärung der Eignung (Verwendungswrdigkeit und Verbesserungsfähigkeit) sowie Gewinnbarkeit des Abtrages bzw. dessen etwaiger Deponierung.

Mit sorgfältigen Voruntersuchungen und einer fachgerechten Baudurchführung – unter Bedachtnahme auf die Witterungsverhältnisse – kann auch den in letzter Zeit verstärkten Bestrebungen nach einer tunlichst genauen Vorausbestimmung der definitiven Böschungsgestalt bei der Ausschreibung größerer Straßenbauvorhaben und deren beabsichtigter elektronischer Abrechnung (mit Böschungs-Code von *Einheitsbschungen*) schon sehr wesentlich geholfen werden.

Bei den folgenden Empfehlungen für die Wahl der *Entwurfsböschungen* wurden die Bodengruppen vorwiegend nach geologischen Gesichtspunkten zusammengefaßt und, wo möglich, auch die ÖNORM B 3150, *Benennung der Bodenarten für bautechnische Zwecke* berücksichtigt. In der Praxis kennt man allerdings Fälle, bei denen sich die geologische Bezeichnung eines Bodens nicht mit den damit verbundenen Vorstellungen hinsichtlich seiner bautechnischen Eigenschaften deckt. Zu solchen Böden zählen beispielsweise die durch Eisdruck vorbelasteten und festgepreten Geschiebe- und Grundmoränen oder verkrustete Schotter (*Nagelfluh*, auch *Konglomerat*) und andererseits etwa entfestigte, verwitterte oder zermürbte *Felsgesteine* ohne nennenswerte Gesteins- und Gebirgsfestigkeit (z.B. *Haselgebirge*).

Als *Sonderfälle* sind alle in aktiven Rutschgebieten vorzunehmenden Anböschungen anzusehen, weil überdies deren Stabilität von der Standsicherheit der gesamten Hanglehne abhängt. Sie bedürfen besonderer Untersuchungen, und hier lassen sich selbst *Entwurfs-* oder gar *Regelbschungen* nicht im vorhinein festlegen.

Die Neigungen für die Entwurfsböschungen in Abhängigkeit vom Untergrund wurden nach den in der Baupraxis üblichen Steigungsmaen – z.B. 1 : 2, wobei 1 die vertikale und 2 die horizontale Länge bedeutet – vorgenommen, wobei zwischen den jeweiligen Abstufungen etwa 3 bis 6^o liegen.

Von den vielfältigen in der Praxis angewandten Befestigungen von Böschungen in Lockermassen und felsigen Gesteinen konnten nur die wesentlichsten und gebräuchlichsten aufgezählt und generell dargestellt werden. Zur näheren Information ist die Heranziehung der Fachliteratur erforderlich. In diesem Zusammenhang wird auch auf die vorhandenen und die in Vorbereitung befindlichen Schriften der sterreichischen *Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen* hingewiesen. So sind beispielsweise Merkblätter über die *Verwendung von Naturstein zur Böschungssicherung* von der hiefür zuständigen Arbeitsgruppe dieser Forschungsgesellschaft und über *Lebensverbauungen (Böschungsbegrünungen)* von Ing.Dr. H.M.SCHIECHTL, Innsbruck, in Ausarbeitung.

2 BÖSCHUNGEN IN LOCKERMASSEN

Anstelle der Bezeichnung *Lockermassen* finden auch die Namen *Lockergesteine*, *Deckgebirge*, *Überlagerung* oder *Deckschichten* Verwendung.

2.1 GRUNDLAGEN

Vor der Herstellung einer in natürlich abgelagerten Böden anzulegenden Einschnittsböschung größeren Ausmaßes sollen die Art des Bodens, seine Lagerungsverhältnisse und seine Zustandsform sowie die Grund- und Bergwasserverhältnisse durch Aufschlüsse – wie Bohrungen, Schächte, Röschen oder Sondierungen – genau erkundet werden. Schon dabei ist es möglich, festzustellen, ob bindige (*kohäsive*) oder nichtbindige (*kohärente*), organische, festgelagerte oder weiche Bodenarten vorliegen, wie ihre Schichtgrenzen verlaufen u.dgl. mehr.

Die allgemeinen Vorerhebungen über den Untergrund erstrecken sich aber auch auf die nicht unwesentliche Frage nach der Herkunft und Entstehung des Bodens, seiner geologischen Geschichte, wie Umlagerungen, chemische, mechanische und biologische Veränderungen usw. Derartige Kenntnisse allein sind oft schon entscheidend für die Wahl der Böschungneigung, die Notwendigkeit und die Art von Verkleidungen. Geologisch ältere Geländeoberflächen wieder weisen tiefgründige Verlehungen, aber auch Auslaugungs- oder Entkalkungserscheinungen – in gewissen Horizonten schließlich Mineralanreicherungen – auf. Ähnlich ist es mit klimatischen und biologischen Vorgängen, die ebenfalls bemerkenswerte chemische und bodenphysikalische Veränderungen in der oberen Bodenschwarte herbeiführen. Eine Sonderstellung nehmen schließlich die organischen und organisch verunreinigten Böden ein.

Die Einflüsse auf die Standsicherheit und damit auf den Grenzwinkel einer Einschnitts- oder Anschnittsböschung sind also mannigfaltig. Sie sind besonders bei bindigen Bodenarten erheblich und erstrecken sich dort auf nachfolgend angeführte Gebiete.

2.1.1 Chemisch-mineralogische Einflüsse

Die bodenphysikalischen Eigenschaften bindiger Böden werden weitgehend vom Mineralbestand und den chemischen Reaktionen bestimmt. Dies betrifft vor allem kolloidreiche Tone, deren *Tonminerale* einen Schichtgitterbau aufweisen, der eine große Wasserspeicherung und damit auch ein starkes Quellen ermöglicht. Infolge ihrer negativen Ladungen sind die meisten Tonminerale auch zur Bindung von Kationen – z.B. von Kalzium, Kalium und Natrium – befähigt, was bekanntlich bei der Stabilisierung solcher Böden mit Kalk genutzt wird. Die Reaktion (pH-Wert) eines Bodens, also sein Säure- oder Alkalitätsgrad, kann bei der Vereinigung (*Krümelung*) von Bodenteilchen eine sehr ausschlaggebende Rolle spielen. Der Nachweis über vorhandene und quellfähige Tonminerale – wie überhaupt die Erkundung der Art des Mineralbestandes – sollte daher bei größeren und schwierigen Bodeneingriffen nicht versäumt werden.

Das Vorhandensein von wasseraufnahme- und wasserabgabefähigen (*thixotropen*), damit zum Quellen neigenden Tonmineralien (hauptsächlich Montmorillonit) führt zu sehr ungünstigen Festigkeitseigenschaften der Böden und unter bestimmten Voraussetzungen zu umfangreichen Bodenbewegungen. Die weitverbreiteten *Quell- oder Quicktone* im skandinavischen Raum und die in diesen Glazialsedimenten (daher auch *Glazial- oder Gletschertone*) aufgetretenen katastrophalen Rutschungen zeigen die Gefährlichkeit eines derartigen Mineralbestandes deutlich auf. Der aus thixotropen Mineralien bestehende, quellfähige *Bentonit* findet aber auch praktische Verwendung als Stabilisierungsmittel bei der Herstellung von Schlitzwänden, Fundamentgräben und Bohrpfählen, ferner bei Erdölbohrungen.

Aber auch in Österreich kennt man im nördlichen Alpenvorland Bodenbewegungen, die offensichtlich mit einem bestimmten Mineralbestand zusammenhängen. Es sind dies die in bestimmten Flyschgesteinen auftretenden *Glaukoniteinschlungen*, die bei ihrer Verwitterung ebenfalls thixotrope Tonminerale bilden; dabei geben sie Kalium frei, wodurch eine Änderung der Wasserstoffionen-Konzentration erfolgt. Das auf diese Weise alkalisierte Wasser fördert den Basenaustausch zwischen den Tonmineralien und dem Wasser, was schließlich zu einer Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Tongesteine, insbesondere ihrer Plastizität und ihres Quellvermögens, führt (Q. ZARUBA 1961). Laboruntersuchungen zeigen übrigens auch die

Rutschgefährlichkeit der Zersetzungsprodukte von glimmerreichen Phylliten, Chloritschiefern und ähnlichen Gesteinen auf, die bekanntlich gerade in den Alpen weit verbreitet sind (H. BOROWICKA 1970). Mineralogisch-petrographische Untersuchungen schlufftoniger Böden in der Oststeiermark, wo alljährlich zahlreiche Rutschungen auftreten, bestätigen dies. Dort wurden wiederholt Zusammenhänge zwischen der Anreicherung von *Illit*, einem aus Glimmer und Feldspat hervorgegangenen Tonmineral, und Bodenbewegungen beobachtet (A. ALKER, H. HAAS und O. HOMANN 1969). Weiters ist ein chemisch-mineralogisch bedingter Einfluß auf die Sensitivität von Schlufftonböden in deren Kalkgehalt zu erkennen. Diesbezügliche Erfahrungen wurden an schlufftonigen Stausedimenten im Raume Mondsee beim Bau der Westautobahn gemacht (H. BRANDECKER 1968).

Die bodenphysikalischen Eigenschaften werden auch von dem in Ton- und Schluffböden meist reichlich vertretenen Glimmer und dessen talkig oder graphitisch verschmierter Oberfläche sowie durch den geringen Scherwiderstand des Minerals parallel zu seinem Schichtgitter beträchtlich beeinflußt. Diese schon im Feinbau vorgezeichneten *mineralogisch-petrographischen Gleitflächen* werden umso wirksamer, je besser die Einregelung der schuppigen Glimmerblättchen beim Sedimentationsvorgang und der anschließenden Diagenese erfolgt ist.

Schon diese wenigen Beispiele und Hinweise zeigen, daß die Scherfestigkeit von Tonböden sehr vom Mineralbestand abhängt und daher dieser bei größeren Bauvorhaben in tonigen Böden nicht außer acht gelassen werden sollte.

2.1.2 Physikalischer Zustand

Der physikalische Zustand eines Bodens, sein Kornaufbau und seine Kornform, die Struktur, Plastizität und Festigkeit sowie die Aufteilung seines Gesamtvolumens in Festmasse, Wasser und Luft (Gas), also die Dichte, bestimmen seine mechanischen Eigenschaften maßgeblich. Bei den *bindigen Böden* gehören daher folgende Prüfungen im Erdbaulabor zu den wichtigsten Voruntersuchungen:

Kornverteilung,
natürlicher Wassergehalt,
Trockenraumgewicht (Porenvolumen),
Druckfestigkeit und
Scherfestigkeit (Kohäsion und Winkel der inneren Reibung).

Bei *nichtbindigen Böden* sind die Kornform und die Kornzusammensetzung für die Beurteilung der technischen Eigenschaften eines Bodens zu beachten.

In Österreich ist es üblich, die Böden entweder nach ihrer Lösbarkeit (ÖNORM B 2205), nach äußerlich anschaulichen Kennzeichen (ÖNORM B 3150) oder nach bodenphysikalischen Merkmalen (Heft 10 der *Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen*, Ausgabe 1969, Tabelle 2, Bodeneinteilung) zu benennen.

2.1.3 Geologische Verhältnisse

Aus geologischen Karten ersieht man nicht nur den Bodenaufbau und die Schichtfolge, sie geben auch Rückschluß auf die Sedimentationsbedingungen und diagenetische Einflüsse. In der Baugeologie werden außer den üblichen Bodeneinteilungen nach der Korngröße für *Lockergesteine* auch Ausdrücke wie *Gerüst-(Skelett-)Boden* oder *Grundmasseboden*, *lehmig gebundener Boden* usw., oder aber geologische, meist von Örtlichkeiten herrührende Bezeichnungen verwendet. Entstehung oder Herkunft (z.B. *Seeton*, *Schwemmsand*, *Bergsturz* usw.), mineralogisch-petrographischer Bestand (*Quellton*, *Kalkgeröll*, *Quarzsand* usw.), Kornformen (etwa *Grus*, *Plattschotter*) oder auch ortsübliche Namen (z.B. *Wiener Tegel*, *Melker Sande* oder *Opok* für pannonische Schlufftone in der Oststeiermark) ermöglichen zumeist schon gewisse Vorstellungen und generelle Angaben über die Eigenschaften solcher Böden, wie Scherwinkel, Kohäsion, Frostempfindlichkeit usw. bei bindigen oder Kornaufbau, Kornform, Lagerungsdichte u.dgl. bei kohäsionslosen Böden.

Daraus und aus Naturbeobachtungen sowie aus Erfahrungen an bereits durchgeführten Böschungen kann bis zu einem gewissen Grad – und für Entwurfsböschungen manchmal ausreichend – auf deren wahrscheinliche Grenzwinkel bzw. kritische Böschungshöhen rückgeschlossen

werden. Dennoch sollte schon im Zuge der generellen Planung und soweit im Rahmen des Bauvorhabens möglich nichts unversucht gelassen werden, um die Erkenntnisse des Bodenaufbaues und dessen Festigkeitsverhalten durch spezielle Prüfungen im Erdbaulabor genauer kennenzulernen. Dabei ist jedoch zu bedenken, daß die Unterschiedlichkeit des Untergrundes, die Wechsellagerung physikalisch andersartiger Schichten sowie deren Raumstellung, ihre geologische Vorbelastung (Überverdichtung) usw. einen recht erheblichen Einfluß auf das mechanische Verhalten der Böschung und damit auf deren Gestaltung nehmen können.

2.1.4 Hydrogeologisches

Der Wassergehalt ist besonders für feinkörnige, bindige Lockerböden bedeutungsvoll, da er deren Zustand entscheidend beeinflußt und rasch verändern kann. Dadurch werden oft geplante oder gar schon vorbereitete Baumaßnahmen hinfällig und zusätzliche Sanierungen und der neuen Situation angepaßte Sondermaßnahmen, mitunter der Einsatz anderer Gerätschaften, oder überhaupt die Änderung der Arbeitsmethoden notwendig.

Trotz des bekannt großen Einflusses des Strömungsdruckes auf die Standsicherheit einer Böschung ist des öfteren festzustellen, daß in der Baupraxis die Ableitung und Entspannung von Oberflächen- und Untertagewässern nicht immer und überall mit der nötigen Sorgfalt vorgenommen wird. Und gerade derartigen Arbeiten ist nur dann ein voller Erfolg beschieden, wenn der gesamte Wasserhaushalt unter Einbeziehung des Einzugsgebietes berücksichtigt und beherrscht wird.

Die Entwässerung von hangparallel durchströmten Bodenzonen und wassergesättigten Sandschichten oder die Fassung von Naßgallen und Quellen, schließlich die Absenkung wechselhafter oder mehrschichtiger Grundwasserkörper sowie die Entspannung unter Druck stehender Bergwässer ist daher besonders wichtig. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem chemisch gebundenen Wasser (bei thixotropen Tonmineralien je nach Wasserzufuhr nur vorübergehend), dem Kapillar- oder Haftwasser und dem frei beweglichen, der Schwerkraft unterliegenden Schicht-, Grund- oder Kluftwasser. Gegen welches Wasservorkommen und in welcher Art sich die Entwässerungsmaßnahmen zu richten haben, erfordert meist eine sachkundige Begutachtung in Verbindung mit hydrogeologischen Untersuchungen.

Extreme Auswirkungen eines Wasserdruckes sind grundbruchartige Bodenbewegungen und Bodenfließen. Die Strömungsgeschwindigkeit und der vom hydrostatischen Gefälle abhängige Strömungsdruck ist besonders nach anhaltenden Niederschlägen und zur Schneeschmelze (bei oft noch gefrorener und daher stauender Böschungsoberfläche) groß. Nicht zu unterschätzen und geradezu gefährlich sind wasserführende Sand-Kies-Einschaltungen innerhalb bindiger Böden, weil sich in diesen Porenwasserdrücke aufbauen können, die den wirksamen, die Scherfestigkeit bestimmenden Spannungen entgegenwirken.

Das Ausmaß der Versickerung, der Verdunstung und des Abflusses von Niederschlags- und Schmelzwässern, das bekanntlich von den örtlich unterschiedlichen Niederschlagsmengen, der Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes, dem Bewuchs, der Orientierung des Hanges und der Geländeneigung abhängt, ist bei Entwässerungsmaßnahmen ebenso zu beachten wie die Lage der Stauhorizonte und die Richtung und Geschwindigkeit unterirdischer Wasserbewegungen. Um alle diese Umstände hinreichend genau zu erfassen, bedarf es mitunter besonderer hydrogeologischer Untersuchungen.

Geringe Wassermengen oder nur auf dünne Schichten begrenzte Wasservorkommen sind zumeist durch die üblichen Bohraufschlüsse nicht erfaßbar. Dort ist die von Chr. VEDER (1968) beschriebene Methode – die Messung unterschiedlicher Potentialfelder, die auf elektroosmotische Bewegungen des Porenwassers zurückzuführen sind, welche wieder die Scherfestigkeit mindern und dadurch Rutschungen begünstigen – unter gewissen Voraussetzungen sehr erfolgversprechend.

Es würde den Rahmen der vorliegenden Schrift überschreiten, das umfassende Kapitel des Wassereinflusses auf die Standsicherheit von Böschungen näher zu behandeln. Die wenigen, jedoch sehr wichtigen Hinweise sollen aber an die Bedeutung des Wassers bei derartigen Erdarbeiten erinnern.

2.1.5 Biologische Vorgänge

Im Boden üben mitunter auch Mikroorganismen einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf dessen Zustand insofern aus, als sie bei der Bindung und Mobilisierung des Wassers mitwirken. Es ist daher nicht unwesentlich, ob Geländeanschnitte in sterilem Boden oder im Bereich der noch belebten Verwitterungs- und Oxydationszone vorgenommen werden. Einschlägige Untersuchungen zeigen übrigens, daß unter gewissen Umständen, etwa bei umgelagerten Böden, die Tiefenwirkung der Mikroben und Anaeroben beträchtlich ist.

An dieser Stelle sei schon vorweg auf die Bedeutung von biologischen Verbauungen auf den Wasserhaushalt des Bodens hingewiesen. Die durch Begrünungen erzielte Verminderung der Versickerung und Erhöhung der Verdunstung und ein allgemeiner Wasserentzug bis etwa 3 m unter Geländeoberfläche ist – neben der Verfestigung der oberen Bodenschwarte und damit der Verhinderung von Erosionen, Schwund- und Zugrissen – hinlänglich bekannt.

2.1.6 Witterungseinflüsse

Die Umwelteinflüsse sind im Klimabereich von Österreich ein recht bedeutsamer, leider sehr ungewisser und daher für manche Böden ein unberechenbarer Faktor bei der Beurteilung der Standsicherheit. Bei feuchtigkeitsempfindlichen Erdböschungen, also bei Böden mit hoher Wasseraufnahme und rascher Zersetzung, ist es daher notwendig, ein gewisses Witterungsrisiko in Kauf zu nehmen oder für Bodenverbesserungen zu sorgen, wenn der Abtrag nicht auf Schönwetterperioden beschränkt werden kann. Wenn die Umstände es erlauben, sollten rutschgefährdete und erosionsanfällige Bodenschichten möglichst nicht bei Niederschlägen und während der Schneeschmelze angeböschet werden. Andererseits sollte der Lebendverbau dem Abtrag rasch folgen und möglichst noch vor Wintereinbruch eine gute Verwurzelung erlangen. Die Herstellung von Böschungen bei ungünstigen Bodenverhältnissen wäre demnach eigentlich nur während eines knappen halben Jahres möglich, was aber meist aus wirtschaftlichen und zeitlichen Erwägungen nicht durchführbar ist.

2.1.7 Verwitterungserscheinungen

Die *Zeiteinwirkung* auf eine von kohäsionslosem Material unterlagerte Böschung ist vor allem für oberflächennahe Schichten von Belang. Von seichteren Kriechbewegungen (mitunter auch *Solifluktionerscheinungen*) abgesehen, sind hier hauptsächlich witterungsbedingte Oberflächenerosionen zu beachten. Anschnitts- oder Einschnittsböschungen in bindigen Böden, vor allem in *rutschgefährdeten* Schlufftonen, können dagegen im Laufe der Zeit ihre maßgeblichen Eigenschaften und damit ihre Standsicherheit wesentlich verändern.

In solchen Böden können infolge des durch den Aushub abgesenkten Schichtwasserspiegels *Porenwasserunterdrücke* entstehen und zunächst eine vorübergehende Stabilität vortäuschen, die bei Wiederanstieg des Wasserspiegels wieder verloren geht. Bei übersteilt angelegten Böschungen sind dann meist plötzliche und tiefgreifende Böschungsbrüche die Folge. Die Baupraxis macht sich dieses Phänomen der vorübergehend standfesten Steilböschung mit *freier Standhöhe* durch raschen und ringweisen Aushub – ohne provisorische Stützmaßnahmen – für die Herstellung von Mauern, Steinkeilen u.dgl. zunutze.

Für die Bemessung und Beurteilung der Standsicherheit der *definitiven* Böschung ist daher das zeitbedingte Wirksamwerden verschiedener Einflüsse zu beachten. Dazu gehört nicht nur die Veränderung des Porenwasserdruckes, sondern auch die *Entfestigung* geologisch vorbelasteter (durch *Diagenese* ursprünglich verfestigter) Böden infolge Verminderung der Auflast und durch Verwitterung. Davon sind vor allem die überverdichteten tertiären Schlufftonsedimente des Alpenvorlandes und in der Oststeiermark, aber auch die durch Eis vorgepreßten Grundmoränen mit schlufftonig-feinsandiger Grundmasse betroffen.

Die Auflockerung bindiger Böden und deren Verwitterung ist meist recht offensichtlich durch die Braunverfärbung (*Verlehmung*) des Bodens erkennbar. Zu den Verwitterungserscheinungen und Bodenbildungen gehört auch die Kaolinisierung von Feldspäten, die Umsetzung von Glimmer (z.B. in das Tonmineral Illit) oder dessen *Verrostung* schlechthin sowie *diaphoritische Prozesse* (*rückschreitende Metamorphose*) in Verbindung mit vielfältigen chemischen Umsetzungen in Gesteinen.

Je nach den geologischen Sedimentationsräumen, klimatischen Bedingungen und hydrologischen Einwirkungen liegen regional verschiedene Umsetzungsprodukte mit teilweise ebenso unterschiedlichen bodenphysikalischen Eigenschaften vor, was auch bei der Untersuchung der Bodenproben und deren grundbautechnischer Auswertung bedacht werden sollte. Aus zahlreichen Beobachtungen ist bekannt, daß die durch Abtrag ihrer ursprünglichen Überlagerung und Verwitterung entfestigten und chemisch umgewandelten Mineralböden ungünstige bodenphysikalische Eigenschaften aufweisen und daher mehr oder minder rutschempfindlich sind. Die Bodenbewegungen erfolgen jedoch nicht nur in den Verwitterungsschichten, sondern häufig auch entlang der Grenze zum nicht zersetzten Boden, wo Porenwasserüberdrücke auftreten und anscheinend auch chemisch-mineralogische (z.T. möglicherweise biologisch bedingte) Veränderungen die Bildung von Gleitflächen begünstigen (Chr. VEDER 1968).

Ebenso zu beachten sind *Alterungserscheinungen* bei Schlufftonböden, mit denen eine wesentliche Verminderung der Scherfestigkeit und damit der Standsicherheit von Böschungen verbunden ist.

2.2 ENTWURF UND GESTALTUNG

2.2.1 Grundsätzliche Überlegungen

Während die natürlichen Gegebenheiten des Untergrundes sowie die witterungsbedingten und zeitlichen Einwirkungen auf den Boden mehr oder weniger hingenommen werden müssen, können bei der Herstellung einer Böschung

deren Gestaltung (Höhen, Neigungen, Bermen),
die geotechnischen Maßnahmen (Verkleidungen, Abstütungen, Entwässerungen) sowie die Grünverbauungen zu ihrer Sicherung und schließlich
die Art und zeitliche Durchführung des Abtrages
wenigstens teilweise im voraus festgelegt werden.

Für *kohäsionslose* Böden ist im allgemeinen die Vorausbestimmung einer mit ausreichender Sicherheit stehenden Böschungsneigung vielfach schon im Entwurfstadium recht treffend anzugeben. Sie ist im Normalfall meist schon dann vorhanden, wenn der Böschungswinkel nur wenig unter dem Reibungswinkel des Bodens liegt (Böschungswinkel β kleiner als der innere Reibungswinkel ρ). Letzterer hängt bei derartigen Böden weniger von der Korngröße als von der Kornabstufung, der Kornform und der Lagerungsdichte ab.

In homogenen, nicht schräg geschichteten und nicht wasserführenden kohärenten Böden werden bei natürlich gebildeten Böschungen Neigungen zwischen etwa 1 : 2 bis 1 : 1 beobachtet. Solche und vor allem geologisch jüngere Böschungen – etwa von aktiven Schutthalde – weisen in Ermangelung einer Verdichtung meist eine geringe, um den Wert 1 oder nur wenig darüber liegende Standsicherheit auf. Rechnerische Untersuchungen und Erfahrungen zeigen aber, daß schon geringfügige Verflachungen gegenüber jenen Neigungen, die die Natur vorzeichnet, zu einer beträchtlichen Erhöhung der Standsicherheit führen.

Das Verhältnis des Tangens der kritischen zur angewandten Böschung ergibt die Sicherheit gegen Geländebruch oder Gleiten, die unter anderem wie folgt definiert wird

$$v \text{ oder } F = \frac{\tan \rho}{\tan \beta} .$$

Bei vorliegenden *bindigen (kohäsiven) Böden* ist die Vorausbestimmung einer ausreichend standsicheren und zugleich wirtschaftlichen Böschungsneigung nur bei einfachen Fällen möglich. Es gelten dann die in Abb.1 dargestellten Beziehungen zwischen dem Winkel der inneren Reibung und der angewandten Böschung bzw. kann die Sicherheit durch das Verhältnis der vorhandenen zur erforderlichen Scherfestigkeit ermittelt werden.

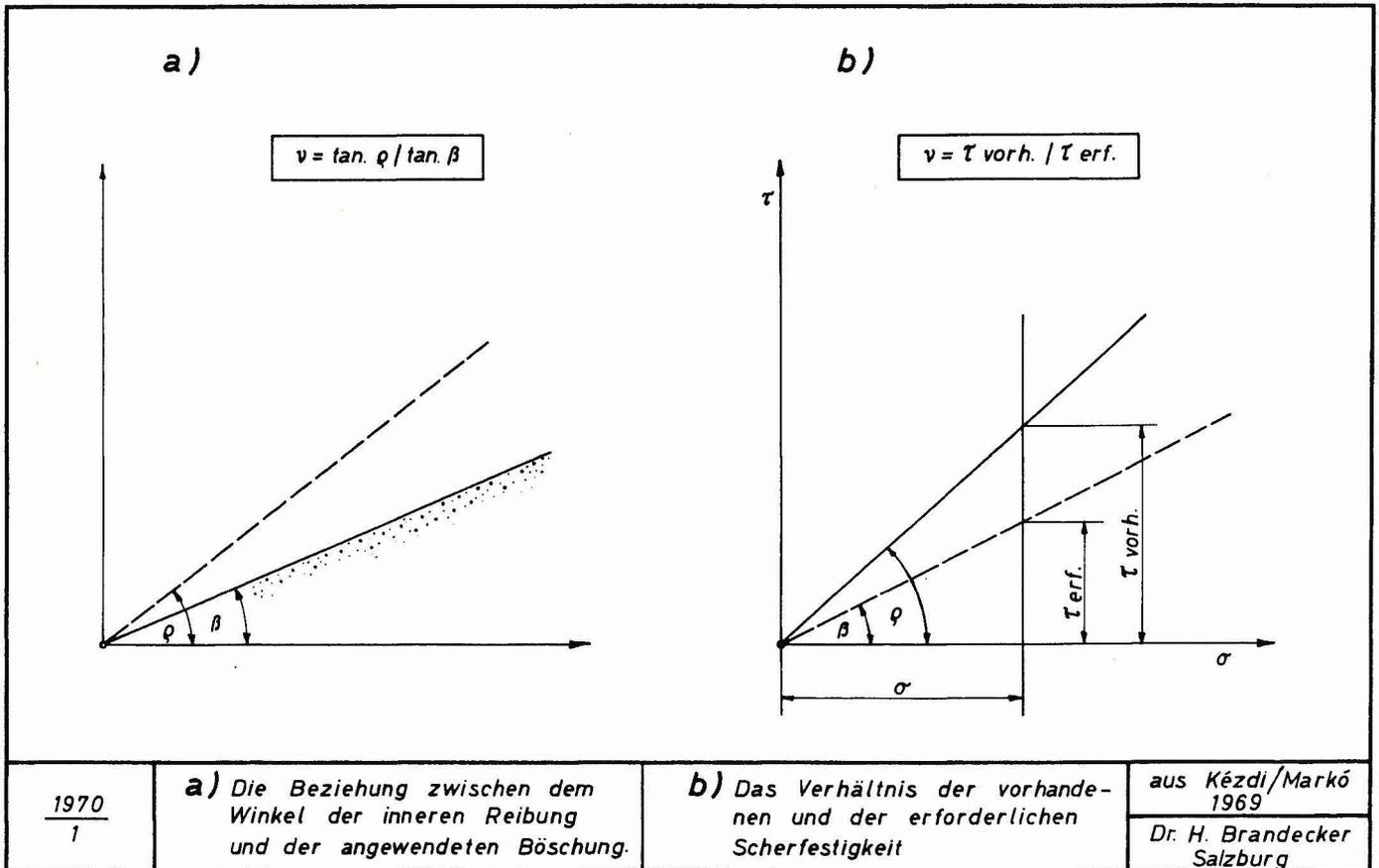


Abb.1

Treten aber – oft versteckte – Inhomogenitäten im Bodenaufbau auf, wie etwa fossile Rutschflächen mit Harnischen, schrägliegende Humuslagen in Schutthaldenböschungen u.dgl., muß auf Berechnungen verzichtet werden.

Wie schon erwähnt, kann durch Kapillarwasser und ebenso infolge mineralischer Verkittungen eine gewisse Haftfestigkeit vorliegen und eine größere Scherfestigkeit vorgetäuscht werden, die aber durch verschiedene Einflüsse rasch zum Abbau gelangt und daher nicht berücksichtigt werden sollte.

Während Einschaltungen rutschempfindlicher Böden die Gesamtstandsicherheit einer Böschung stark vermindern, bewirken Zwischenlagen von verfestigten Böden – etwa konglomerierte oder verkittete Schotter – eine Aussteifung und damit eine Erhöhung der Böschungsstabilität. Bei übersteilten Böschungen ist dennoch eine entsprechende Absicherung, vor allem der weicheren Zwischenschichten, vorzunehmen. Eine möglichst genaue Erfassung der Ausbildung und Mächtigkeit verschiedener Bodenschichten in vertikaler und horizontaler Richtung durch Erkundungen – insbesondere ihres weiteren Verlaufes und Zustandes hangeinwärts – ist deshalb unerlässlich für die Gesamtbeurteilung eines Anschnittes.

Leider ist bei uneinheitlichem Bodenaufbau der Grad der Sicherheit und damit auch die Größe des Risikos äußerst schwierig und nur ungenau zu erfassen. In *heterogenen* Böden sowohl eine

standsichere als auch wirtschaftliche Böschung zu gestalten, ist selbst für erfahrene Fachleute nicht immer einfach. Gelegentliche Rutschungen, die im Rahmen des übernommenen Risikos auftreten können, lösen bedauerlicherweise meist unberechtigte Kritik aus und führen schließlich zu übervorsichtigen Böschungsverflachungen, nicht erforderlichen Verkleidungen oder sonstigen Sicherungen.

Die öfter praktizierte Methode, eine übersteile Böschung herzustellen und dann im Laufe der Zeit auftretende Verflachungen durch Rutschungen zu riskieren, kann allerdings nur dann angewandt werden, wenn eine Gefährdung des Hinterlandes und der Straße nicht gegeben ist und bereits eingebaute Sicherungen oder Verkleidungen nicht sinnlos werden können. Ist dies aber zu befürchten, wird man im Vorhinein sowohl mit der Böschungsneigung als auch mit den Befestigungen auf ein Mindestmaß an Sicherheit gehen müssen.

Die grundsätzlichen Überlegungen bei der Projektierung müssen aber auch dahin gerichtet sein, die durch geotechnische Schwierigkeiten hervorgerufenen Mehrkosten einer Geländeanböschung jenen einer Dammschüttung im Falle einer Talwärtsrückung der Trasse gegenüber zu stellen. Abgesehen vom Massenausgleich, erweist sich meist die Herstellung eines *Doppelprofils* (bergseitig Anschnitt und talseitig Damm) als die günstigste Lösung, weil dadurch sowohl die Anschnitts- als auch die Dammhöhen wesentlich verkleinert werden können.

2.2.2 Wahl der Böschungsneigungen

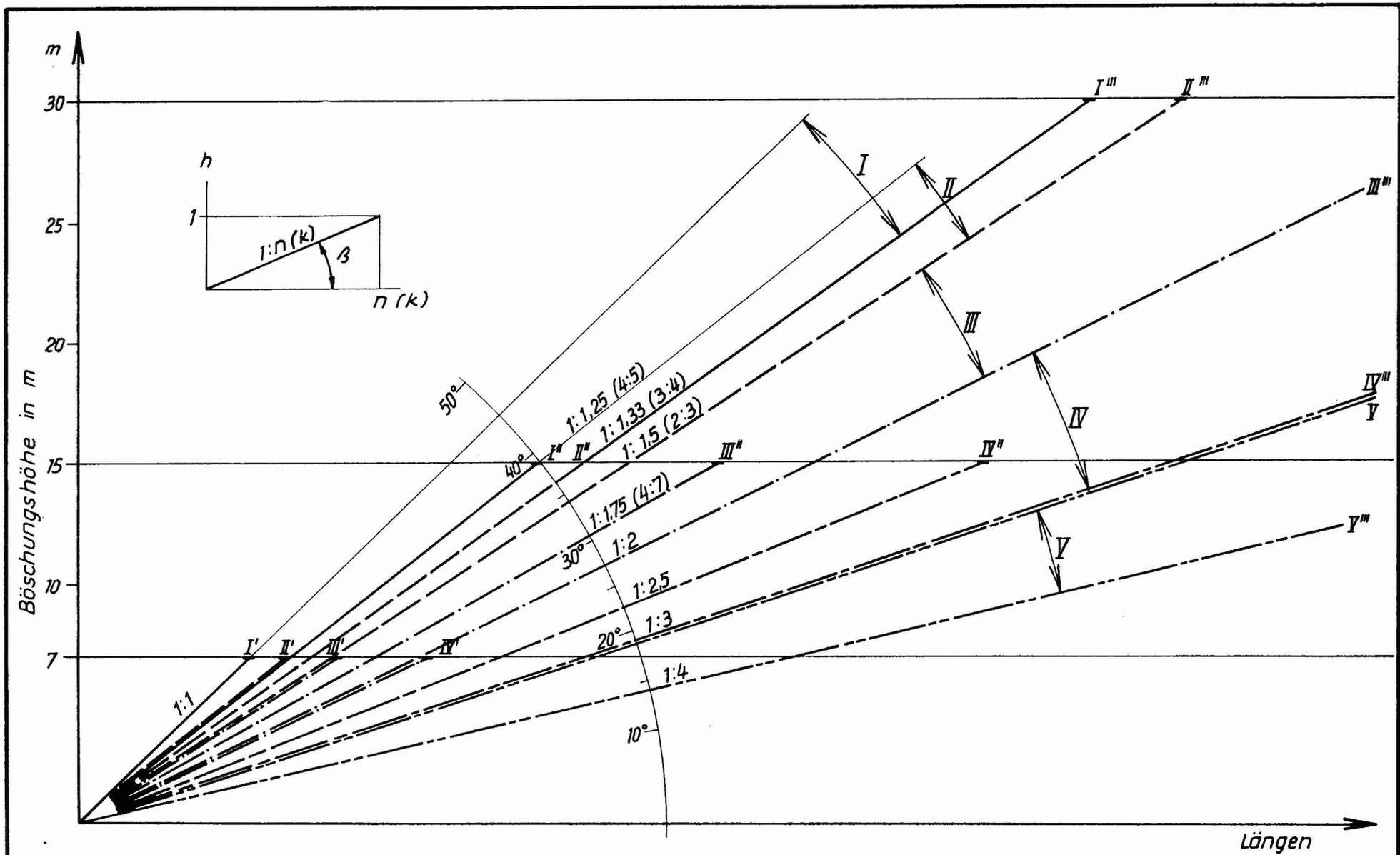
Wie schon eingangs erwähnt wurde, sind in der Natur besonders bei größeren Böschungshöhen und längeren Bauabschnitten nur selten einheitliche geologisch-bodenkundliche Verhältnisse anzutreffen. Außerdem ist der Einfluß des Wassers oder das Zusammenwirken mehrerer geologischer Gegebenheiten für die Beurteilung der Standsicherheit einer Böschung oft so bedeutend, daß bodenmechanische Berechnungen problematisch werden oder lediglich einer groben Abschätzung der günstigsten Neigung für die projektierte Böschung dienen. Unter bewußter Hintanstellung solcher Unsicherheiten werden für *grundwasser-* und *schichtwasserfreies*, nicht *verrutschtes* oder in *labilem* Gleichgewicht befindliches Gelände die in Abb.2 und 3 dargestellten Neigungen für *Entwurfsböschungen* empfohlen.

Die Festlegung der Neigungen erfolgt dabei für die verschiedenen Bodenarten und für die gewählten vier Höhenstufen nach Erfahrungen an schon längere Zeit stehenden Böschungen und Beobachtungen an Naturböschungen (J. STINI 1929). Die vorgenommene Unterteilung nach Böschungshöhen und Bodengruppen für typische oder häufig vorkommende Bodenarten ist verständlicherweise nicht ganz problemlos. So etwa bei der Einordnung veränderlich-fester Tonschiefer, Mergeltonen oder verfestigter, sandsteinartiger Böden, die den Hauptbestand des Schlieres der *Molasse* – der tertiären, mannigfaltigen Schichtfolge zwischen den *nördlichen Kalkalpen* und dem *Kristallin der böhmischen Masse* – darstellen. Ihre meist hohe Verwitterungsempfindlichkeit verlangt eine beträchtlich flachere Böschung, als derartige Gesteine in frischem Zustand dies ahnen lassen.

In Anpassung an örtlich günstige oder offensichtlich schlechte Bodenzustände oder sonstige Einflüsse auf die herzustellende *unbefestigte* Böschung in *natürlichem* Gelände bzw. unter Berücksichtigung selbst nur bescheidener Sicherungsmaßnahmen sind gewisse Abweichungen von den Tabellenwerten möglich. Ob eventuell die in Klammern gesetzten größeren Neigungen zur Ausführung gelangen können, hängt nicht zuletzt sehr wesentlich von einer witterungsbegünstigten Bauzeit und von der Baudurchführung selbst ab. Weiter ist auf Begrünungen und auf die Bewirtschaftung der Böschungsfächen Bedacht zu nehmen, was oft allein hinreichend Anlaß zu Verflachungen (etwa auf die in der Praxis sehr bewährte und weitverbreitete Neigung von 2 : 3) gibt. Die Neigung einer Böschung wird des öfteren auch von Schichteinschaltungen bestimmt, die eine besonders geringe Scherfestigkeit aufweisen.

Geologisch bedingte Änderungen der Böschungsneigungen sind allerdings nur bei entsprechenden Schichtmächtigkeiten angebracht.

Eine *tassenförmige* Böschungsgestaltung mit flacherer Neigung unten und zunehmender Versteilung nach oben kann unter Umständen anwendbar sein. Derartige Böschungsformen verlangen aber meist längs des Neigungsbruches Bermen, wodurch die Ersparnisse an Aushub und Grundinanspruchnahme wieder weitgehend aufgezehrt werden.



1970
2

Diagramm der Böschungsneigungen für Lockergesteine (Bodengruppen I bis V) in Abhängigkeit von den Böschungshöhen (maximal: I', II'.....; minimal: I'', II''..... - Neigungen)

H. Brandecker
Salzburg

BODENGRUPPEN	I	II	III	IV	V
Geologisch-bodenkundliche Bezeichnung der Böden (Beispiele)	Kantig-steiniges Bergsturzmaterial; verfestigter Hangschutt und Fels-Verwitterungsschwarte; verfestigte, schwach verkittete Schotter; geologisch vorbelastete, nicht aufweichbare Böden: z.B. Grundmoränen	Natürlich gelagerter Schotter mit guter Kornabstufung und schw. lehmiger Bindung, dicht gelagert (z.B. die meisten Terrassen-schotter); dicht gelagerter, grusig-steiniger Hangschutt; körnige (schotterige) Moränen; geologisch vorbelastete Sande (z.B. Schliersande u.dgl.)	Schotter und Sande mit mäßiger Lagerungsdichte; stärker verlehnte körnige Böden; schwach bindige, feinkörnige Verwitterungsböden; unverfestigter, locker gelagerter Hangschutt; steife und feste, nicht aufwitterbare und nicht rutschgefährliche bindige Böden	Locker gelagerte Sande, normale (nicht rutschtüchtige) Schlufftonböden; Lehm Böden jüngerer Bildung;	Organische Böden; Torf mit und ohne Schluffton; elastischer Schluff; wassergesättigte Schluffsande; rutschgefährliche (oder schon verrutschte) Tone u.dgl.
Böschungshöhen in m	je nach Lagerungsdichte u. Verfestig.: A-1-a/b (Bodeneinteilung nach Bureau of Public Roads)	größtenteils: A-1-a/b, A 2	Monokorn- u. Mischböden von A-1 bis A-4 (ev. wenig 6)	je nach Plastizität und Rutschempfindlichkeit: A-3, A-4, A-5 (A-6)	A-5, A-6, A-7, A-8
0 bis 7	1 : 1 (1 : 0,8 = 5 : 4)	1 : 1,25 = 4 : 5 (1 : 1)	1 : 1,5 = 2 : 3	1 : 2	1 : 3 (und flacher)
7 bis 15	1 : 1,25 = 4 : 5 (1 : 1)	1 : 1,33 = 3 : 4 (4 : 5)	1 : 1,75 = 4 : 7	1 : 2,5 = 2 : 5	1 : 4 (?) (Sonderfall)
15 bis 30	1 : 1,33 = 3 : 4 (4 : 5)	1 : 1,5 = 2 : 3 (3 : 4)	1 : 2	1 : 3 (?) (Sonderfall)	Sonderfall
höher als 30	Seltene Sonderfälle. Meist kein einheitlicher Bodenaufbau, daher besondere geologische und bodenmechanische Untersuchungen.				
Anmerkung:	Die Zahlen in Klammern geben allenfalls mögliche Böschungsneigungen nach erfolgten Sicherungen (baulich, biologisch) und Entwässerungsmaßnahmen.				
1970 / 3	BÖSCHUNGSNEIGUNGEN (für ENTWURFSBÖSCHUNGEN) IN LOCKERGESTEINEN BEI VERSCH. BÖSCHUNGSHÖHEN				H. Brandecker

Abb.3

Niedere Böschungen bis zu etwa 2 m Höhe sollten allein aus ästhetischen Gründen möglichst flach gehalten werden (mindestens 1 : 2), sofern nicht besondere Umstände, wie etwa die Grundinanspruchnahme, zu Versteilungen zwingen. Es ist auch mancherorts üblich, Böschungen von 4 bis 6 m Höhe ebenfalls nicht über 2 : 3 hinaus zu versteilen, vorausgesetzt, es spielt der Preis für den Grunderwerb und für den Mehrabtrag keine Rolle oder es ist eine solche Maßnahme durch die damit erlangte Sicherheit gerechtfertigt.

Es sollte schließlich dem Einfühlungsvermögen der Bauleitung wie auch der sorgsamen Arbeitsweise der Firma obliegen, die *Entwurfsböschung* den jeweiligen geologischen Verhältnissen und sonstigen, bei der Projektierung nicht erfassbaren Einflüssen (Witterung) anzupassen. Gleichfalls ist auf den Übergang zwischen Böschung und Gelände durch großzügige Ausrundungen zu achten, wodurch nicht nur die Einfügung des Anschnittes in das Gelände landschaftsbildlich besser wirkt, sondern auch die Gefahr von Schwund- und Zugrissen (Wasserversickerung) längs der Böschungsschulter weitgehend verhindert wird. Je nach Böschungshöhe und Mächtigkeit der Verwitterungsschwarte sind für Ausrundungen Radien von etwa 3 bis 7 m zu wählen. In besonderen Fällen kann es auch zweckmäßig sein, noch weichere Linien anzuwenden.

Mitunter ist es sogar ratsam, vor Herstellung der Böschung Geländeabtragungen oder zumindest Hangabflachungen im Schulterbereich der Böschung vorzunehmen, um die Höhe der eigentlichen Böschung auf ein erträgliches Maß zu vermindern. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine sinnvolle Rekultivierung bzw. Wiederbereitstellung solcher Abtragsflächen für die Landwirtschaft oder als Bauland.

Bei kleineren Kurvenradien (Krümmungselementen) kann sich übrigens eine im Grundriß konvexe Böschung durch Herabsetzung und eine konkave durch Vergrößerung der freien Standhöhe spürbar auswirken.

2.2.3 Bermen (Banketten, Etagen)

Die Anlegung von *Bermen* (auch *Banketten* oder *Etagen*) zur Unterbrechung von Böschungen wird teilweise befürwortet, in weiten Fachkreisen wieder grundsätzlich abgelehnt. Für den Verzicht auf Bermen sprechen Erschwernisse bei der Herstellung und auch die erhöhte Gefahr einer Versickerung von Schmelz- und Niederschlagswässern, sofern eine wasserdichte Abdeckung auf Dauer nicht gesichert ist. Die Einschaltung von Bermen kann andererseits sinnvoll, zweckmäßig, sogar notwendig sein, wenn hohe Steilböschungen aus Bewirtschaftungs- und Erhaltungsgründen eine Begehbarkeit verlangen oder wenn besondere geologische Gründe hierfür vorliegen: beispielsweise bei vorhandenen wasserstauenden Bodenschichten, Härtlingshorizonten, etwa konglomerierten Schotterbänken (siehe Abb.4 und 5) oder um damit höhere Böschungsabschnitte in den Fels legen zu können.

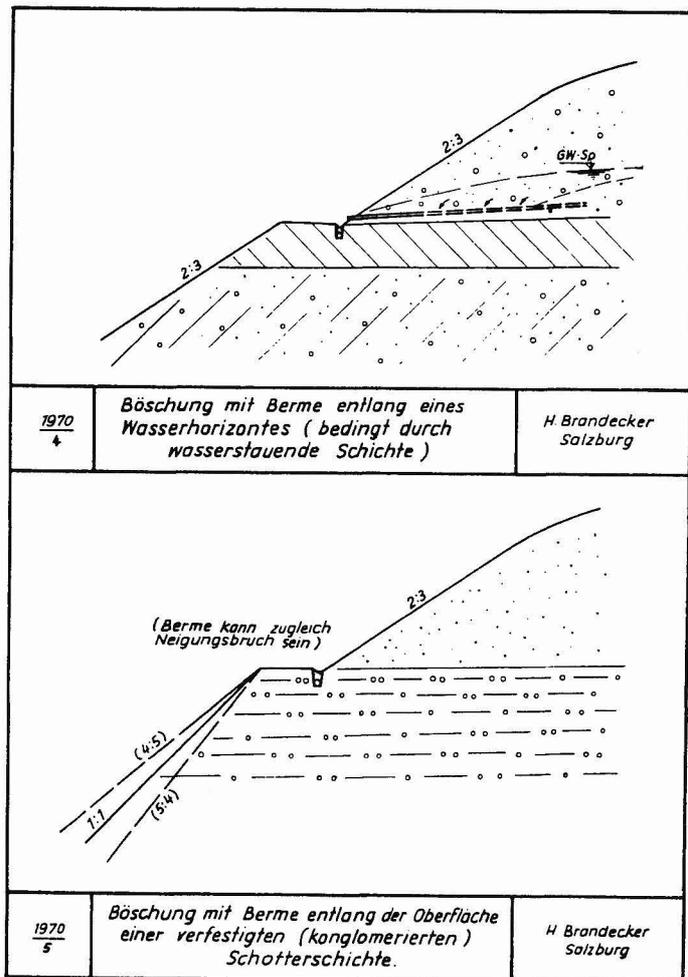


Abb.4 und 5

Die tunliche Vermeidung von Bermen in natürlichen Lockermassen schließt also deren Herstellung in Sonderfällen keineswegs aus. Bei der Errichtung von Bermen ist aber erfahrungsgemäß eine Mindestbreite von 2 m oder besser von 3 m einzuhalten, um nötigenfalls eine Befahrung mit kleineren Fahrzeugen und Gerätschaften zu ermöglichen. Bei entsprechenden geologischen Voraussetzungen kann übrigens der durch Bermen entstandene Mehrabtrag und die erweiterte Bodenanspruchnahme durch Versteilung der Böschung oberhalb einer solchen Verebnung wieder wettgemacht werden.

Zur Vermeidung starrer Linienführungen werden gelegentlich auch *unterbrochene* oder *versetzte Bermen* vorgeschlagen. Ihr Nachteil liegt aber in der Herstellung, Bewirtschaftung und erschwerten Ableitung der längs der Bermen gestauten und gesammelten Wässer.

2.3 BÖSCHUNGSVERKLEIDUNGEN UND BÖSCHUNGSSICHERUNGEN

2.3.1 Allgemeines

Die Notwendigkeit von *Böschungsverkleidungen* (auch *Böschungsbekleidungen*), *Abstützungen* oder sonstigen *Baumaßnahmen* zur Absicherung von Anschnitten ist gegeben, wenn dies Raumgründe, nicht zustandekommende oder nicht zielführende Verschnitte mit dem Gelände (trotz größtmöglich angewandter Neigungswinkel) erfordern. In solchen Fällen ist zunächst eine Verbesserung der Scherfestigkeit des Bodens und damit des Grenzwinkels der Böschung durch Entzug von Bodenwasser und durch biologische Verbauungen herbeizuführen. Reichen diese Vorkehrungen nicht aus, bedarf es zusätzlicher, im Abschnitt 2.3.2 angeführter Baumaßnahmen.

Die Festlegung der günstigsten und zweckmäßigsten Art der geotechnischen Sicherungen von Böschungen hängt aber wesentlich von den geologischen Verhältnissen und bodenmechanischen Überlegungen ab, wobei nicht nur der augenblickliche, sondern auch der oft erst im Laufe der Zeit sich einstellende Gleichgewichtszustand zu beachten ist, wie beispielsweise bei auflockernden, entfestigenden und leicht verwitternden Böden. Die Baumaßnahmen haben sich also nach jenen Gefahren zu richten, welche zu einer Beeinträchtigung der Stabilität der Böschung führen können. Dazu zählen vorwiegend Böschungsbrüche durch Absturz, Rotations-, Translations- oder Schollenrutschungen, Hangfließen, Hangkriechen oder Solifluktionserscheinungen infolge Bodenaufrostung.

Bei der Projektierung und Ausführung von Hangsicherungen ist überdies zu untersuchen, ob und in welchem Umfang neben direkten auch indirekte Maßnahmen erforderlich werden. Zu letzteren zählen oft weit außerhalb (meist oberhalb) des eigentlichen Anschnittes durchzuführende Entwässerungen, biologische Verbauungen, wie Schaffung von Bannwald und ähnliches. Schließlich ist der Zeitpunkt der Durchführung der Entwässerungen und Grünverbauungen entscheidend für den Erfolg, der umso größer ist, je früher sie vor dem Abtrag begonnen werden. Unregelmäßigkeiten des Bodenaufbaues oder unerwartete Oberflächen- und Tiefenwasser-Einwirkungen können die Wirksamkeit aller dieser Maßnahmen stark beeinträchtigen. Oft sind auch aus Wirtschaftlichkeitsgründen nur beschränkte technische Maßnahmen möglich. Ob schon erste oder provisorische Vorkehrungen ausreichen und hinlängliche Sicherheit gegen Böschungs- oder Geländebrüche gewährleisten, kann mitunter erst durch langzeitige Beobachtungen und Bewegungskontrollen bewiesen werden.

Die wichtigsten Verkleidungen, Stütz- und Sicherungsmaßnahmen von Anschnitts- und Einschnittsböschungen in den *Lockergesteinen* (*Deckschichten, Überlagerung* usw.), die bekanntlich in schwierigem Gelände enorme Kosten und einen hohen Prozentsatz der Bausumme ausmachen, seien nachstehend angeführt.

2.3.2 Bautechnische Sicherungen

a) Futter- oder Wandmauern

als Schwergewichtsmauern oder als verankerte, eventuell von oben nach unten oder im Schutze von Spundwänden hergestellte Mauern (Abb.6,7 und 8 sowie Abb. I und II).

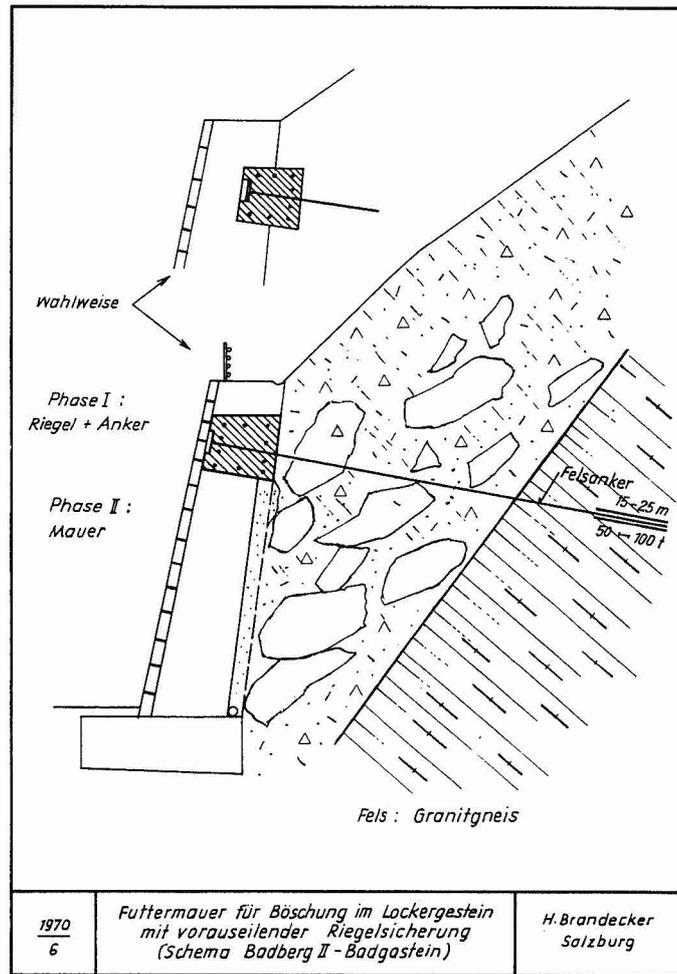


Abb.6

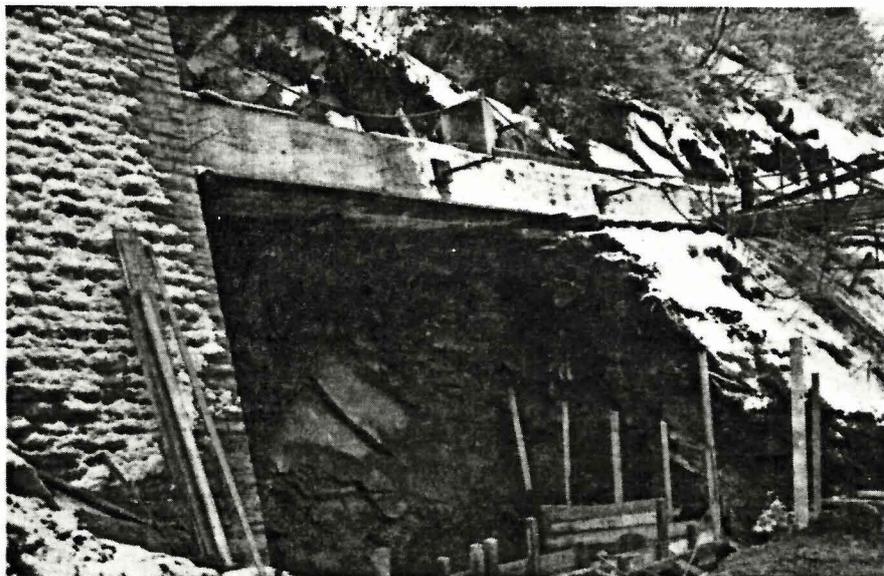


Abb.I. Verankerungsriegel als vorausseilende Sicherung bei der Herstellung der Futtermauer Badberg II bei Badgastein

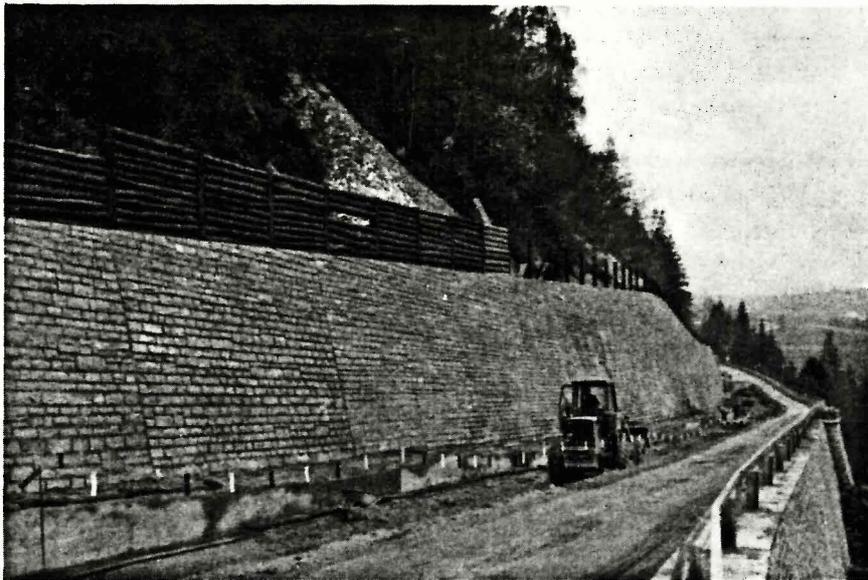


Abb.II. Futtermauer Badberg II bei Badgastein im fertigen Zustand mit anschließender Steinschichtung

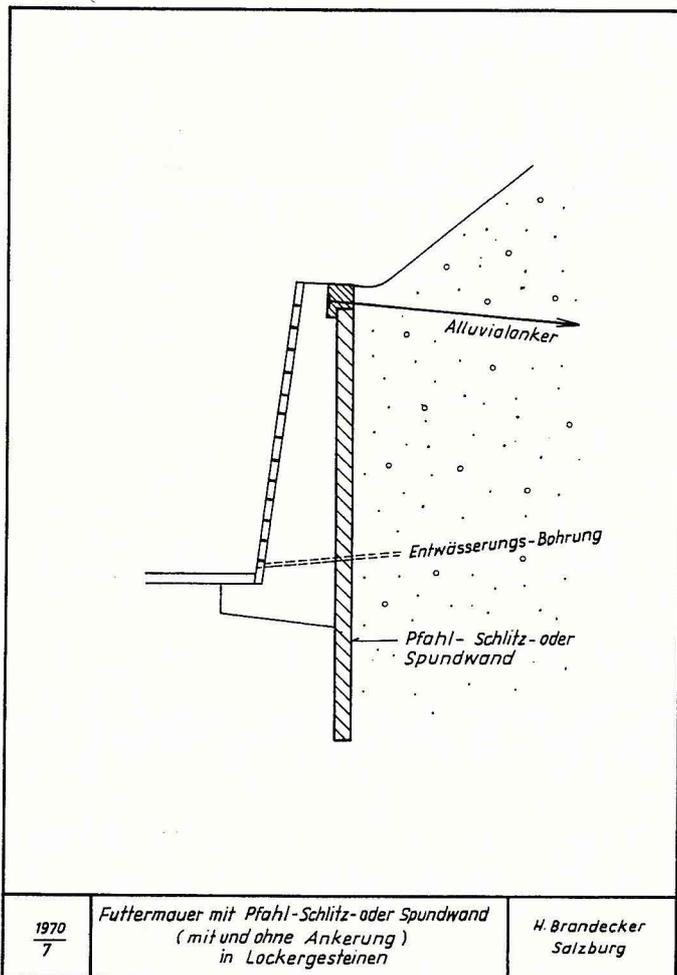


Abb.7

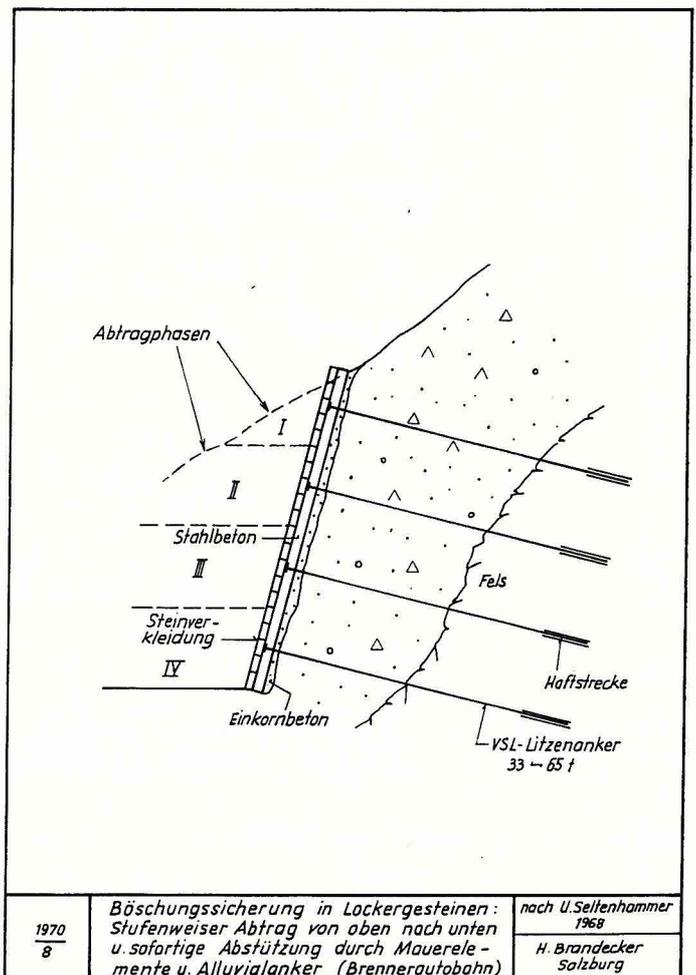


Abb.8

b) Verankerte Balkenroste

verschiedener Ausführung; z.B. bestehend aus horizontalen, vorgeankerten Balken und stehenden Pfeilern (Abb.9), die als Stützkörper für gebundene oder grobsteinige Gerüstböden, wie Moränen, Blockhalden u.dgl., geeignet sind. Die Zwischenfelder werden durch bewehrten Spritzbeton abgedeckt.

c) Böschungfußmauern aus Fertigteilen

meist als Hohlblockformsteine mit Betonkernfüllung und zusätzlicher Bewehrung; diese Art wird häufig in Skandinavien angewendet.

d) Spritzbetonsicherungen

verstärkt durch Baustahlgitter und Verdübelungen zur vorübergehenden, aber auch zur definitiven Böschungssicherung (Abb.10).

e) Beton-, Pfahl- oder Schlitzwände, Brunnenwände

als statische Elemente (für Mauern) mit Bewehrung und allenfalls zusätzlichen Verankerungen durch Alluvial- oder Felsanker.

f) Larssen- (z.T. Holz-) Spundwände

ohne und mit Verankerung zur statischen Unterstützung von Mauern, anstelle von Pöhlungen oder zur vorübergehenden Böschungssicherung.

g) Raumgitterstützmauern

auch *Krainerwände* oder *cribbing walls* aus Betonfertigteilen (seltener aus Holz für vorübergehende Böschungssicherungen) zur Abstützung instabiler und durchfeuchteter Böschungen (Abb.11 sowie Abb.III und IV).

h) Steinschichtungen

ausgezwickelt oder vermörtelt sowie ausgezwickelt und vermörtelt, meist für steilere, jedoch nicht allzu hohe Böschungsverkleidungen oder zur Sicherung der Böschungsschulter oberhalb von Schwergewichtsmauern (Abb.V).

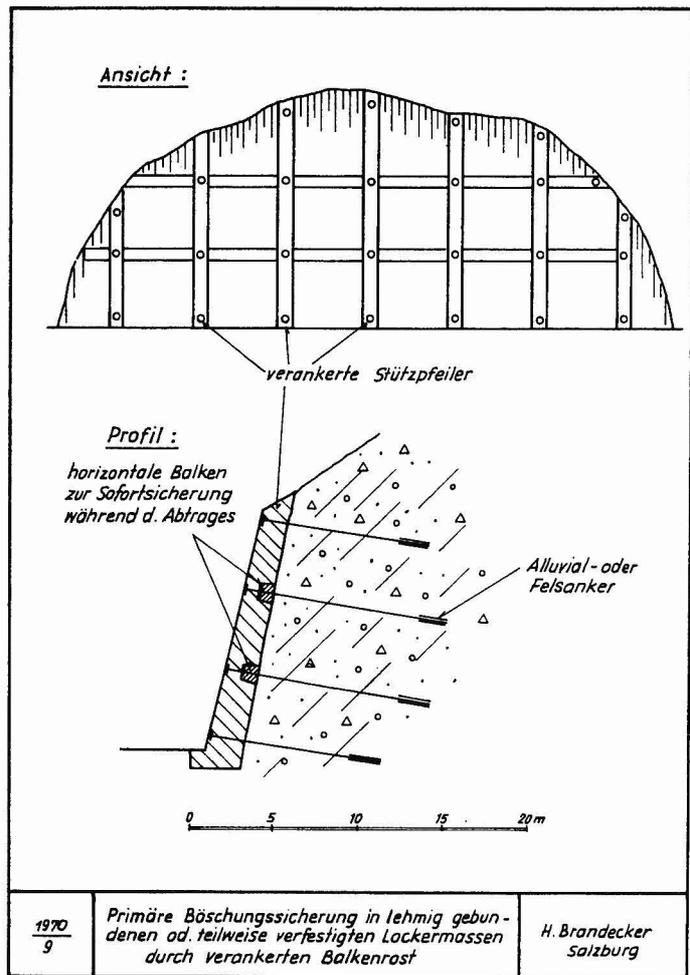


Abb.9

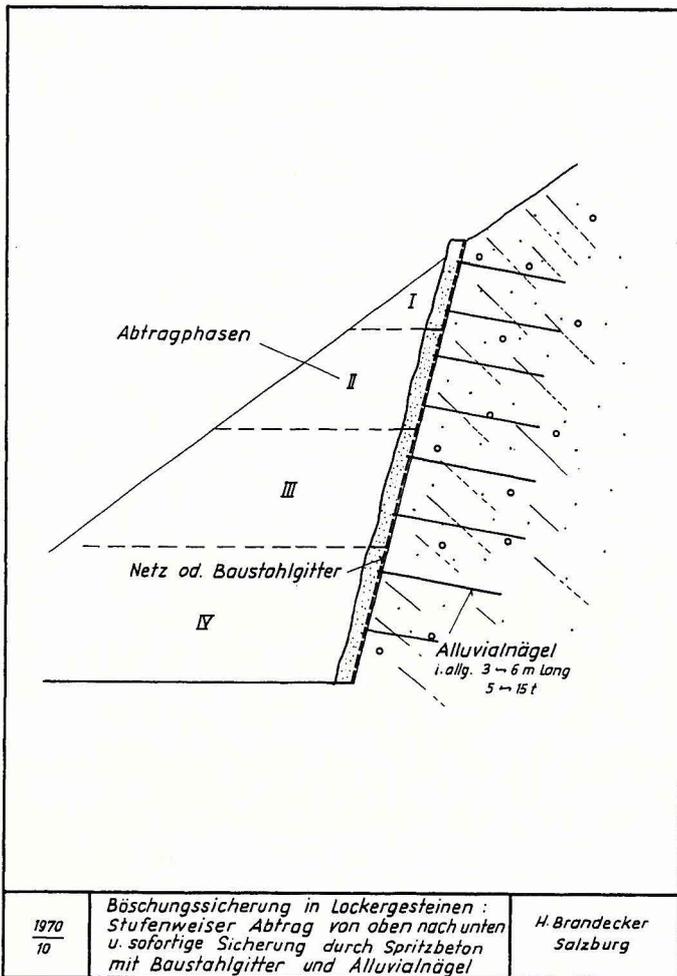


Abb.10

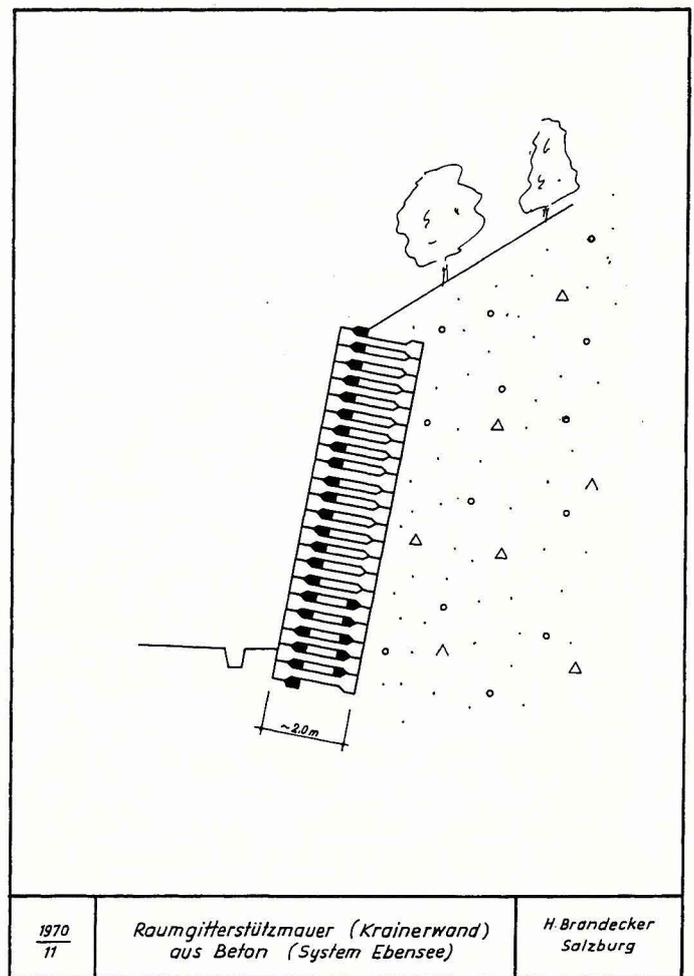


Abb.11

i) Steinkeile oder Steinvorsätze, Schotterkoffer

aus Blockwerk oder Kantschotter in verschiedenen Ausbildungen in Anpassung an die örtlichen Verhältnisse und technischen Möglichkeiten. Sie dienen nicht nur als Stützelemente – als Reibungsfuß zur Erhöhung der Scherfestigkeit am Böschungsfuß –, sondern auch der Entwässerung durchfeuchteter Böschungen (Abb.12a und b, 13a und b und 14a, b und c).

j) Stützrippen und Schotterwannen

aus Stein- und Schottermaterial mit gleichen Funktionen wie bei i); besonders geeignet bei stärkerem Hangwasserzutritt (Abb.15a und b).

k) Steinrippen (Trockenrippen)

zur Entwässerung und teilweisen Abstützung örtlich durchfeuchteter Böschungen (Abb.16).

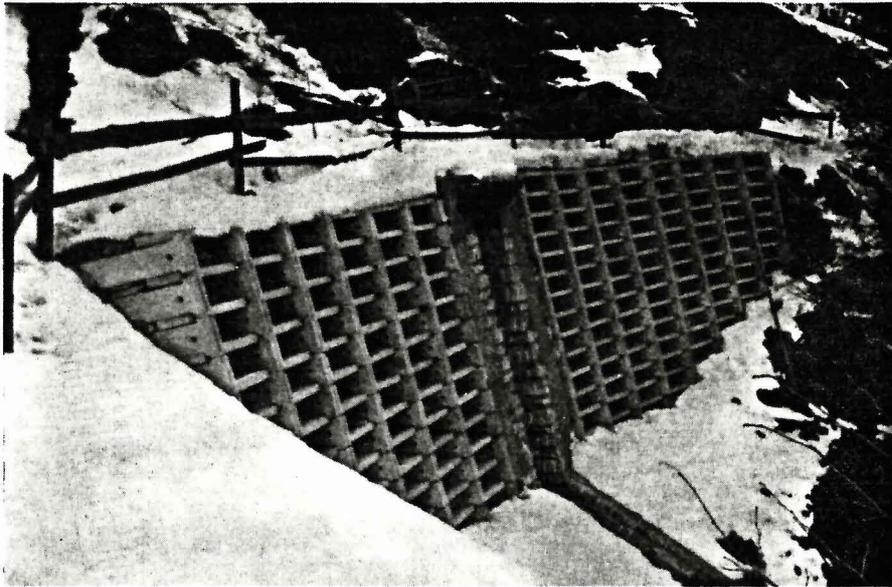


Abb.III. Raumgitterstützmauer zur Böschungssicherung (System Ebensee)

Diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit der in der Praxis bereits angewandten und bewährten vielseitigen Methoden zur Sicherung von Hanganschnitten bei Straßenbauten. Die aufgezeigten Baumaßnahmen können nötigenfalls in Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten variiert oder miteinander kombiniert werden. Ihre Anwendung hängt schließlich nicht nur von dem geologisch-bodenmechanischen Zustand des Untergrundes, sondern auch von der Anschnittshöhe und von landschaftlichen Gesichtspunkten entscheidend ab. Je nach der Art des Untergrundes, der vorhandenen Bodendurchfeuchtung sowie der Bewegungsempfindlichkeit des Anschnittes sind wasserwegige, nachgiebige, elastische oder aber auch mehr oder weniger starre Systeme zu wählen. Gewisse Sicherungen werden nur abschnittsweise und nur dann benötigt, wenn der Abtrag für die Böschung vorsichtshalber nur ringweise hergestellt werden darf; manche wiederum haben lediglich eine vorübergehende Stützfunktion zu erfüllen.

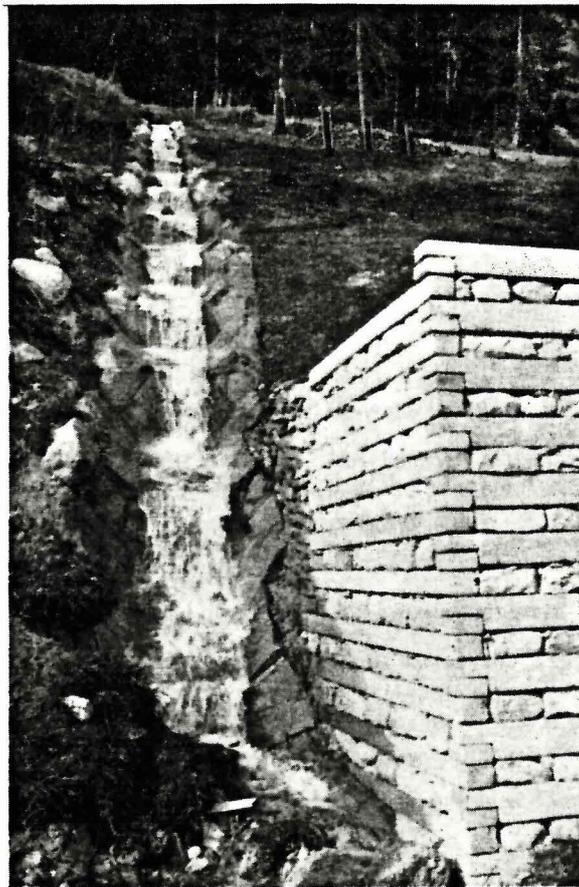


Abb.IV. Raumgitterstützmauer zur Böschungssicherung (System Flatscher)

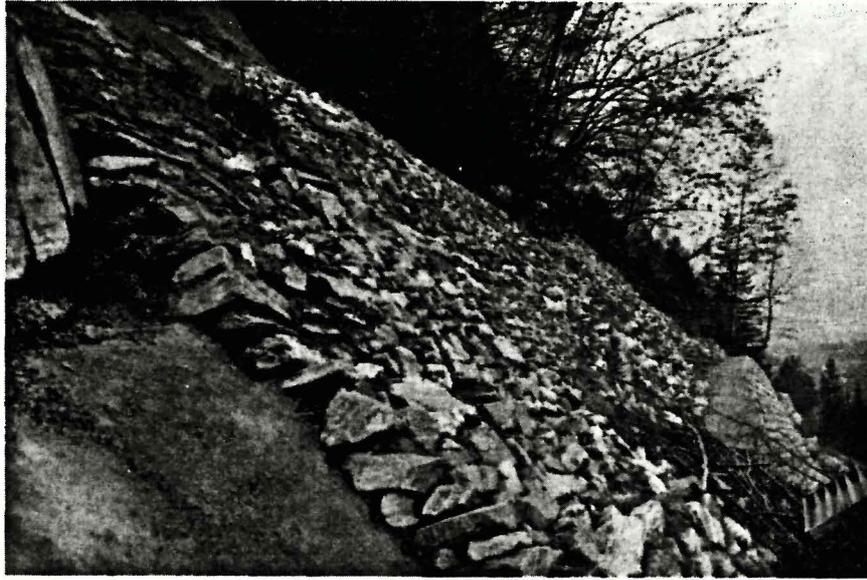


Abb.V. Steinschichtung zur Sicherung der Böschung oberhalb der Futtermauer Badberg II bei Badgastein

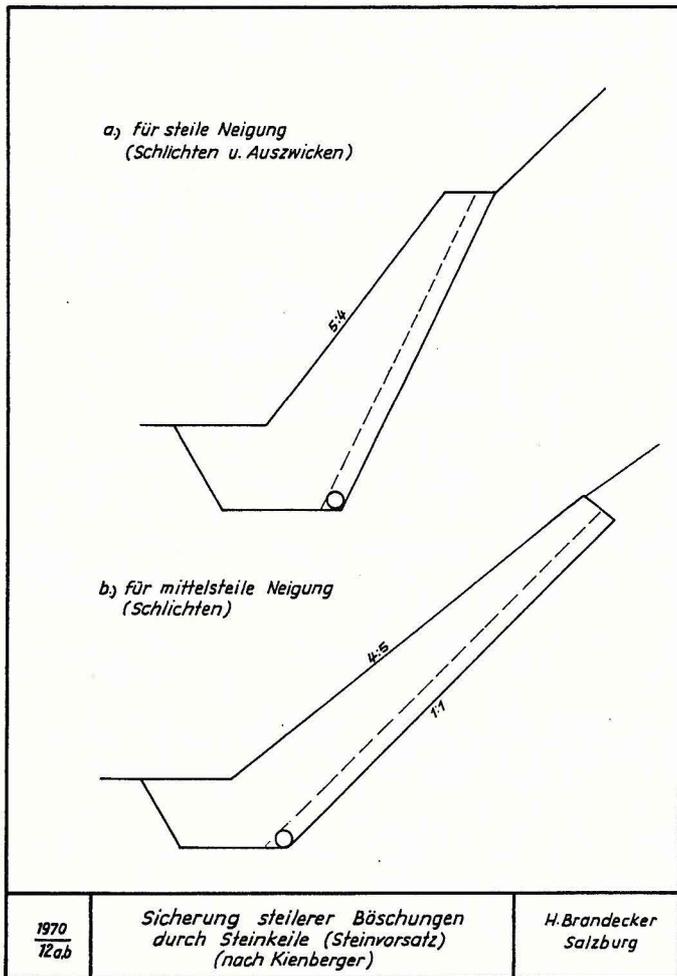


Abb.12

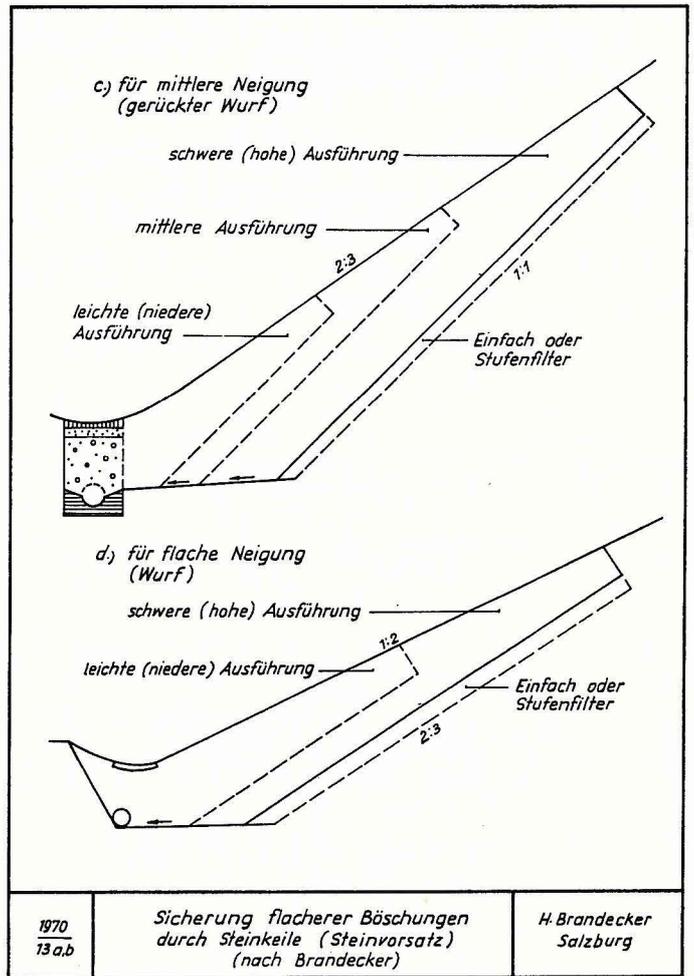


Abb.13

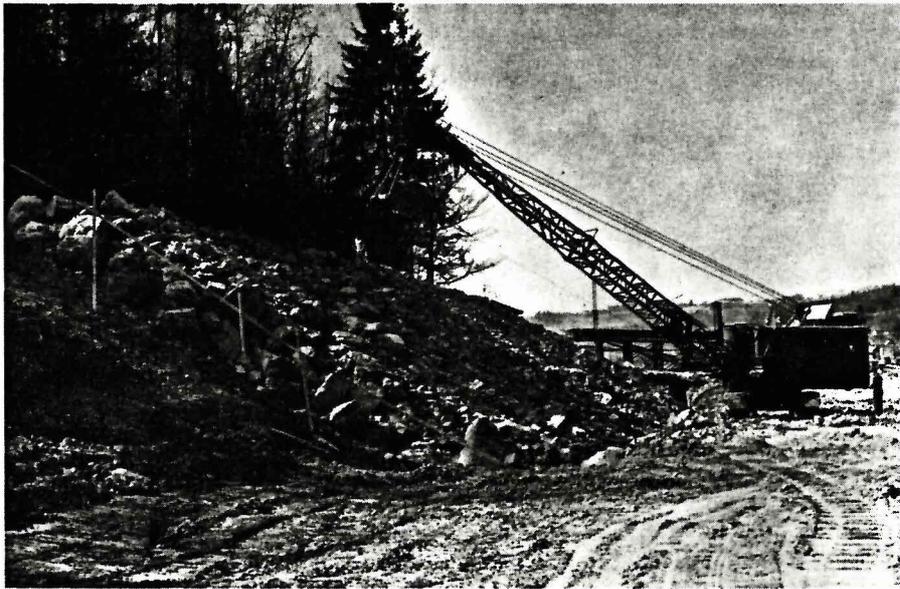


Abb.VI. Schwerer Steinkeil zur Sicherung einer Flachböschung im Bereich der Autobahn-Teilstrecke Graz – Gleisdorf

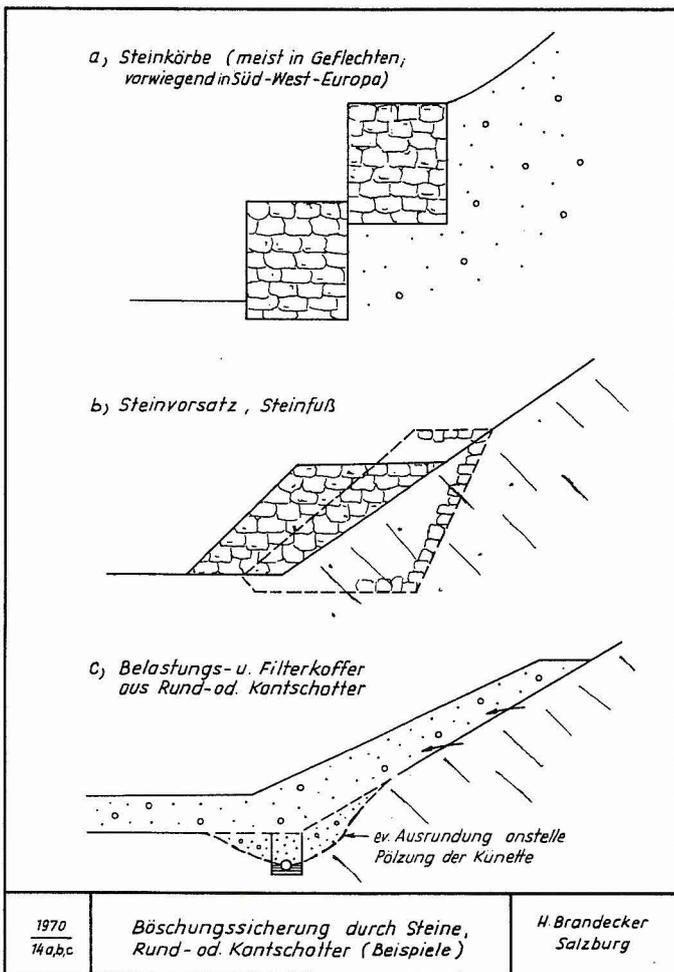


Abb.14

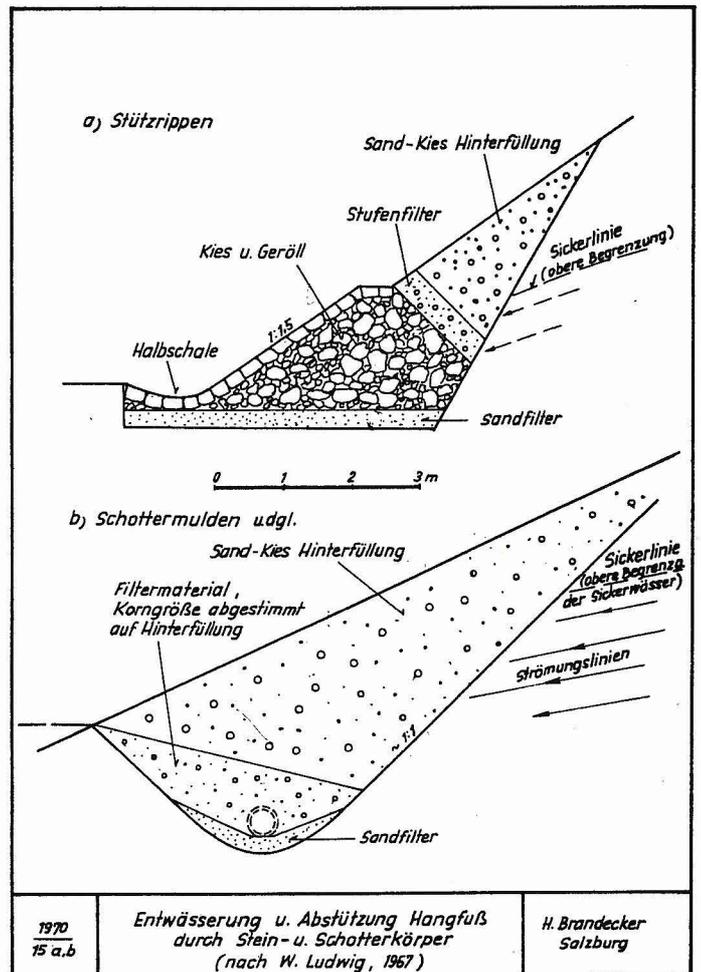


Abb.15

2.3.3 Entwässerungen

Zweck von Oberflächen- und Tiefenentwässerungen ist die Vermeidung von Erosionserscheinungen an unbefestigten Böschungen bzw. die Herabsetzung des Porenwasserdruckes im Boden, mit der eine Erhöhung der Scherfestigkeit der Böschung verbunden ist. Dies gilt besonders für rutschgefährliche oder brüchige Ton- und Schluffböden, für Mosaikböden und für gleichkörnige Sande, in denen durch anhaltende Wasserzufuhr ein erhöhter Strömungsdruck – eine hangparallele Durchströmung – zu einer Bodenverflüssigung und damit zu Schlammströmen oder breitartigem Fließen führen kann.

Die Wahl der Wasserfassungen in Böschungen und im Gelände richtet sich nach den Bodenverhältnissen, der Erscheinungsform des Wassers, seiner Schüttmenge und anderen, örtlich sehr unterschiedlichen hydrogeologischen Faktoren. Im wesentlichen erstrecken sich diese Maßnahmen auf die nachstehend angeführten Entwässerungen oder Wasserableitungen.

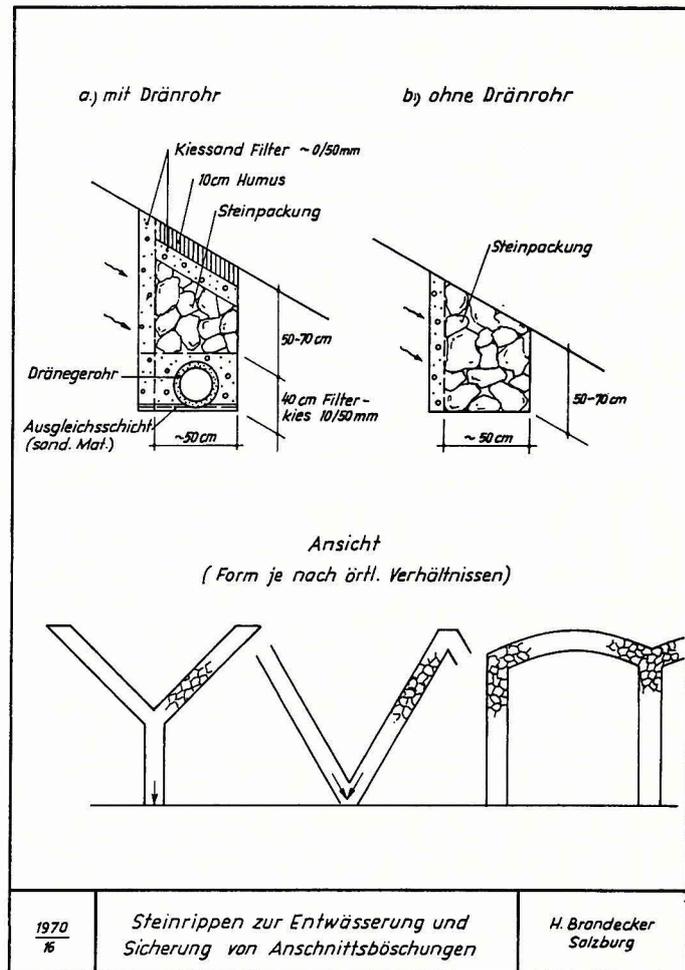


Abb.16

a) Hang-Vorentwässerungen

von *Untertagewässern* durch Schilddrän, Sickerschlitze, Entwässerungsbohrungen u.dgl.; von *Oberflächenwässern* durch Ableitung von Rasenmulden, Halbschalen, künstlichen und natürlichen Gerinnen – mit Bedachtnahme auf deren Sanierung – oft schon weit oberhalb des eigentlichen Anschnittes. Dazu gehört auch die schadlose Ableitung von Abwässern aus Häusern und Stallungen. Vorhandene Geländemulden, die eine Versickerung von Oberflächenwasser begünstigen, sind aufzufüllen; wasserstauende Erdwälle (z.B. Humusdeponien) u.dgl. sind zu beseitigen bzw. zu vermeiden. Eine indirekte Beeinflussung des Wasserhaushaltes außerhalb der eigentlichen Böschung ist durch die Art der Grünverbauung gegeben, auf die besonders zu achten ist und welche nötigenfalls verbessert werden muß, z.B. durch die Erhaltung von Bannwald.

b) Ableitungen von Oberflächenwässern im Böschungsbereich

etwa durch Halbschalen oder Fanggräben entlang der Böschungsschulter oder längs Bermen, Steinrippen usw. zur Vermeidung von unkontrolliert oder konzentriert über Böschungen abfließenden, erodierenden Wässern.

c) Tiefenentwässerungen im Böschungsbereich

vor, während und nach dem Abtrag, z.B. durch Dränagen verschiedener Tiefe und Ausbildung, Steinkeile, Schottermulden, Horizontalbohrungen, Auftriebs- oder Versickerungsbrunnen, Vakuum-Brunnen oder auch nach der Methode der Elektroosmose; schließlich Quelfassungen oder entwässernde Hangausschlitzungen u.dgl. (Abb.12 bis 16).

Eine wirksame Entwässerung setzt allerdings die Wahl des technisch richtigen Systems und eine genaue Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse voraus. Weiter ist zu beachten, daß feinkörnige Böden mit geringen k_f -Werten nur sehr zögernd das in ihnen gespeicherte und nur langsam strömende Grundwasser abgeben und daher die Entwässerungen so zeitgerecht in Angriff genommen werden müssen, daß sie noch vor Baubeginn möglichst voll wirksam werden. Bei gering wasserdurchlässigen, bindigen Böden versagen oft die üblichen Entwässerungssysteme, und dort sind am ehesten elektroosmotische Methoden angebracht. Um die Erosion von Bodenfeinteilen und deren Einspülung in das Ableitungssystem zu vermeiden, sind Sand-Kies-Schutzfilter einzubauen. Die Körnung derartiger Filterkörper ist dem Boden oder der Korngröße eines vorhandenen Stützkörpers anzupassen, wobei auch Stufenfilter notwendig werden können.

Hinsichtlich der Funktionsdauer der verschiedenen Entwässerungssysteme ist zwischen *vorübergehenden* und *ständigen*, daher bei letzteren erhaltungspflichtigen und laufend zu kontrollierenden Anlagen zu unterscheiden. In diesem Zusammenhang sei auch auf die wichtigen Beweissicherungen von bestehenden Trink- und Nutzwasserversorgungen – auf vorhandene Wasserrechte und damit auf oft recht kostspielige Ersatzansprüche – hingewiesen. An die Herstellung von Dienstbarkeiten ist zu denken, wenn sich die Anlagen außerhalb des eigentlichen Baubereiches auf fremdem Grund befinden. Manchmal ist schon durch geringen Mehraufwand bei der Fassung von Tiefenwässern deren Heranziehung als Trinkwasser (etwa als Ersatzwasser) möglich, und dann sollte eine solche Gelegenheit nicht versäumt werden.

2.3.4 Biologische Verbauungen

Die durch den Lebendverbau bezweckte Böschungssicherung erstreckt sich auf die Hintanhaltung von oberflächennahen Erosionserscheinungen durch Verwurzelung und auf eine Bodenverfestigung im allgemeinen sowie auf einen – bis 3 m unter die Geländeoberfläche reichenden – Entzug des Bodenwassers. Mit den Böschungsbegrünungen soll jedoch nicht nur eine rasche Vernerbung der Geländeanschnitte bezweckt, sondern auch deren harmonische Einfügung in die Landschaft erzielt werden.

Wirtschaftliche Überlegungen und praktische Erfahrungen haben in den letzten Jahren immer häufiger zu neuartigen Böschungsbegrünungen und insbesondere zu solchen ohne Aufbringung von Mutterboden oder Rasenziegeln geführt. Es handelt sich dabei um die Begrünungstechnik durch eine Saat auf einer Stroheckschicht bei humuslosen oder humusarmen Böschungen. Diese *Strohecksaat-Methode*, *Strohmulch-Saatverfahren*, *Fastrosa* (in der Bundesrepublik Deutschland) und mit anderen Synonyma bezeichnete humuslose Schnellbegrünung wurde in Österreich besonders von Ing.Dr. H.M. SCHIECHTL entwickelt und daher unter dem Ausdruck *Schiechtelein* bekannt.

Der Vorteil dieses schon weitgehend mechanisierten und daher für große Flächen sehr wirtschaftlichen Verfahrens liegt in der besseren Haltbarkeit bei steileren (etwa über 2 : 3 geneigten) Böschungen gegenüber aufgebrachten (erosionsempfindlichen) Humusschichten, in der weitgehenden Witterungsunabhängigkeit, in einem jahreszeitlich viel längeren Anwendungsbereich, der besonders bei ungünstigen klimatischen Verhältnissen (etwa in höher gelegenen Gebirgsstrecken) wesentlich ist.

Außer den zahlreichen Decksaaten – wie *Mulchung*, *Heublumensaart*, *Strohecksaat*, *Hydrosaat*, *Schaumsaat*, *Mattensaart* u.dgl. – gibt es noch zahlreiche andere ingenieurbio-logische Bauweisen zur Sicherung von Böschungen oder zur Sanierung von Hanganrissen, wie beispielsweise

Weidenspreitlagen, Faschinen und Flechtwerke (Abb.VII),

Busch- und Heckenlagen,

Triebstecklinge und Fugenbepflanzungen,

Schilfsoden u.dgl. mehr.



Abb.VII. Grünverbauung einer Autobahnböschung mittels Weidenspreitlagen

In manchen Fällen ist eine Ergänzung der Grünverbauung durch Stützbauten oder sonstige Befestigungen erforderlich, wobei Holz-, Stein-, Beton-, Metall- oder Drahtschotter-Schwellen sowie Holz- oder Drahtgitterroste zur Anwendung gelangen. Dipl.Ing. H.J. WEBER schlägt eine Sicherung der Grünverbauung durch ein Skelett aus Baustahlgitter – dem sogenannten *Weber-Verbau* – vor (Abb.17). Er besteht aus aneinandergekuppelten und mit Erdmaterial ausgefüchten Baustahlskeletten, deren Stützwirkung noch durch eingetriebene Erdanker erhöht werden kann. Das Stahlgerüst hat die Aufgabe, bis zum vollen Wirksamwerden der Begrünung bei besonders gefährdeten Böschungen ein Abkriechen des Bodens oder Abreißen der Böschung zu verhindern.

Zu welchen Folgen nicht zeitgerecht durchgeführte Grünverbauungen führen können, zeigt Abb.VIII: eine in sandigen Boden 10 m tief

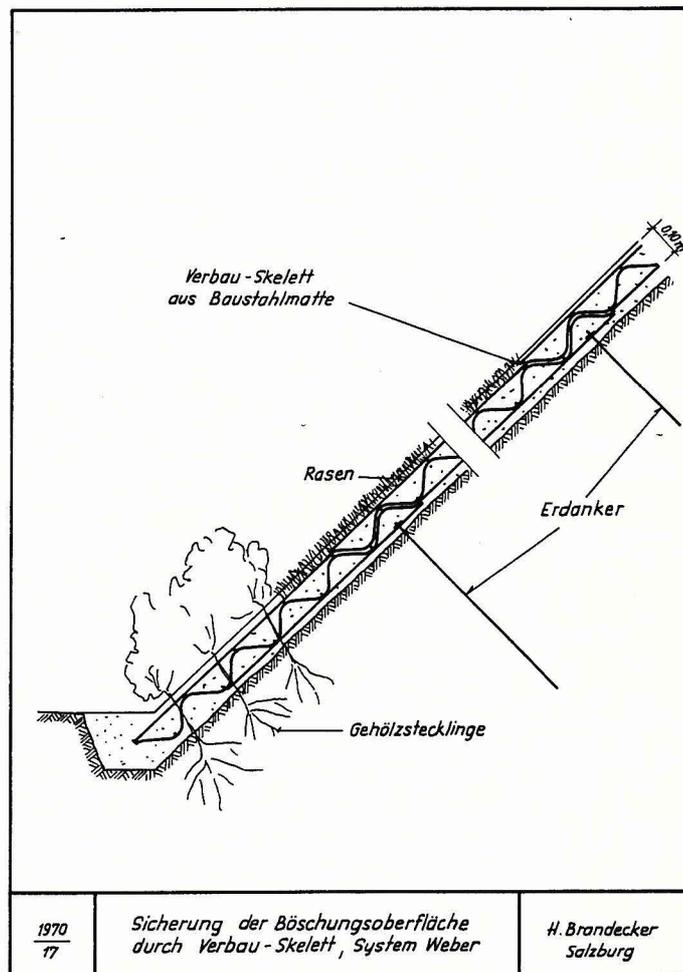


Abb.17

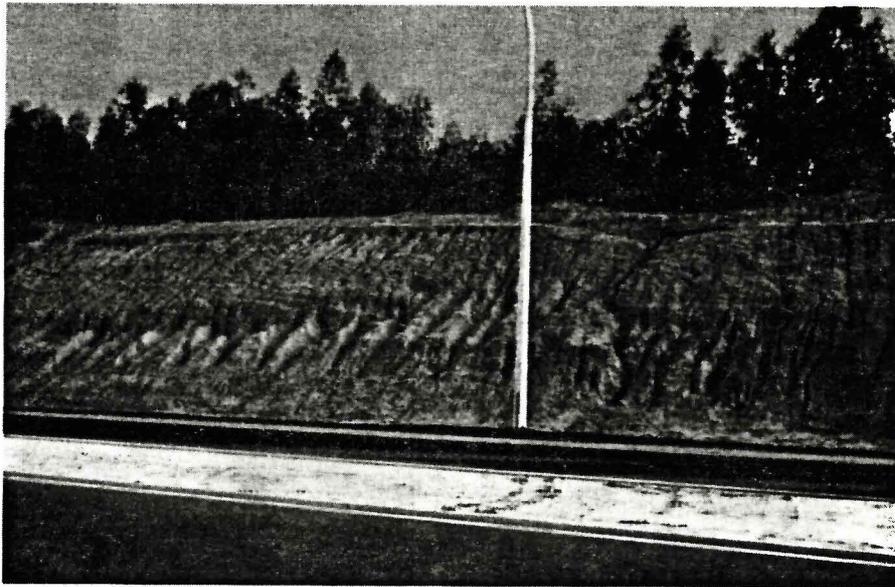


Abb. VIII. Böschungserosionen bis zu 2 m Tiefe in sandigen Böden mangels Grünverbauung

eingeschnittene Autobahnböschung wurde durch Niederschlagswasser stark zerfurcht und abgeschwemmt.

Noch ungünstiger als solche Ereignisse sind tiefgreifende Böschungsrutschungen, die nicht selten auf das Fehlen einer Grünverbauung zurückzuführen sind.

Zur indirekten Böschungssicherung gehört schließlich die Aufforstung des Geländes oberhalb von Böschungen oder etwa gar die Erhaltung eines Bannwaldes, der Schutz gegen Oberflächenwässer, Schneelawinen und Steinschlag bietet. Dagegen sind hochstämmige Bäume im Böschungsbereich nicht erwünscht, weil sie durch Winddruck Auflockerungen in der oberen Bodenschwarte verursachen und bei Windbruch die Sicherheit der Straße im höchsten Maße gefährden können. Bei Felsgesteinen kommt es außerdem nicht selten zu erheblichen Gefügauflockerungen durch Wurzelsprengung. An bestehenden Böschungen ist daher die Ausschlägerung stärkerer und höherer Bäume ratsam.

Bei größeren Böschungsbegrünungen unter schwierigen geologischen Verhältnissen sollte auf die Beiziehung eines Ingenieurbologen nicht verzichtet werden. Allein dadurch ist eine weitgehende Anpassung der Grünbauweisen an die bodenständige Vegetation, an die klimatischen Bedingungen und an die Erfordernisse des Untergrundes gewährleistet.

2.4 SONSTIGE MASSNAHMEN UND ALLGEMEINE HINWEISE

Bei Hanganböschungen ist zunächst die Beurteilung der Gesamtstandsicherheit des Geländes sehr wesentlich. Erfolgt ein An- oder Einschnitt in rutschbereiten oder gar in schon kriechenden oder verrutschten Hängen, sind eingehende Bodenuntersuchungen und meist auch besondere Baumaßnahmen erforderlich. Anböschungen in einem solchen Gelände verlangen vielfach einen Aushub von oben nach unten oder einen *ringweisen* Abtrag, dem unverzüglich Stützmaßnahmen folgen müssen. Versteilungen und Unterschneidungen, verursacht durch beginnenden Abtrag am Böschungsfuß, sind tunlichst zu unterlassen, da dadurch weit ausgreifende Bodenbewegungen ausgelöst werden können. Bei der Herstellung von derart gefährdeten Böschungen werden diese Regeln aus verschiedenen, häufig aus wirtschaftlichen oder zeitlichen Gründen nicht befolgt oder grob vernachlässigt. Es ist aber allein mit Rücksicht auf die möglichen Folgeerscheinungen und die letzten Endes damit verbundenen Kosten notwendig, alle Sicherungen hiefür, aber auch den allfälligen Mehraufwand durch umständlichere Arbeitsweise in der Bauausschreibung festzuhalten.

Die Beurteilung der Notwendigkeit und des Ausmaßes an Sanierungen und Stützungen von bereits in Bewegung befindlichen Böschungen ist naturgemäß besonders schwierig. Geeignete und richtig abgestimmte Gegenmaßnahmen können daher oft erst durch Bewegungskontrollen festgelegt werden. Manchmal erübrigen sich dadurch bauliche Maßnahmen, weil die Meßbeobachtungen ein Abklingen oder einen Stillstand der Bewegungen ankünden.

Rutschgefährdete und umgelagerte Hänge verlangen im Zuge ihrer Anböschung äußerst gewissenhafte, weit in das Gelände hinaufreichende Entwässerungen und – wenn möglich – großzügige Böschungsverflachungen. Für manche Fälle, beispielsweise bei seichten und noch im Anfangsstadium befindlichen Oberflächenbewegungen, eignen sich auch *Vernagelungen* mittels Holz- oder Eisenpiloten bis in den standfesten Untergrund oder die im Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Stützmaßnahmen.

Zur Ausschaltung von potentiellen Grenzflächen zwischen verwitterten und unverwitterten Böden, die nachweisbare Gleitzonen verursachen, ist der Abbau vorhandener Spannungsunterschiede durch *Kurzschlußsonden* oder *Kontaktstäbe* eine erfolgversprechende Methode. Erfahrungen zufolge kann damit für bestimmte Schluffton-Feinsand-Böden nicht nur eine Erhöhung der Reibung im Bereiche gefährlicher Scherflächen, sondern auch eine Stabilisierung bereits verrutschter Bodenmassen erreicht werden (Chr. VEDER 1968).

Jüngste Versuche von Böschungstabilisierungen in der Oststeiermark durch Kalk-Zement-Injektionen oder in Bohrungen eingebrachte Kalk-Soda-Lösungen – zur Bindung des Bodenwassers und Erhöhung der Scherfestigkeit – lassen zwar noch keine endgültigen Rückschlüsse über deren Wirksamkeit zu, verdienen aber nach bemerkenswerten Erfolgen weitere Beachtung.

Die Auslösung von Böschungsbewegungen ist mitunter auf unscheinbare Ursachen, manchmal auch auf eine unsachgemäße Herstellung der längs des Hangfußes verlaufenden Künetten für die Verlegung von Entwässerungsorganen zurückzuführen. Um solche Kerbwirkungen und damit die Entstehung von Gleitflächen zu verhindern, sollten nur unvermeidbare Grabenaushübe – und diese ebenfalls nur abschnittsweise und zügig – ausgeführt werden. In Verbindung mit der Aufbringung eines Belastungsfilters oder eines Steinkeiles am Böschungsfuß ist eine flachere Ausrundung anstelle eines tiefgreifenden Künetten-Aushubes in Erwägung zu ziehen, wobei freilich auf die erforderliche Frosttiefe zu achten ist (Abb.14c).

In der Tiefe geringe, jedoch großflächige Hanganböschungen mit meist sehr schleifenden Geländeverschnitten sollten tunlichst vermieden werden. Zumeist ist es besser, derartige Anböschungen versteilt anzulegen und nötigenfalls den Böschungsfuß durch eine niedere Mauer, eine Steinschichtung od.dgl. abzustützen.

Bei größeren Böschungs-An- oder -Einschnitten sind zumeist mehrere Probleme zu koordinieren, und zwar

der zeitlich günstigste Abtrag mit Bedachtnahme auf das Wirksamwerden der biologischen Verbauung und Entwässerung, auf Frosteinflüsse im Winter und zur Zeit der Schneeschmelze, die stärkeren Wasserandrang bringt und oft hinter der Frostzone zu einer Erhöhung des hydrostatischen Druckes führt, was wieder eine Verminderung der Scherfestigkeit zur Folge hat, und auf die Wiederverwendung und die zeitgerechte Einbaumöglichkeit bzw. Deponierung des Abtrages.

Schließlich ist noch zu bemerken, daß bei hohen und auf große Länge sich erstreckenden An- oder Einschnitten mit annähernd gleichartigen geologisch-bodenmechanischen Verhältnissen sogar die Schaffung einer Versuchsstrecke mit entsprechenden Meßeinrichtungen (Bewegungskontrollen) zweckmäßig für die Beurteilung der Böschungsneigungen sein kann.

Die Fundierung der Stützkörper und Verkleidungen verlangt im Zweifelsfalle einen Standsicherheitsnachweis. Dabei sind mögliche oder schon vorhandene Rutschflächen zu beachten, und die Gründungstiefe hat sich danach zu richten.

Weiter wird auf die aus Böschungen leicht herauswitternden Steine und Blöcke aufmerksam gemacht; sie sollten schon beim Abtrag entfernt oder durch Verhängung oder Einbettung auf Dauer verlässlich gesichert, ansonsten aber entfernt werden.

2.5 BEISPIELE VON BÖSCHUNGSGESTALTUNGEN UND BÖSCHUNGSSICHERUNGEN

Verschiedene geotechnische Sicherungen unter geologisch schwierigen und unterschiedlichen Bedingungen zeigt die schematische Systemskizze von Abb.18. Sind die voraussichtlichen, ergänzenden Baumaßnahmen schon im Detailprojekt enthalten, kann bereits ein guter Überblick über den zusätzlichen Kosten- und Zeitaufwand gewonnen werden (Ausschreibungsunterlagen).

In nachstehenden Beispielen werden einige solche Sicherungen an geologisch unterschiedlich aufgebauten, jedoch nicht in akuter Bewegung befindlichen Böschungsanschnitten beschrieben und dargestellt.

Böschungssicherung durch verankerte Stützmauer

Der Ausbau der Gasteiner Bundesstraße im Raume des *Badberges* verlangte bis 10 m hohe Anschnitte in einem aus Moränen und Blockschutt bestehenden, im Mittel rund 45° steilen Gelände. Als Böschungsverkleidung waren die Errichtung einer 116 m langen Futtermauer sowie zusätzliche Kopfmauern, Steinschichtungen und Blockabstützungen vorgesehen.

Während der Ausführung des ersten Bauabschnittes, bei dem der Hang sofort auf volle Mauerhöhe abgetragen wurde, traten vorwiegend witterungsbedingte, über den geplanten Aushub hinausreichende Nachbrüche auf, die erhebliche Absicherungen und Sanierungen erforderten. Um eine Wiederholung derartiger Erscheinungen zu vermeiden, wurde für den zweiten Bauabschnitt ein Arbeitssystem mit vorauseilender Sicherung durch einen *Ankerriegel (Ankerbalken)* empfohlen (Abb.6 und I). Das größtenteils kantige Schuttmaterial wurde dabei durch den Ankerbalken, der mit 50 bis 100 Mp zugstarken Ankern in Abständen von 3 bis 4 m in den Fels verhängt war, wirkungsvoll abgestützt, so daß beim nachfolgenden Aushub für die Stützmauer nur mehr unbedeutende Nachbrüche auftraten. Diese Vorgangsweise erwies sich somit nicht nur hinsichtlich der erhöhten Sicherheit für das Arbeitspersonal und für die Straßenbenutzer, sondern auch bezüglich des Arbeitsfortschrittes als außerordentlich vorteilhaft.

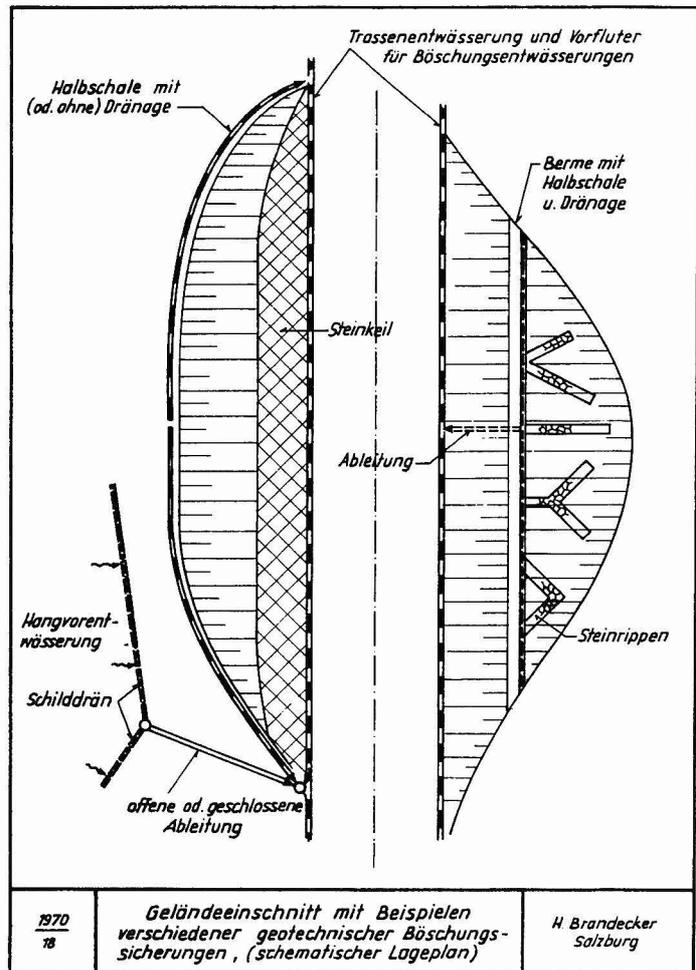


Abb.18

Böschungssicherung durch Raumgitterstützmauern

Sofern ausreichend Platz für die bei diesem System erforderliche 2 bis 3 m breite Gründung vorhanden ist und außerdem auf Wasserdurchlässigkeit und Nachgiebigkeit des Stützelementes Wert

gelegt wird, empfiehlt sich die Verwendung von *Raumgitterstützelementen*. Unter Ausnützung von deren vielseitigen Vorzügen und unter Berücksichtigung der geländekundlichen und geologischen Gegebenheiten konnten mit den aus Betonfertigteilen bestehenden Elementen beispielsweise im Thomatal (Lungau) beachtlich hohe Böschungen dauerhaft und verlässlich gesichert werden (Abb.IV).

Böschungssicherung durch Steinstützkörper (Steinkeile)

Im Zuge des Baues der Autobahn Wien-Salzburg in Oberösterreich mußte ein aus Moränenschotter, Bändersanden und Seetonen aufgebauter Geländerrücken durchschnitten werden, der zwei Grundwasserstockwerke aufwies, von denen der Wasserspiegel des oberen bereits mehrere Meter über der Aushubsohle lag. Die Gefahr von Böschungsschäden durch Rutschungen oder Erosionen konnte durch Aufbringung eines Steinkeiles auf einer Filterunterlage aus gut abgestuftem Schotter wirkungsvoll abgedeckt und abgestützt werden (Abb.19).

Ähnliche Steinvorsätze zur Sicherung schlufftoniger, rutschgefährlicher Böden wurden übrigens auch beim Bau der Autobahn Graz-Gleisdorf hergestellt, und dort haben sie sich ebenfalls gut bewährt (Abb.VI).

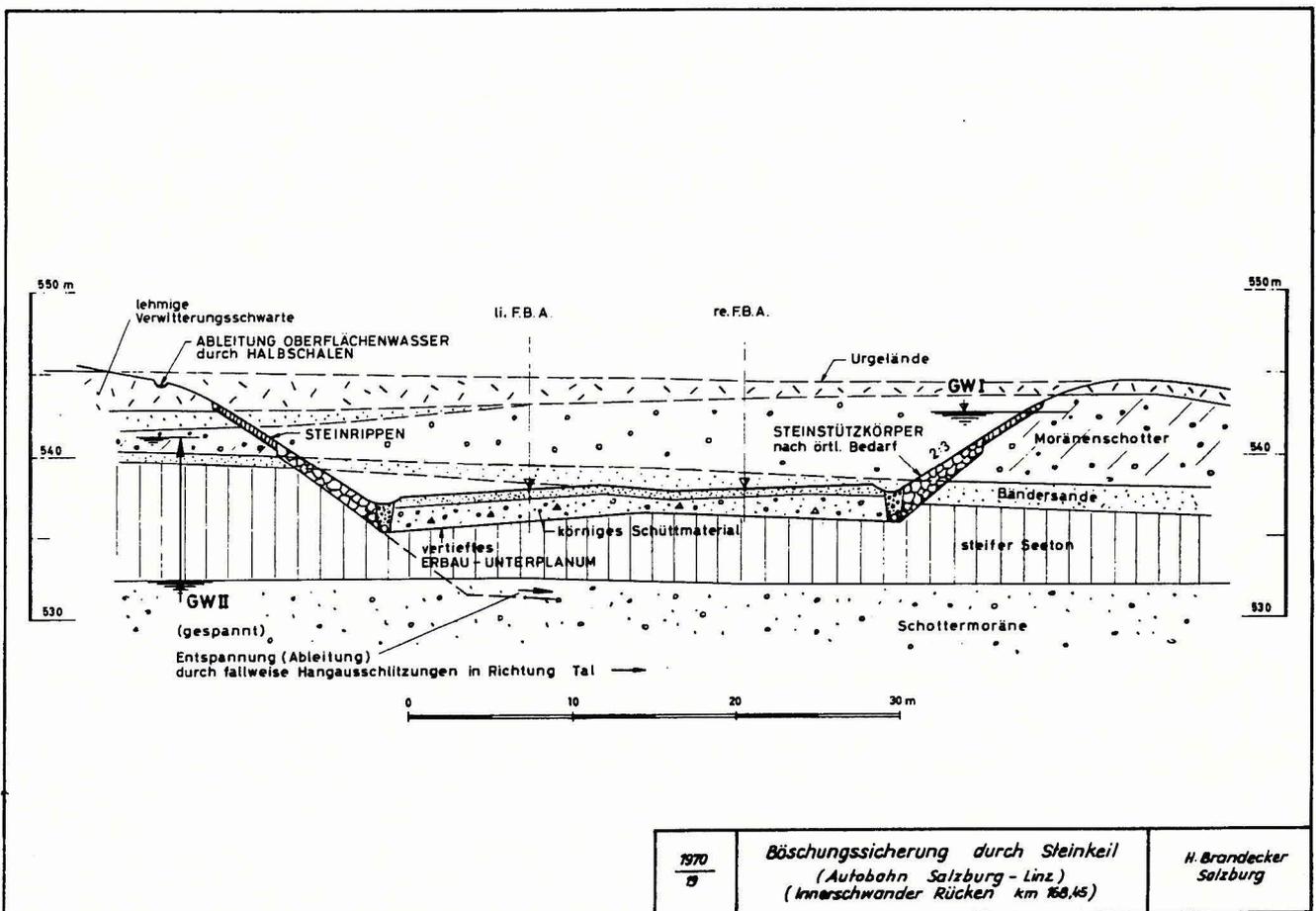


Abb.19

3 FELSBÖSCHUNGEN

3.1 ALLGEMEINES, ENTWURF UND GESTALTUNG

Bei der Herstellung von Felsböschungen sind für deren Standhaftigkeit von entscheidender Bedeutung und daher schon bei der Projektierung zu beachten

der mineralogisch-petrographische Bestand des Gesteins, der unter anderem bestimmend ist für seine Härte, Festigkeit, Verwitterbarkeit und Veränderlichkeit im Laufe der Zeit, der wechselnde Schichtaufbau, etwa von Härtlingslagen und leicht verwitterbaren Gesteinen,

der mechanische Zustand der Gesteine und die rheologischen Eigenschaften des Gebirges, wobei die Struktur und Textur des Fein- und Grobbaues, die Schieferung, Schichtung (Bankung), Klüftung (Durchtrennungsgrad, Rissigkeit) sowie Störungen, Mürb-, Zerrüttungs- und Mylonitzonen oder sonstige Diskontinuitätsflächen eine wesentliche Rolle spielen,

die Spannungszustände, Entspannungsvorgänge, aber auch Spannungsänderungen, beispielsweise durch Belastungen oder Unterschneidungen,

dynamische Beanspruchungen durch Sprengungen, Verkehrserschütterungen und Erdbeben,

das Vorhandensein von Berg-, Kluft- oder Spaltwasser in Gesteinsfugen bzw. von Porenwasser in (meist bindigen) Kluftfüllungen, wodurch ein beachtlich hoher hydraulischer Lehnenschub entstehen kann, und schließlich

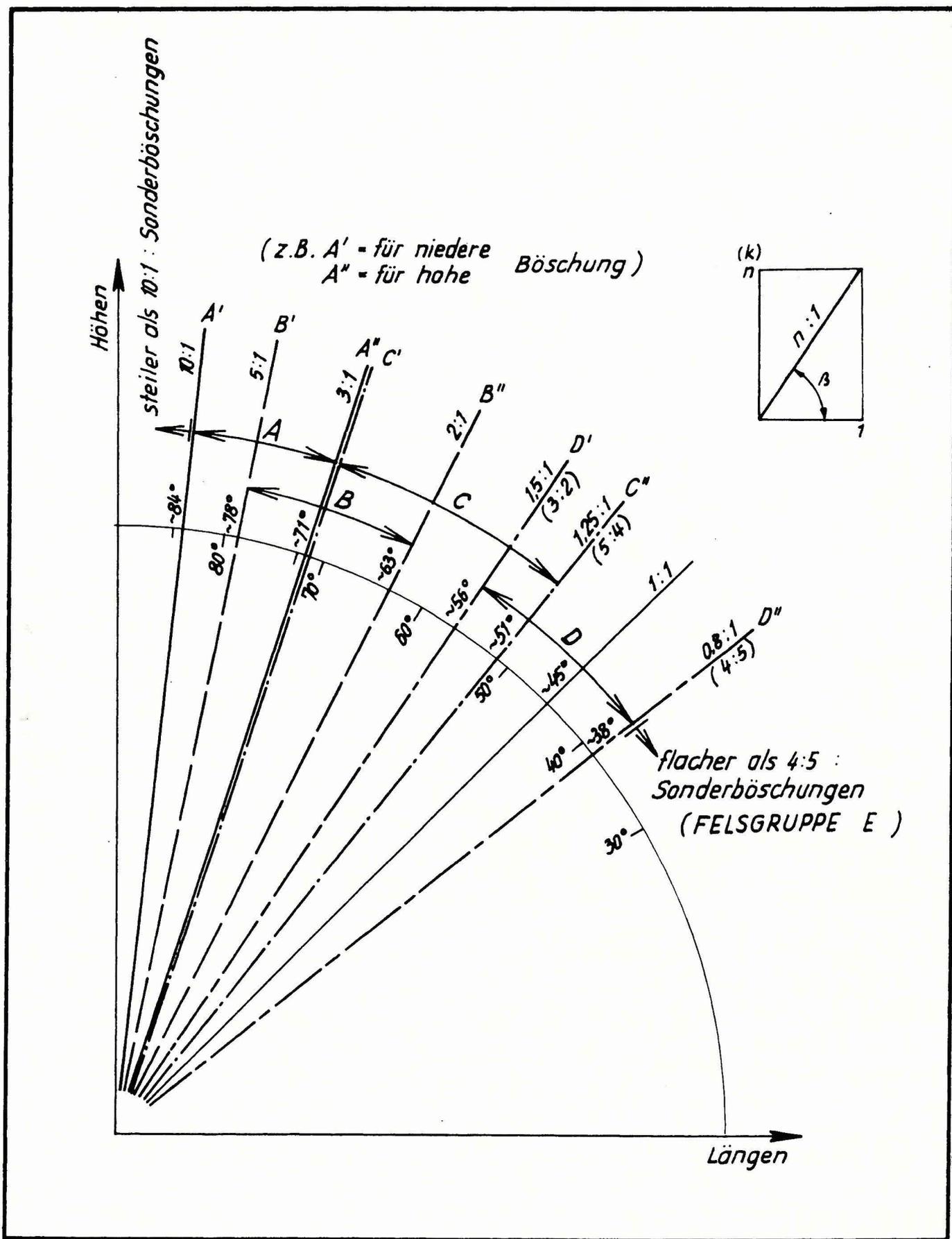
die Standzeit der Felsböschung, die im Laufe der Zeit je nach Gestein und sonstigen Einflüssen langsamen oder rascheren Deformationen (Entfestigungen und Auflockerungen) unterliegt.

Darüber hinaus ist die Standhaftigkeit von freien, künstlich geschaffenen Felsböschungen von der Raumstellung des Schicht- oder Kluftflächengefüges, also von vorgezeichneten Gleit- oder sonstigen Inhomogenitätsflächen und deren Lage zur Böschungfläche – der sogenannten *Gesteinsbeweglichkeit* – weitgehend abhängig. Die Ermittlung der *Gesteinsbeweglichkeit* setzt die Einmessung der möglichen Bewegungsflächen mit dem Kompaß und ihre Eintragung in die *Lagenkugel* voraus. Die Gefährlichkeit solcher Flächen für eine Böschung wird aber nicht allein durch ihre Raumstellung zur freien Böschungsoberfläche bestimmt, sondern auch von ihrer Ausbildung, wie Ebenföchigkeit, Rauhgigkeit, Art der Kluftfüllung, Wasserföhrung usw.

Der Einfluß bevorzugter Gefügeelemente auf die Gestaltung von Felsböschungen wird im Abschnitt 3.3 in einigen typischen, vereinfachten Beispielen aufgezeigt; zunächst sollen aber ohne Berücksichtigung derartiger Inhomogenitäten Hinweise für *theoretische Entwurfsböschungen* allein nach petrographischen Gesichtspunkten und in Abhängigkeit von der Böschungshöhe erfolgen. Damit wird angestrebt, den Straßenprojektanten und den Baupraktikern ihre ersten Überlegungen für eine zweckmäßige Böschungsgeometrie zu erleichtern. Um allerdings den endgültigen Charakter einer Böschung schon im voraus weitgehend festlegen zu können, bedarf es der Erfassung aller geologischen Einflüsse und des felsmechanischen Zustandes des Gebirges sowie der Art und des Umfanges von notwendigen Böschungsbekleidungen, Stützmaßnahmen und sonstigen Sicherungen.

Im *Neigungsdiagramm* (Abb.20) werden zunächst (ohne Berücksichtigung besonderer Gefügeeinflüsse oder geplanter Etagen) jene Böschungswinkel des Gebirges angegeben, die auf Grund von Beobachtungen an natürlichen Gehängen oder an schon längere Zeit stehenden künstlichen Anböschungen als – hinsichtlich eines Zeitraumes von hundert Jahren – dauerhaft standfest bezeichnet werden können.

Die vorgenommene Unterteilung erfolgt einmal nach vier bzw. fünf verschiedenen *Festgüteklassen*, wobei die *Klasse A* allgemein für gesunde und kompakte, also nicht entfestigte, und



1970
20

Diagramm der Böschungsneigungen für die Felsgruppen A bis D in Abhängigkeit von den Böschungshöhen

H. Brandecker
Salzburg

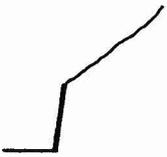
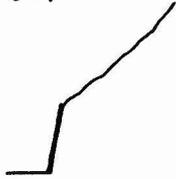
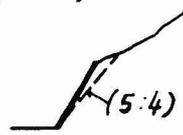
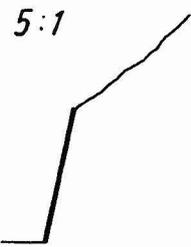
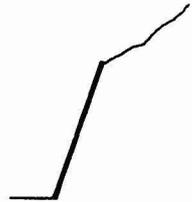
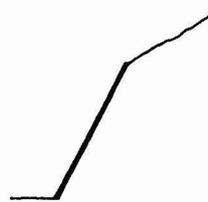
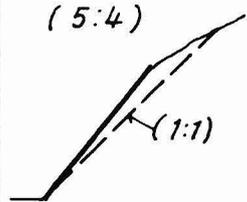
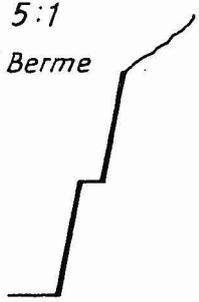
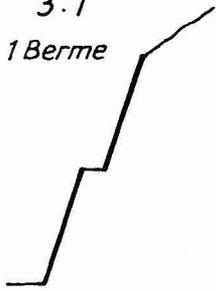
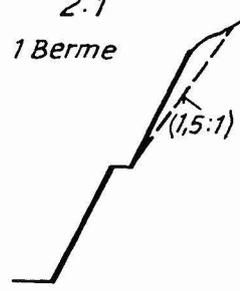
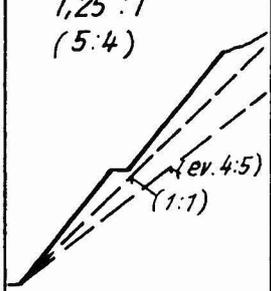
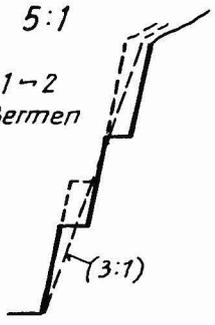
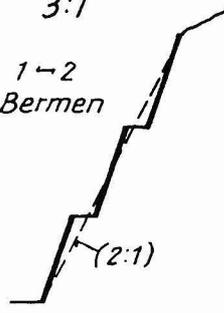
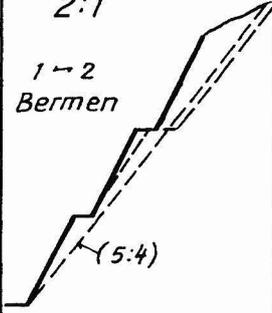
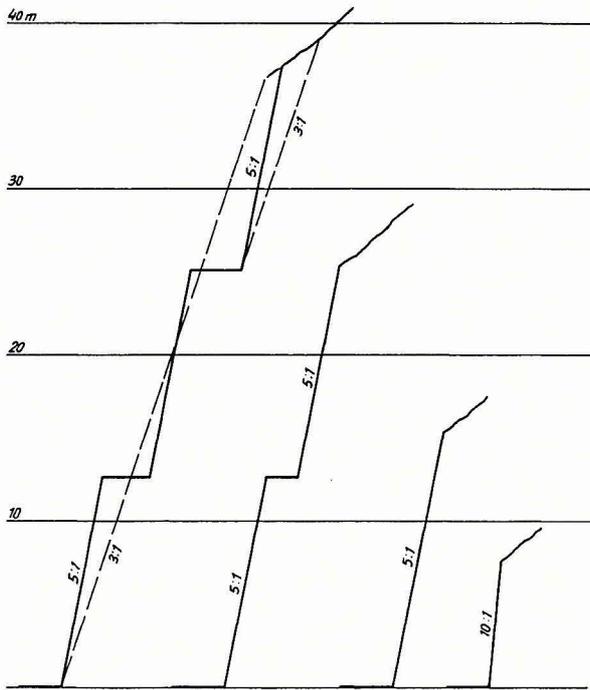
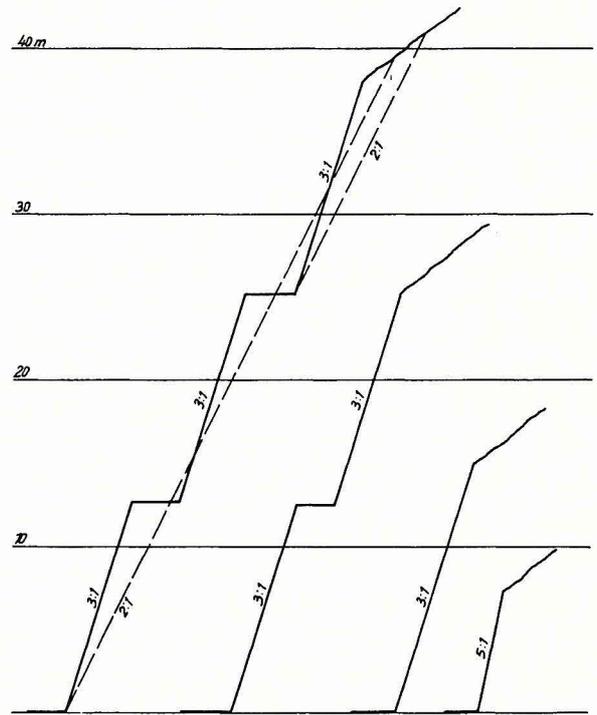
Felsgruppe	A	B	C	D	E
<p>Felsart Bei- spiele</p> <p>Bösch- höhen (ca m)</p>	<p>magmatische und höher metamorphe Gesteine allg. (Granit, Gneis, usw.); kristalline Kalke; feste Konglomerate</p>	<p>meist alle paläo- zoischen u. meso- zoischen Kalk- u. Dolomit-Gesteine, Sandsteine, feste Schiefer</p>	<p>angewitterte, etwas entfestigte Gesteine der Gruppe Au.B; weniger verfestigte Kalke, Mergel u. Sandsteine des Tertiär u. der Kreide</p>	<p>Tonschiefer u. weiche Mergeltone, mürbe Phyllite u. Flysch- gesteine, (Gesteinsverband noch erhalten nicht völlig zerlegt.)</p>	<p>z.B.: entfestigte, mechanisch zerlegte, stark angewitterte Tonschiefer, Haselgebirge u. dgl. Bautechnisch nicht mehr als „Fels“ anzuspprechen, daher gesonderte Untersuchung über Böschung u. Sicherung notwendig</p>
0-7	<p>10:1</p> 	<p>5:1</p> 	<p>3:1</p> 	<p>1,5:1 (3:2)</p> 	
7-15	<p>5:1</p> 	<p>3:1</p> 	<p>2:1</p> 	<p>1,25:1 (5:4)</p> 	
15-25	<p>5:1 1 Berme</p> 	<p>3:1 1 Berme</p> 	<p>2:1 1 Berme</p> 	<p>1,25:1 (5:4)</p> 	
25-40	<p>5:1 1-2 Bermen</p> 	<p>3:1 1-2 Bermen</p> 	<p>2:1 1-2 Bermen</p> 	<p>Sondermaß- nahmen</p>	
<p>Anmerkng.: (*) Mittlere Neigungen für Entwurfsböschungen, ohne Berücksichtigung besonderer Gefügeeinflüsse und Sicherungsmaßnahmen.</p>					
<p>1970 21</p>	<p>Böschungsneigungen u. Gestaltungen in verschiedenen Felsarten u. bei verschiedenen Böschungshöhen (*) Schematische Übersicht.</p>			<p>H. Brandecker Salzburg</p>	

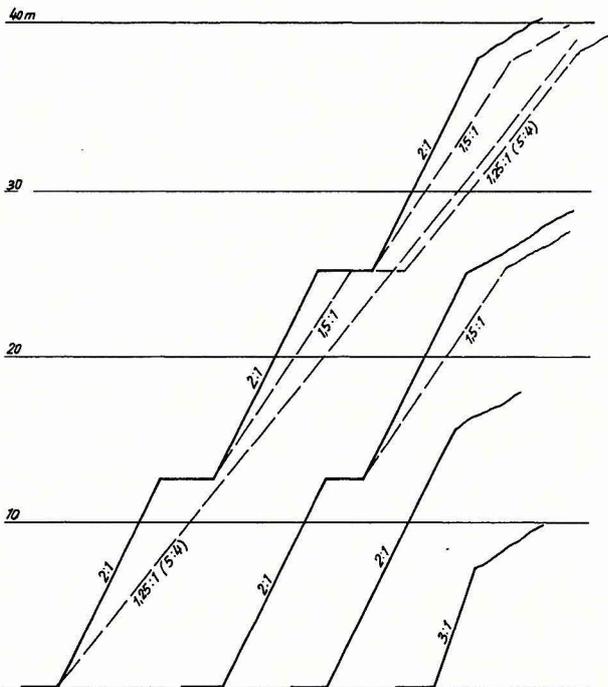
Abb.21



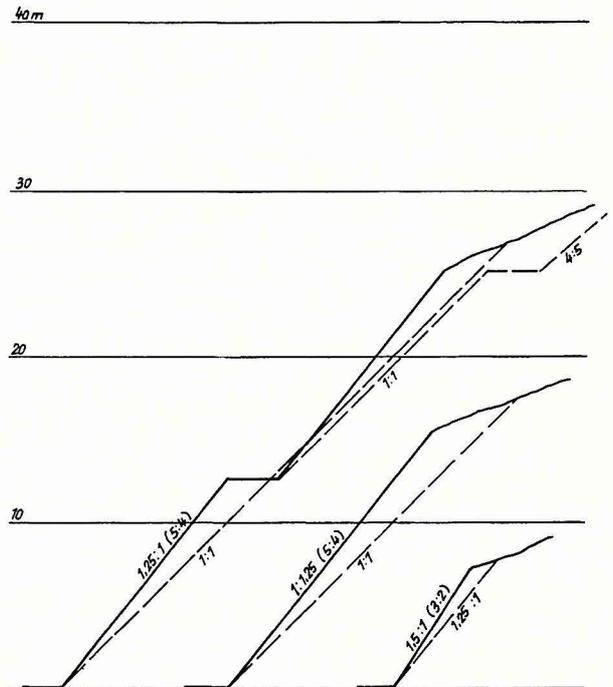
a) Felsgruppe A



b) Felsgruppe B



c) Felsgruppe C



d) Felsgruppe D

1970
22
a,b,c,d

Böschungsgestaltungen (Entwurfsböschungen) in Gesteinen der Felsgruppen A bis D bei verschiedenen Böschungshöhen. (Ohne Berücksichtigung besonderer Gefügeeinflüsse und Sicherungsmaßnahmen.)

H.Brandecker
Salzburg

Abb.22

die Klasse D für weiche bis mürbe, aufgelockerte Gesteine gilt. Die Klassifizierungen B und C stellen Zwischenstufen mit – naturgemäß unscharfen – Abgrenzungen dar. Als Felsgüteklasse E werden schließlich völlig entfestigte, aufgelockerte und verwitterte, im bautechnischen Sinn nicht mehr als Fels anzusprechende Böden bezeichnet, für die im Rahmen einer vorläufigen Böschungsgestaltung keine Angaben gemacht werden können, sondern die eine eingehende Untersuchung oder im vorhinein eine entsprechend flach projektierte Böschungsneigung verlangen. Dazu zählen beispielsweise zermürbte Schiefer und Phyllite, Haselgebirge und ähnliche Gesteinsarten.

Ein weiterer Gesichtspunkt der Unterteilung der Entwurfsböschungen ist die Böschungshöhe, die einer gewählten Staffelung von 0 bis 7, von 7 bis 15, von 15 bis 25 und von 25 bis 40 m folgt (Abb.21 und 22a bis d). Da sich mit zunehmender Böschungshöhe erfahrungsgemäß auch die Probleme der Standsicherheit rasch und erheblich mehren, ist für darüber hinausgehende Böschungshöhen eine fachliche Untersuchung und Beratung schon im Frühstadium der Planung nicht zu versäumen. Die geringeren Böschungsneigungen bei wachsenden Böschungshöhen sind durch die auftretenden größeren Verformungen, verbunden mit Kluftdehnungen (besonders in den Bereichen von Schwächezonen), notwendig. Die Böschungshöhe bestimmt somit gemeinsam mit der Verbandsfestigkeit (dem Restverband) des Gesteines den Neigungswinkel der Böschung.

Verständlicherweise ist die Einordnung der verschiedenen Felsarten in Böschungsneigungsgruppen im vorhinein nicht immer unproblematisch, da doch viele die Böschungsgestaltung bestimmende Faktoren nicht ohne weiteres eingeschätzt werden können. Diese sind nicht nur in der Gesteinsausbildung, im Erhaltungszustand oder im Gefüge des Gesteines, sondern etwa auch in den sich durch enge Kurvenradien ergebenden konkaven oder konvexen Böschungskrümmungen zu suchen.

3.2 BERMEN (BANKETTEN, ETAGEN)

Bei der Herstellung höherer Felsböschungen kommt es fast immer zu beträchtlichen Arbeitsschwierigkeiten sowohl beim Abbau als auch bei den durchzuführenden Felssicherungen. Erreichen die Felsböschungen eine größere Höhe als etwa 15 m, wird in den meisten Fällen eine Neigungsunterbrechung durch eine in der Regel rund 2 bis 3 m breite Berme erforderlich. Sehr hohe Böschungen verlangen eine Wiederholung solcher Absätze in Höhenabständen von etwa 10 bis 15 m, wofür allenfalls vorhandene Gefügeelemente, wie etwa flach liegende Gesteinsbänke, genützt werden sollen.

Besondere geologische Verhältnisse, die einen ungünstigen felsmechanischen Zustand herbeiführen, können allerdings von der Anlage von Bermen abhalten. Die in verschiedenen Fachkreisen geäußerten Bedenken gegen Bermen sind daher unter derartigen Voraussetzungen durchaus berechtigt. Sie beziehen sich vor allem auf eine Gefährdung der Böschungsstabilität infolge Kerbwirkung und möglicher stärkerer Spannungskonzentrationen am jeweiligen Wandfuß, die durch spannungsoptische Untersuchungen wiederholt nachgewiesen wurden. Um solche Schwächungen hintan zu halten, bedarf es mitunter zusätzlicher Sicherungen, meist in Form von Felsankern.

Den vorgenannten Nachteilen stehen insbesondere in der Straßenbaupraxis bei der Errichtung von Bermen eine Reihe von Vorteilen gegenüber, von denen in erster Linie zu nennen sind

der einfachere und schonendere Abtrag etagenweise von oben nach unten,

die leichtere Schaffung von Felssicherungen von den Etagen aus, wie Bohren und Versetzen von Ankern und Felsnägeln, Herstellung von Plomben, Abmauerungen u.dgl.,

die Anbringung von Steinschlag-Schutzzäunen und damit verbunden auch die Verminderung der Wurfhöhen,

die einfachere und für das Arbeitspersonal ungefährlichere, zeitweise notwendig werdende Felsabräumung (Bergputzen) der entspannten, aufgelockerten und aufgewitterten Böschungsoberfläche,

die Versetzung und laufende Beobachtung von Deformations-Beobachtungsgeräten (Extensometer, Meßanker, Meßbolzen usw.),

die Möglichkeit, erforderliche Nachsicherungen ohne besonderen Aufwand an Gerüstung durchführen zu können, und

die Sammlung und Ableitung von Oberflächenwässern und manchmal auch von Bergwässern (Kluftwässern), die aus Felsspalten oder aus Drainagebohrungen austreten.

Bermen können ihre wasserableitende Funktion jedoch nur bei entsprechendem Längs- und Quergefälle und bei sorgfältiger wasserdichter Abdeckung in Verbindung mit geeigneten Ableitungsorganen erfüllen. Unzureichende Abdeckungen lassen Felsabsätze zu verhängnisvollen Wasserversickerungsstellen werden. Ein leidiges Problem bei verhindertem Wasserablauf stellt die Eisbildung dar; sie ist aber auch trotz gewissenhafter Wasserableitung nicht immer oder nur teilweise vermeidbar.

Die *Böschungsgeometrie* wird nicht zuletzt von der Anordnung von Bermen stark beeinflusst. Deren Situierung, Höhenabstände, Breiten und Neigungen in der Längsrichtung hängen nicht nur von geologischen Gegebenheiten, ihrer felsmechanisch-baulichen oder ihrer Funktion als Entwässerungsorgan ab, sondern bedürfen auch ästhetischer Überlegungen. Dies ist insbesondere dort zu beachten, wo stärkere Straßensteigungen auftreten oder die Bankung bzw. Schichtung des Gesteines so ungünstig liegt, daß eine Bermenanordnung nach diesen Gefügeflächen nicht zweckmäßig erscheint. Bei der Errichtung von Bermen ist schließlich auf deren gute Zugänglichkeit – wenn möglich vom Gelände her – zu achten. Ebenso soll überlegt werden, ob mit einem derartigen Absatz nicht weniger standfeste Felspartien abgetragen und die Böschungsfläche in gesundes Gebirge verlegt oder inwieweit durch eine breitere Etage eine Abtragsreserve für später notwendig werdende Abräumungen oder unter Umständen gar Böschungsverflachungen geschaffen werden kann.

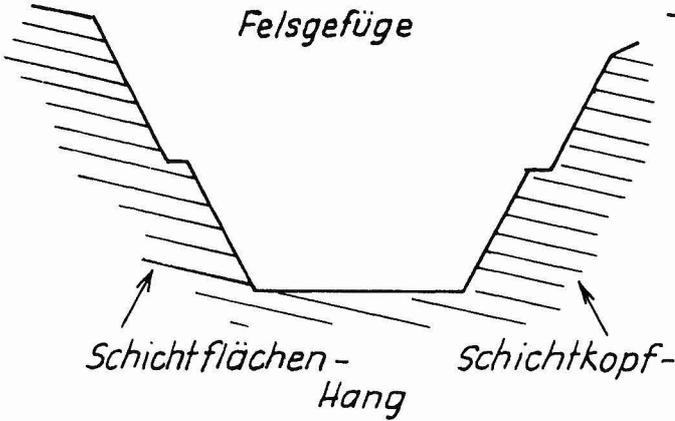
Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß bei hohen Felsanböschungen für den Straßenbau die Einschaltung von Absätzen (Bermen) eine Reihe von nicht zu unterschätzenden Vorteilen bringt und daher auf sie nur bei ausgesprochen ungünstigen geologisch-felsmechanischen Voraussetzungen (etwa bei Unterschneidungen gefährlicher, hangausfallender Schicht- oder Kluftflächen) verzichtet werden soll.

3.3 BESONDERS GEFÜGEBEDINGTE FELSBÖSCHUNGEN

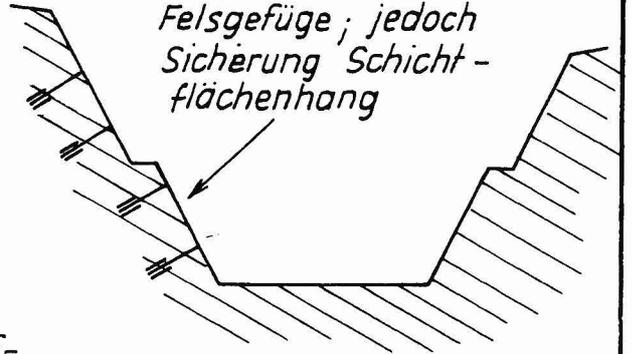
Die theoretischen Entwurfsböschungen einschließlich geplanter Bermen können dort nicht ausgeführt werden, wo ein oder mehrere vorherrschende, die Stabilität der Felsböschung erheblich beeinflussende Gefügeelemente mit ungünstiger Raumstellung und Beschaffenheit, also hoher *Gesteinsbeweglichkeit* zur freien Böschungsoberfläche, auftreten. Es ist nicht immer einfach, zu entscheiden, ob die Böschungsfläche derartigen Flächengefügen folgen soll bzw. überhaupt kann, wie dies die Beispiele in den Abb.23 und 24 zeigen, oder ob eine theoretische Entwurfsböschung einschließlich zusätzlicher Felssicherungen technisch und wirtschaftlich vorzuziehen ist. Eine klare Antwort darauf kann meist erst durch eine Kalkulation (bei der der Mehrabtrag den Sicherungskosten gegenüberzustellen ist) und durch genaue Untersuchungen hinsichtlich der Beweglichkeit gefährlicher Flächen, wobei Durchtrennungsgrad (Klüftigkeitsziffer), Öffnungsweiten, Kluftfüllungen, Wasserführungen u.dgl. zu beachten sind, gegeben werden. Werden derartige Untersuchungen nicht schon im Planungsstadium durchgeführt, kann es beim Abtrag zu unvorhergesehenen, teuren Sanierungen oder aber zu einem unerwarteten Mehrabtrag, verbunden mit Böschungserhöhungen und zusätzlichen Grundeinlösungen, kommen.

Eine sinnvolle Anpassung der Böschungsgestalt an vorhandene Gesteinsstrukturen, wie Bankungen, Kluftscharen, Störungen usw., sowohl mit der Böschungsneigung als auch mit der Anlage von Bermen ist allerdings meist nur über kürzere Strecken möglich. Dann sind Abstufungen nicht nur in vertikaler, sondern auch in horizontaler Richtung zweckmäßig, will man verbleibende und mit Kostenaufwand abzusichernde Gesteinskeile vermeiden. Abb.IX zeigt die geschickte Ausnützung

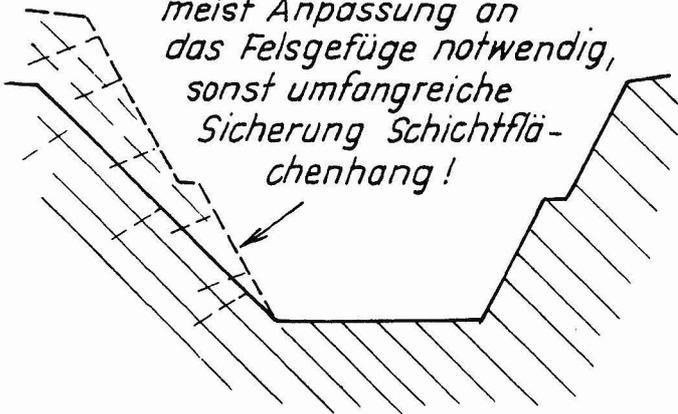
a) $0 \rightarrow 15^\circ$ Schicht-od. Kluftneigung:
keine Anpassung der
Bösch.-Form an das
Felsgefüge



b) $15 \rightarrow 30^\circ$:
keine Anpassung der
Bösch.-Form an das
Felsgefüge ; jedoch
Sicherung Schicht-
flächenhang



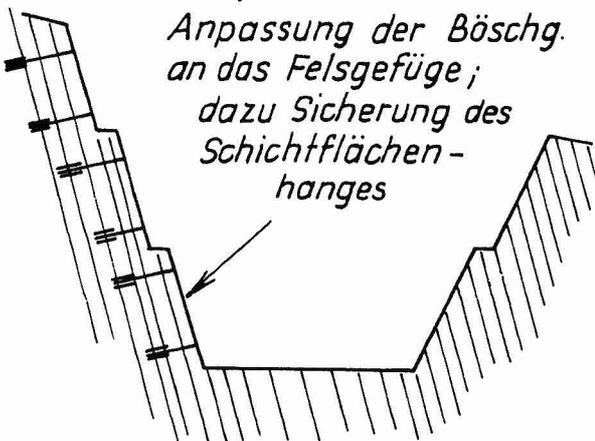
c) $30 \rightarrow 45^\circ$:
meist Anpassung an
das Felsgefüge notwendig,
sonst umfangreiche
Sicherung Schichtflä-
chenhang!



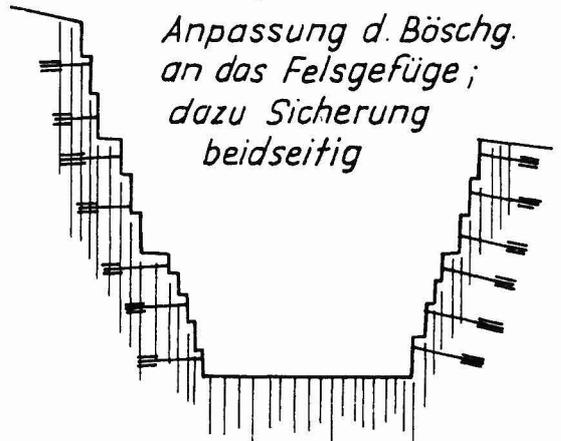
d) $45 \rightarrow 60^\circ$:
Anpassung d. Böschung
an das Felsgefüge ;
dazu ev. Sicherung des
Schichtflächen-
hanges



e) $60 \rightarrow 75^\circ$:
Anpassung der Böschg.
an das Felsgefüge ;
dazu Sicherung des
Schichtflächen-
hanges



f) $75 \rightarrow 90^\circ$:
Anpassung d. Böschg.
an das Felsgefüge ;
dazu Sicherung
beidseitig

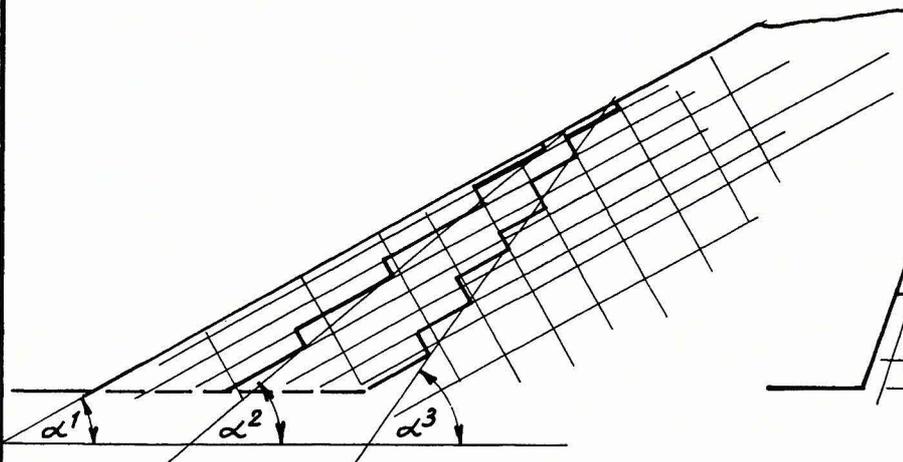


1970
23
a-f

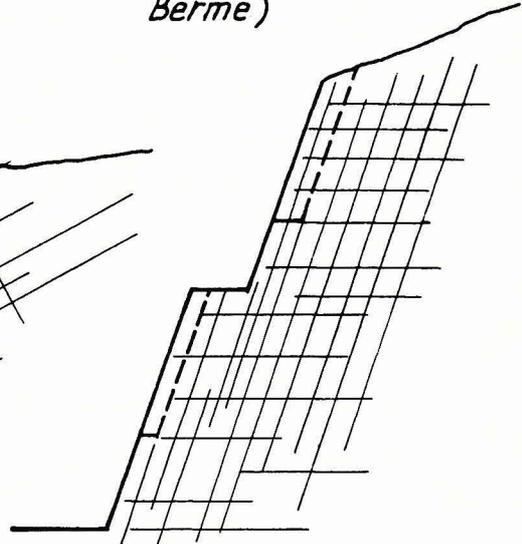
Verschiedene Böschungsgestaltung
je nach vorherrschender Gefüge-
stellung zur Böschungfläche

H. Brandecker
Salzburg

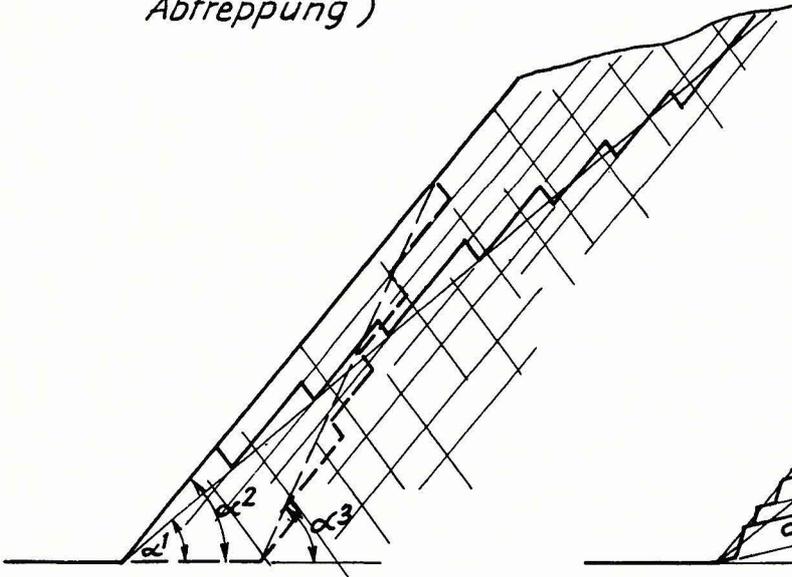
a) flaches Schichtfallen
(möglichst ohne Abtreppung)



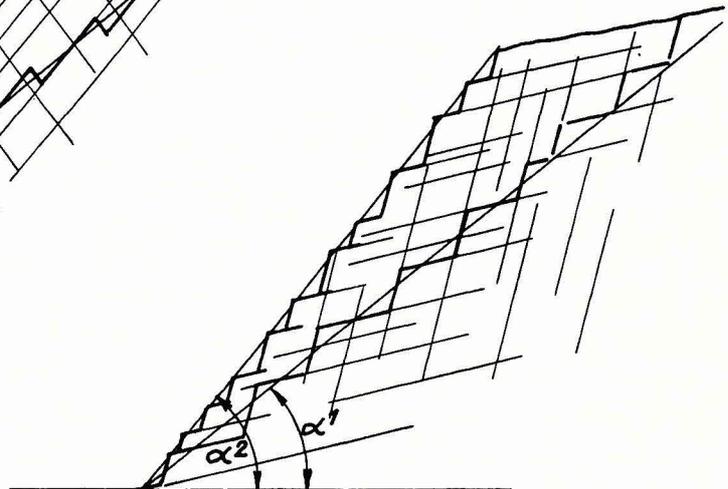
b) steiles Schichtfallen
(mit Abtreppung oder Berme)



c) Böschung längs Schichtfläche
(möglichst ohne hängender
Abtreppung)



d) Treppenböschungen



1970
24 a,b,c,d

Geologisch (gefüge-) bedingte Felsböschungen
Beispiele
(z.T. in Anlehnung an L. Müller, 1963)

H.Brandecker
Salzburg

geologischer Flächen bei Felsanböschungen. Die dabei entstehenden Unregelmäßigkeiten sollen nicht stören, sie werden vielmehr als willkommene Abwechslung monotoner Böschungsformen empfunden. Das gleiche gilt für Straßenstrecken mit uneinheitlicher Felsausbildung, wo beispielsweise eingelagerte Härtingszüge Anlaß zu Böschungsversteilungen geben, minderfeste Gesteine dagegen Verflachungen des Anschnittes erzwingen.

Aus diesen wenigen Hinweisen ist zu entnehmen, daß streng geometrische Böschungsformen, wie sie in den *theoretischen Entwurfsböschungen* dargestellt sind, keineswegs verallgemeinert werden dürfen. Felsarten mit fehlenden oder mechanisch nicht wirksamen Inhomogenitätsflächen (häufig bei Konglomeraten) gestatten oft sehr steile, mitunter senkrechte oder sogar überhängende Böschungen anzulegen, die allerdings zu den Ausnahmefällen zählen.

3.4 BÖSCHUNGEN IN INSTABLEM FELS

Felshänge, die sich bereits in Bewegung befinden, oder solche, die schon bei geringsten Eingriffen ihren Gleichgewichtszustand verlieren, verlangen neben baulichen Sondermaßnahmen gründliche Vorerhebungen. Dadurch ist zunächst festzustellen, ob ein instabiler Hang überhaupt angeschnitten werden darf, welche möglichen Auswirkungen zu befürchten sind und in welcher Größenordnung Stützmaßnahmen erforderlich werden, um eine genügende Standsicherheit zu erreichen (Abschätzung des Gleitkörpers).

In den tief eingeschnittenen Gebirgstälern sind übersteile, felsige Hangflanken nicht selten durch Zerklüftungen, Störungen, Entspannungsvorgänge, Verwitterungserscheinungen, Eisdruck und anschließende Entlastungen u.dgl. mehr weitgehend entfestigt und aufgelockert. Dadurch und infolge gleitempfindlicher, etwa lehmiger Schichteinschlaltungen, blähender Kluftfüllungen sowie durch hydrostatische Einflüsse werden verschiedenartige Deformationsprozesse ausgelöst, die von sehr langsamen, kriechenden Verformungen (*Bruchfließen*) kleineren Ausmaßes bis zu umfangreichen Bergzerreißen, Bergsackungen, Felsrutschen und ähnlichen Erscheinungen reichen, die J. STINI mit dem Ausdruck *Talzus Schub* bezeichnete. In diesem Zusammenhang ist auch sein Ausspruch kennzeichnend: *Unsere Täler wachsen zu*.

Die in einem solchen Gelände anzulegenden Böschungen bringen naturgemäß eine Fülle von Stabilitätsproblemen mit sich, die von Fall zu Fall sehr verschieden sind und jeweils gesonderte Untersuchungen über die Hangtektonik, Geschwindigkeit der in Bewegung befindlichen Massen und anderes mehr zur Erstellung einer Prognose erfordern. Darauf näher einzugehen, ist jedoch im Rahmen dieser Schrift nicht beabsichtigt.

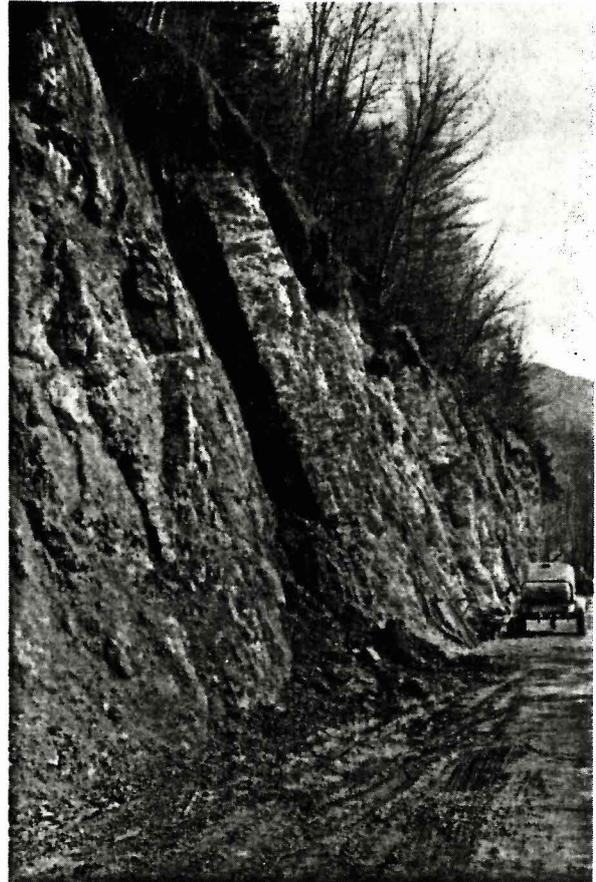


Abb.IX. Felsböschung längs steilstehender Bankungsfläche an der Gaisbergstraße bei Salzburg

3.5 HINWEISE ZUR BÖSCHUNGSHERSTELLUNG

Die Standhaftigkeit (auch Standfähigkeit) einer künstlich herzustellenden Felsböschung hängt nicht nur von den natürlichen Gegebenheiten (Gestein, Zustand usw.) ab, sondern auch von der Art und Weise des Abtrages sowie dem Zeitpunkt und der Größe der aufgebrachtene Rückhalte- oder Stützkkräfte. Von außerordentlichem Einfluß auf den Böschungszustand und auf den Umfang von notwendigen Verkleidungen und Sicherungen ist ein *schonender* Abtrag, der sprengtechnisch erreicht werden kann, durch

eine maximale Abbauhöhe und damit Bohrlochtiefe von 10 bis 15 m, was jeweils der Böschungshöhe zwischen den Bermen entspricht,

einen Bohrlochabstand von 1 bis 2 m,

eine Vorgabe von 2 bis 3 m,

entsprechende Aufteilung des Haupt- und Zwischenbesatzes (gestreckte Ladung),

richtige (nicht übermäßige) Dosierung des spezifischen Sprengstoffverbrauches,

Zündanlage mittels Millisekundenzünder mit mindestens fünf und eventuell mehr Zeitstufen,

Beschränkung der Lademenge pro Abschlag und damit der Abschlagskubatur in Anpassung an den Gesamtumfang des Abbaues und

Herstellung der Bohrlöcher mittels Bohrwagen, wodurch allein die Vorgabe und der Lochabstand genau eingehalten werden können.

Die vorgenannten Angaben dienen jedoch nur als grobe Richtlinien, sie sind immer den jeweiligen Gebirgs- und Abtragsverhältnissen anzupassen.

Sohlenhelfer sind leicht steigend herzustellen, wobei die Bohrlochtiefe geringer als die Abschlagtiefe zu wählen ist. Eine wesentliche Forderung bei der Abtragsmethode sollte sein, mit dem Großabtrag nur etwa 3 m an die endgültige Böschungfläche heranzureichen. Die verbleibende Felsschwarte bis zur plangemäßen Böschungfläche ist nach der *Abschermethode (Pre-Shearing-Verfahren)* abzubauen, wobei die notwendigen Lademengen durch vorausgehende Versuchssprengungen zu ermitteln sind und die Bruchcharakteristik zu studieren ist. Bei dem von oben nach unten etagenweise vorzunehmenden Abtrag (mit erforderlichenfalls sofort einsetzenden Mindestsicherungen) ist zunächst die Herstellung von Arbeitsflächen in Höhe der geplanten Bermen zweckmäßig. Dieser Abtrag verlangt selbstverständlich allein wegen seines geringeren Umfanges entsprechend kleinere Lochabstände und niedrigeren spezifischen Sprengstoffverbrauch.

Weiter sind beim Felsabtrag Unterschneidungen, selbst vorübergehende, zu unterlassen, da immer wieder versteckte Bewegungsflächen auftreten, die dann zu Böschungsbrüchen Anlaß geben. Eine ähnliche Wirkung können auch Vertiefungen am Böschungsfuß (beispielsweise Künetten für Entwässerungen) hervorrufen, die bei ungünstigen Schicht- oder Kluffstellungen zu einer weiteren Spannungskonzentration der an sich im unteren Böschungsdrittel erhöhten Scherspannungen führen.

Bei der Herstellung von Felsböschungen bedarf es an sich mehr als bei Lockermassen-Böschungen der Mithilfe der Ausführungsorgane insofern, als das Gebirge meist unregelmäßiger ist und örtliche, durch die Projektierung nicht erfaßbare Einflüsse zu raschen Gegenmaßnahmen zwingen. Die Anpassung an die örtlichen Verhältnisse betrifft nicht zuletzt den Bereich der Böschungsschulter, wo die oberflächennahen Zonen infolge stärkerer Auflockerung, verbunden mit erhöhten Zugspannungen und Rißbildungen, großzügige Abrundungen oder Sicherungen verlangen.

Vor Inangriffnahme der Abtragsarbeiten sind schließlich folgende Fragen zu klären:

Kann der Abtrag auf einmal vorgenommen werden oder muß er ringweise (abschnittsweise) von oben nach unten mit sofort nachfolgender Sicherung erfolgen?

Wie kann das Abtragsmaterial verwendet werden?

Mit wenigen Ausnahmen ist Fels als Dammschüttmaterial brauchbar; dabei sind für die vorübergehende Auflockerung je nach Felsart etwa 30 bis 50, für die bleibende – im verdichteten Zustand – etwa 15 bis 35% anzunehmen.

Sind Entwässerungen, z.B. mittels tiefreichender Horizontalbohrungen, zur wirksamen Absenkung des Bergkluftwasserkörpers erforderlich?

Das Bergwasser vermindert die Standfähigkeit einer Böschung sehr erheblich durch Übertragung von Schubkräften, Strömungsdruck und Auftrieb.

Welche Sicherungsmaßnahmen zur Abstützung, Verkleidung oder Versiegelung der Felsböschungen werden erforderlich?

Stehen die Aufwendungen hierfür im vernünftigen Verhältnis zur Größe des Risikos, das durch eine ungesicherte Felsfläche gegeben ist?

Abschließend soll nicht versäumt werden, auf die notwendigen Säuberungen von lockeren Steinen vor Beginn der eigentlichen Abtragsarbeiten und nach jeder Sprengung hinzuweisen, womit die Sicherheit des Arbeitspersonals und der Verkehrsteilnehmer gewährleistet wird.

3.6 SANIERUNGEN, SICHERUNGEN UND BEOBACHTUNGEN

Das Standvermögen künstlich hergestellter Felsböschungen ist abhängig

- vom Felszustand, d.h. von dessen technologisch-mechanischen Eigenschaften,
- von der Gestalt (Neigung und Höhe) der Böschung sowie
- von den aufgebrachten Stützmaßnahmen.

Ein der jeweiligen Felsart entsprechender natürlicher, dauerhafter Standwinkel einer frei stehenden Böschung ist in den meisten Fällen weder technisch (Böschungsverschnitt) möglich noch wirtschaftlich vertretbar. Die künstlichen Böschungen verlangen daher nicht nur eine tunlichst weitgehende Anpassung ihrer Gestalt an die gegebenen gefügekundlichen und damit an die felsmechanischen Verhältnisse, sondern auch Absicherungen gegen Steinschlag und Blockwurf oder aber gegen Ablösungen ganzer Wandteile, die durch tektonische Klüftung, Entspannung, Spannungumlagerungen, Erschütterungen (Sprengungen, Erdbeben), Wärme- oder Frosteinwirkungen sowie durch Stein- oder Wurzelaufeilungen (wurzeldruckaktiven Bewuchs) zustande kommen können.

Bei der Beurteilung der Gesamtstandsicherheit einer Felsböschung und der Festlegung von Stützmaßnahmen geht es somit um eine möglichst genaue Abschätzung des auf Bestandsdauer der Anlage als standsicher anzusehenden Böschungswinkels bzw. um die Feststellung der wahrscheinlichen oder möglichen Gleitflächen und damit der zu sichernden Felsmasse. Die Auswirkungen aller dieser Einflüsse können aber – zumindest nach dem heutigen Stand der Wissenschaft und trotz der auf diesem Gebiet in den letzten Jahren gesammelten Erfahrungen und gemachten Fortschritte – nur bei geologisch und felsmechanisch einfacheren Fällen einigermaßen genau erfaßt werden (L. MÜLLER 1963). Solche Unsicherheiten und wirtschaftliche Überlegungen führen schließlich dazu, den felsmechanischen Zustand nicht verlässlich standhafter Felsböschungen durch Präzisionsmessungen (z.B. durch Extensometer oder Meßanker) auf Felsdeformationen hin zu kontrollieren, um die sonst nur mögliche grobe Abschätzung der Stütz- und Sicherungsmaßnahmen auf diese Weise festlegen oder korrigieren zu können. Die in den Abb.20 bis 22 dargestellten Entwurfsböschungen für verschiedene Felsgüteklassen verlangen selbstverständlich bei zusätzlich ungünstigen Einflüssen entweder eine weitere Böschungsverflachung oder entsprechende Sicherungen. Der modernen Sicherungstechnik stehen heute dafür schon zahlreiche Mittel zur Verfügung, die es

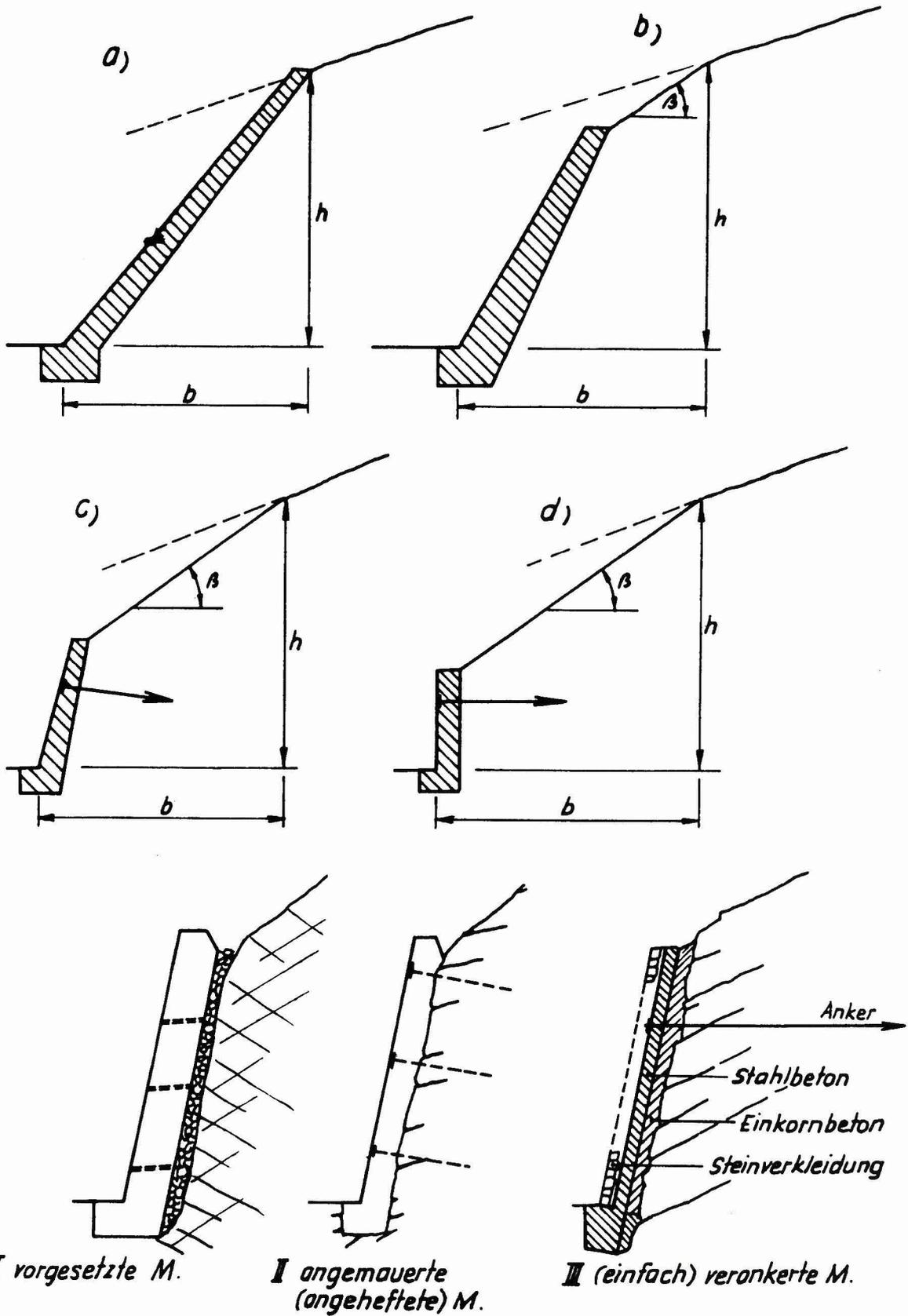
ermöglichen, auch sehr hohen und steilen Felsböschungen eine ausreichende Standsicherheit zu verleihen. Vielfach genügen schon geringe Rückhaltekräfte, um eine ausreichende Standhaftigkeit oder den ursprünglichen, vor dem Eingriff vorhandenen Gleichgewichtszustand wieder herzustellen.

Zu den derzeit gebräuchlichsten Sicherungen für Felsböschungen gehören:

- a) **Futter-, Wand- oder Verkleidungsmauern als Fußmauern**
stehend oder liegend, angeheftet oder verankert (Abb.25),
- b) **Kopfmauern**
zur Sicherung der Böschungsschulter,
- c) **Stützgewölbe und Balkenroste**
zur Abstützung örtlicher Felspartien oder ganzer Wandteile,
- d) **Pfeiler, Plomben, Dübel, Abstreibungen usw.**
zur Sicherung überhängender oder lockerer Felsteile,
- e) **Gurten, Balken und Knaggen**
mit Bewehrung und Verankerung, oft auch längs Bermen, die sie zugleich abdecken,
- f) **Spritzbeton-Versiegelungen mit und ohne Baustahlgitter**
zur Sanierung besonders zerhackter Felspartien,
- g) **Verankerungen, Nagelungen, Verspannungen**
durch schlaffe, vorgespannte, voll verpreßte oder freispielende Anker aus Stäben oder Litzen,
- h) **Stahlbänder, Drahtnetze oder Baustahlgitter, in jüngster Zeit auch aus Kunststoff,**
vernagelt oder lose hängend und
- i) **Verhängungen durch Zugelemente,**
z.B. der Böschungsschulter (wo bekanntlich bei steileren Böschungen die größten Zugbeanspruchungen auftreten) oder von einzelnen Blöcken.

Im weiteren Sinne dienen der Felssicherung wegen der Beseitigung des Kluftwasserschubes und der Vermeidung einer Auffrostung:

- j) **Entwässerungsbohrungen,**
- k) **Wasserabschlauchungen und**
- l) **Filterkörper,**
z.B. wasserdurchlässige Hinterbeugungen aus Schotter oder Bruchstein oder aus Einkorn-Beton hinter Futtermauern.



1970
25

Arten von Felsverkleidungen
als Futter- oder Wandmauern
(nach L. Müller 1963)

H. Brandecker
Salzburg

Abb.25

Schließlich werden zur Sanierung und Verfestigung brüchiger Felspartien oder ganzer Wandteile auch

m) Felsinjektionen,

meist mit Zementmilch, oder Verfüllungen größerer Hohlräume mit Pumpbeton oder

n) Verschließungen von Klüften und sonstigen Hohlräumen

durch Schaum- oder Kunststoff

erfolgreich durchgeführt.

Zum Schutz gegen *Steinschlag* eignen sich Netze (z.B. die in den letzten Jahren viel verwendeten und bewährten U-Boot- oder Torpedo-Netze), Zäune aus Profilstahl und Mauern entlang der Bermen und des Böschungsfußes und darüber hinaus zusätzliche Auffangräume am Wandfuß, breitere Bermen sowie Schutzwälle.

Wasserfassungen im Fels liegen oftmals noch innerhalb der Durchfrostungszone, so daß die Gefahr von Vereisungen und damit von Wasserstauungen, letztlich das Zustandekommen eines hydraulischen Lehnenschubes groß ist. Deshalb, aber auch wegen gefährlicher Eisbildungen an steilen Felswänden, ist stets auf eine frostfreie Wasserableitung zu achten.

Bei der Beurteilung der Art und Größe der aufzubringenden *Rückhaltekräfte* (als Ersatz für die fehlende Stützwirkung infolge des abgetragenen Hangfußes) sind alle oben genannten, zusammenwirkenden und meist sich überlagernden Faktoren, wie Gesteinsfestigkeit, Diskontinuität und Durchtrennungsgrad des Gebirges, zu berücksichtigen; ferner auch die voraussichtliche und sich erst im Laufe der Zeit einstellende Entspannung, Entfestigung, Auflockerung und Verwitterung. Beobachtungen an frischen Felswänden zeigen, daß die Deformationen oft rasch nach dem Abtrag eintreten; ein entsprechender Gegendruck sollte daher vorsorglicherweise möglichst bald aufgebracht und wirksam werden.

Schwierige geologische oder geländekundliche Verhältnisse zwingen mitunter zur Bereitschaft zu einem größeren Risiko, vor allem dann, wenn aus wirtschaftlichen Gründen präventive Maßnahmen nicht oder nur in gewissem Umfang durchgeführt werden können. Bei der Festlegung der Sicherungsmaßnahmen, sei es bei der Bemessung der Längen, Richtungen und Zugkräfte der Felsanker oder anderer geotechnischer Baumaßnahmen, bedarf es einer eingehenden geologischen Geländeaufnahme und felsmechanischen Beratung, deren Aufwand erfahrungsgemäß in bescheidenem Verhältnis zu den Baukosten und zu etwaigen Schäden durch katastrophale Rutschungen oder Felsgleitungen steht. Die Richtigkeit der geplanten Maßnahmen kann übrigens vielfach erst im Zuge des Abtrages und der dabei gewonnenen Erkenntnisse bestätigt oder sichergestellt werden. Mangelnde Aufschlüsse oder eine ungenügende Einsichtnahme in das Gebirge (z.B. infolge Überdeckung) bedeuten Ungewißheit, die mitunter sogar zu vorsorglichen Maßnahmen zwingt.

In verbauten Gebieten ist schließlich eine *Beweissicherung* hinsichtlich Sprengschäden anzuraten, um – zwar meist unbegründeten – Schadensmeldungen begegnen zu können. Ebenso zu beachten ist ein allfälliger Einfluß von Erschütterungen an der geschaffenen künstlichen Felswand durch Erdbebentätigkeit.

Grünverbauungen sollten sich im Fels auf Rasenpolster beschränken, weil Stauden und besonders Bäume durch Wurzelsprengung die Felsauflockerung fördern und überdies leicht vom Windwurf erfaßt werden können. Abb.X zeigt, daß eine für das Auge gefällige und der Landschaft angepaßte Böschungsbegrünung unter Ausnützung flacherer Bankungsflächen schon allein mit Rasenziegeln erreicht werden kann.



Abb.X. Felsbegrünung längs vorhandener Bankungsflächen

Ein sehr wesentlicher Faktor bei der Anlage von Sicherungen ist deren *Beständigkeit*. Dies betrifft nicht nur die Funktionstüchtigkeit von Entwässerungen, sondern auch die Festigkeit von Beton- und Steinstützkörpern, insbesondere aber den Korrosionsschutz von Stahlteilen, wie Schutznetzen, Felsnägeln und Felsankern. Wo solche Sicherungselemente hohe statische Funktionen zu erfüllen haben, sollten sie fallweisen Kontrollen unterzogen werden. Um das Risiko der Korrosion im vorhinein tunlichst klein zu halten, sollte schon bei der Auswahl der Sicherungssysteme (besonders bei Freispielankern) auf deren Isolierung bzw. auf eine sorgfältige Auspressung der blockierten Anker geachtet werden.

3.7 BEISPIELE VON BÖSCHUNGSGESTALTUNGEN UND BÖSCHUNGSSICHERUNGEN

Abb.26 zeigt schematisiert einige der gebräuchlichsten Sicherungsmethoden an einer freien, höheren Felsböschung; in Abb.27 sind ergänzend hiezu Beispiele örtlicher Felsicherungen dargestellt. Erfahrungen über derartige oder ähnliche Böschungsgestaltungen und Absicherungen liegen bereits in zahlreichen Beispielen vor, von denen einige herausgegriffen und nachstehend beschrieben werden.

Felsböschung am Pfaffenstein (Eisenbundesstraße)

Dem großzügigen Ausbau der Eisenbundesstraße zwischen Steyr und Hieflau stand bei km 73 ein gegen das Tal vorspringender Felsrücken im Wege. Um einen verkehrsgerechten Krümmungsradius zu erzielen, war entweder eine Untertunnelung oder ein bis 60 m hoher, rund 4 : 1 steiler Anschnitt des aus Hauptdolomit aufgebauten Rückens erforderlich. Nach Abwägung aller geotechnischen und wirtschaftlichen Vor- und Nachteile entschloß man sich für eine Anböschung, obwohl im nördlichen, 1,7 km langen Streckenabschnitt bereits an 25 m hohen Felsanschnitten beachtliche Schwierigkeiten durch ungünstige Gefügeverhältnisse auftraten.

Bei der hohen Anböschung am Südende dieses Bauloses ging es vor allem darum, die den anstehenden Hauptdolomit zerschneidenden, parallel bis spitzwinkelig zur Wandfläche und steil talaus fallenden Kluftscharen und die sie begleitenden wandhohen, teilweise mit lehmigem Zerreibsel gefüllten Großklüfte mit meist ausgeprägten Harnischflächen zu beherrschen.

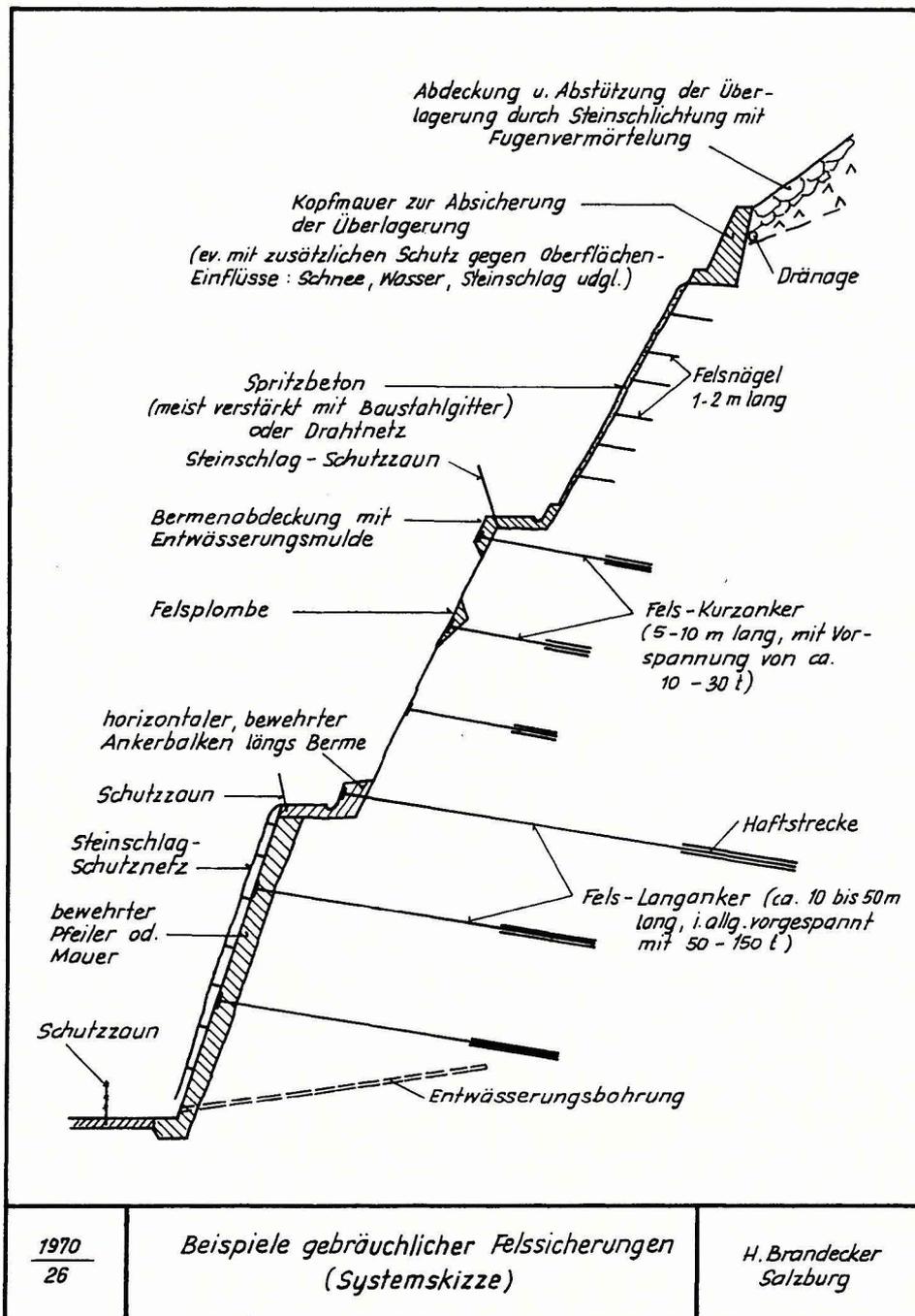


Abb.26

Die hinzugezogenen Gutachter – Dipl.Ing. F. PACHER und Dr. H. BRANDECKER – empfehlen einen schonenden Abtrag von oben nach unten mit sofort folgenden Sicherungen. Dabei wurden unter Berücksichtigung der Raumstellung des Kluftgefüges, insbesondere der vorgenannten, befürchteten Ablöseflächen, Verankerungen in Verbindung mit bewehrten Balken und Pfeilern sowie Abstützungen durch Plomben angeordnet. Klein zerkleinerte Felspartien, die dem Dolomit zu eigen sind, sanierte man durch vernageltes Baustahlgitter und Spritzbeton. Des weiteren wurden Schutzgitter und Schutzräume gegen Steinschlag längs der unteren zwei Bermen angeordnet. Diese Schutzmaßnahmen erwiesen sich nicht nur wegen des Verkehrs, sondern auch zur Absicherung gegen

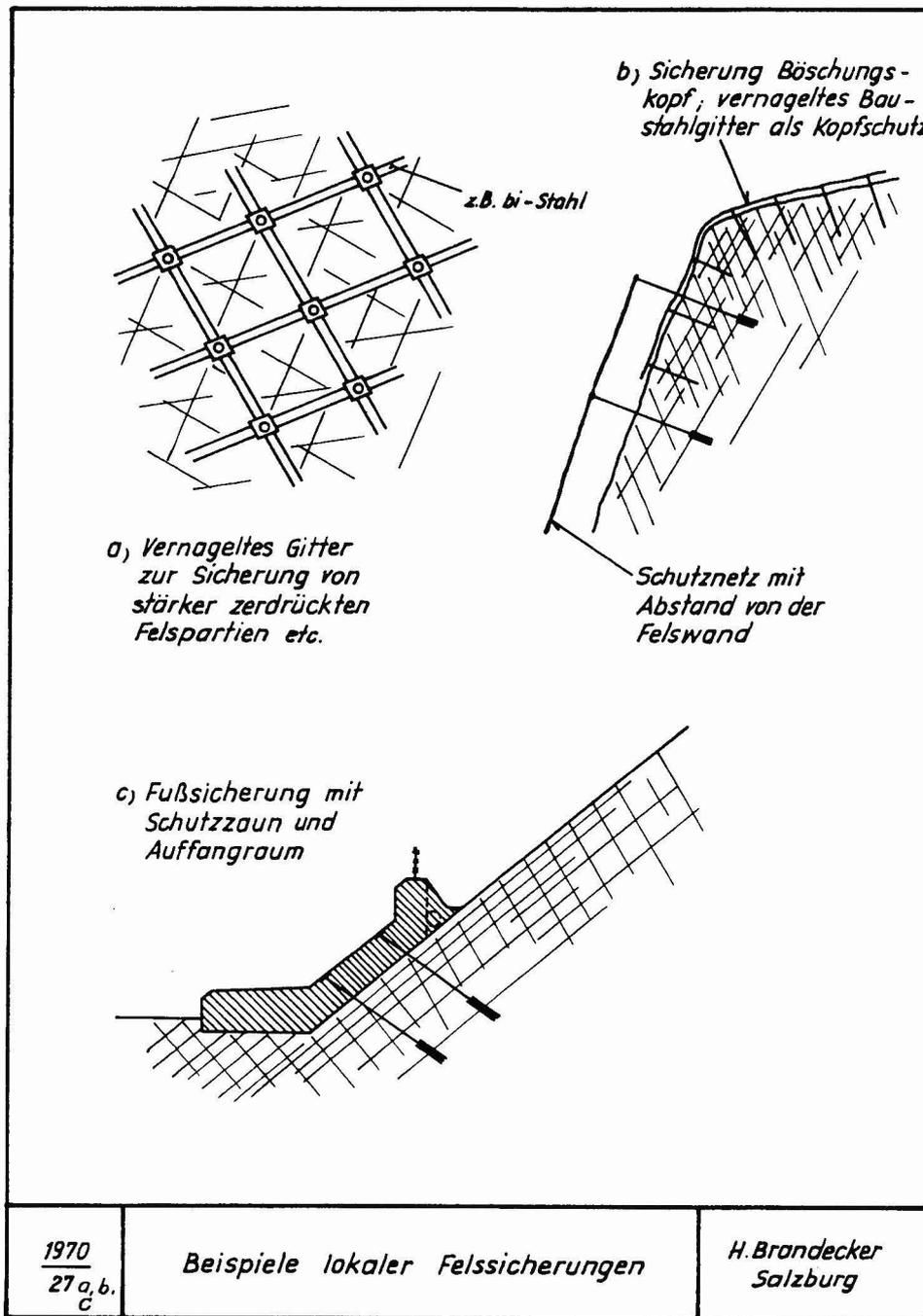


Abb.27

Steinschlag für die am Nordende des hohen Felsanschnittes neu errichtete Halbbrücke als unbedingt erforderlich.

Zur laufenden Bewegungskontrolle wurden schließlich einige Meßbolzen gesetzt und zwei Anker als Meß-(Freispiel-)Anker ausgebildet. Die Felssicherungen konnten übrigens in einem unerwartet bescheidenen Rahmen gehalten werden, wozu vor allem die konsequente Durchführung der rasch einsetzenden Stützmaßnahmen von zugänglichen Bermen und der fachgerechte, sehr schonende Abtrag durch ein Spezialunternehmen wesentlich beigetragen haben (Abb.XI).

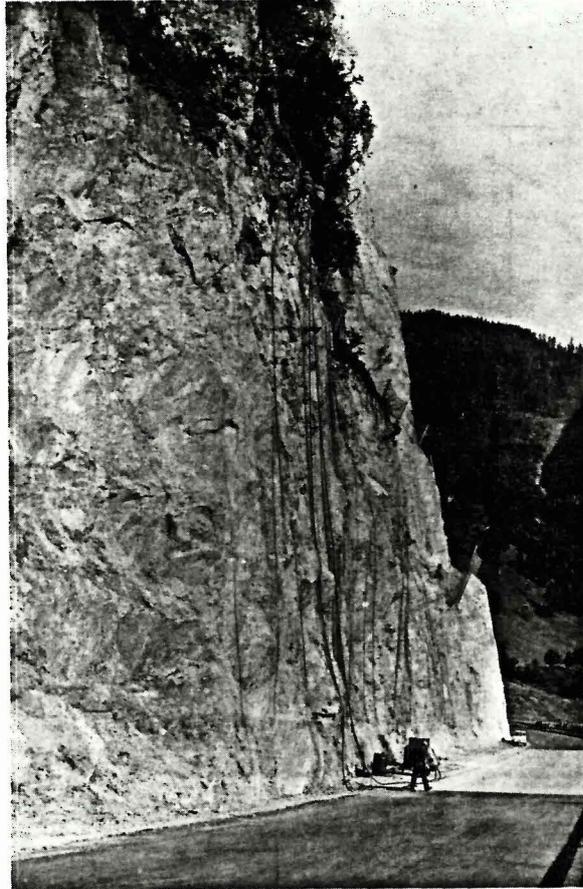


Abb.XI. 55 m hohe Felsböschung an der Eisenbundesstraße mit Felsicherung durch Ankerbalken und Schutznetzen längs 2 bis 3 m breiten Bermen

Felsböschung für die Nordeinfahrt von Zell am See

Beim Ausbau der Nordeinfahrt von Zell am See, wo der See, die Trasse der Österreichischen Bundesbahnen und der steil ansteigende Berg nur wenig Raum für eine Straße lassen, war für deren Ausbau ein bis 20 m hoher Anschnitt in Phylliten der Grauwackenzone erforderlich. Dieser konnte aber mit einer Neigung von 5 : 1 vorgenommen werden, weil die Schieferungsflächen zur freien Böschungsfäche günstig standen und außerdem eine Verkleidung der Felswand durch eine Mauer vorgesehen war. Diese Verkleidungs- und Futtermauer, verstärkt durch stehende Pfeiler in Abständen von 5,25 m, wurde zur Erzielung einer festen und dauerhaften Verbindung mit dem Gebirge durch nicht vorgespannte Felsanker von 4 bis 6 m Länge und 15 Mp Zugkraft gesichert. Die drohende Ablösung eines größeren Felskeiles längs steil hangaus fallender Gefügeflächen mußte durch Anordnung zusätzlicher Anker mit 50 Mp Vorspannung und 12 bis 20 m Länge verhindert werden.

Für die Fassung und Ableitung der aus dem Fels flächenhaft austretenden Bergwässer wurde hinter der Verkleidungsmauer eine wasserwegige Einkorn-Beton-Schichte angeordnet, die zugleich eine satte Anpressung der äußeren, statisch wirkenden Mauer an den Fels gewährleistet (Abb.28).

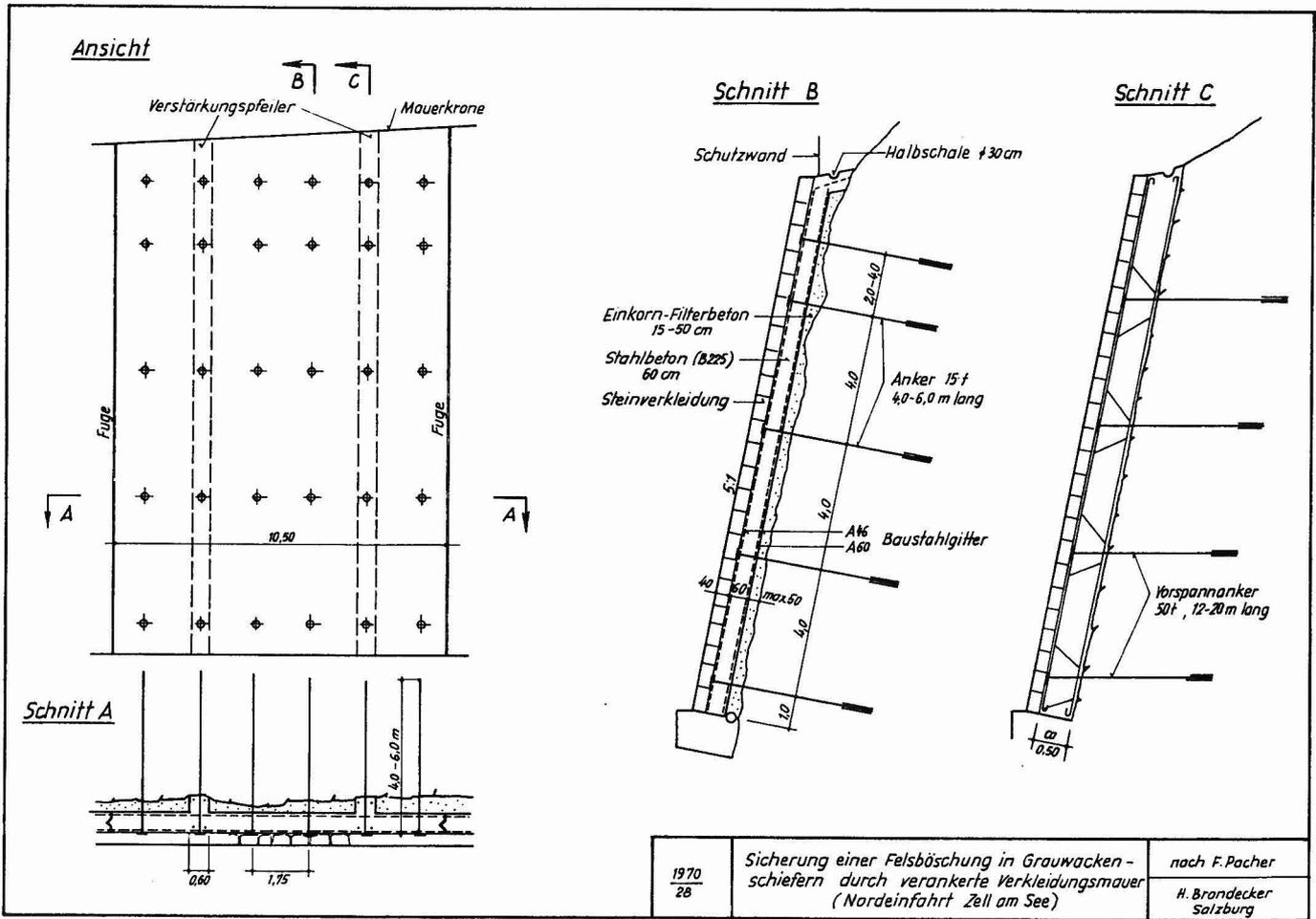


Abb.28

4 BÖSCHUNGEN IN FELS UND LOCKERMASSEN

4.1 ALLGEMEINES

Geländeböschungen schneiden häufig den *Fels und seine Überlagerung* an, wobei der felsige Untergrund den Böschungsfuß bildet und die darüberliegenden Lockermassen je nach Mächtigkeit einen mehr oder weniger großen Anteil des oberen Böschungsanschnittes einnehmen. Einem derart unterschiedlichen Bodenaufbau muß sich auch die Böschungsgestaltung anpassen, soll eine gute Wirtschaftlichkeit und Standhaftigkeit zugleich erreicht werden. Die Vorausplanung der Entwurfsböschung und die Ausführung selbst setzen allerdings eine genaue Kenntnis des Verlaufes der Felsoberfläche wie auch der Tiefe der Auflockerungs- und Verwitterungszone voraus. Für die Gestaltung der Böschungen in den verschiedenen Bodenarten können ansonsten die in den Abschnitten 2 und 3 empfohlenen Neigungen – unter Berücksichtigung der Bodenkategorien und Böschungshöhen – angewendet werden.

Die Möglichkeiten der Gestaltung sowie der Absicherung derartiger Böschungen sind natürlich noch mannigfaltiger und bedürfen umsichtiger Überlegungen über Vor- und Nachteile. Auch diesbezüglich darf auf die früheren Ausführungen verwiesen werden. Notwendige Böschungsverkleidungen und sonstige Sicherungen für Fels und Lockermassen müssen dabei sinngemäß kombiniert werden. Die Abb.29 zeigt einige typische Grundfälle von Böschungssicherungen durch verschiedene Typen von Futter- oder Wandmauern mit und ohne Verankerung.

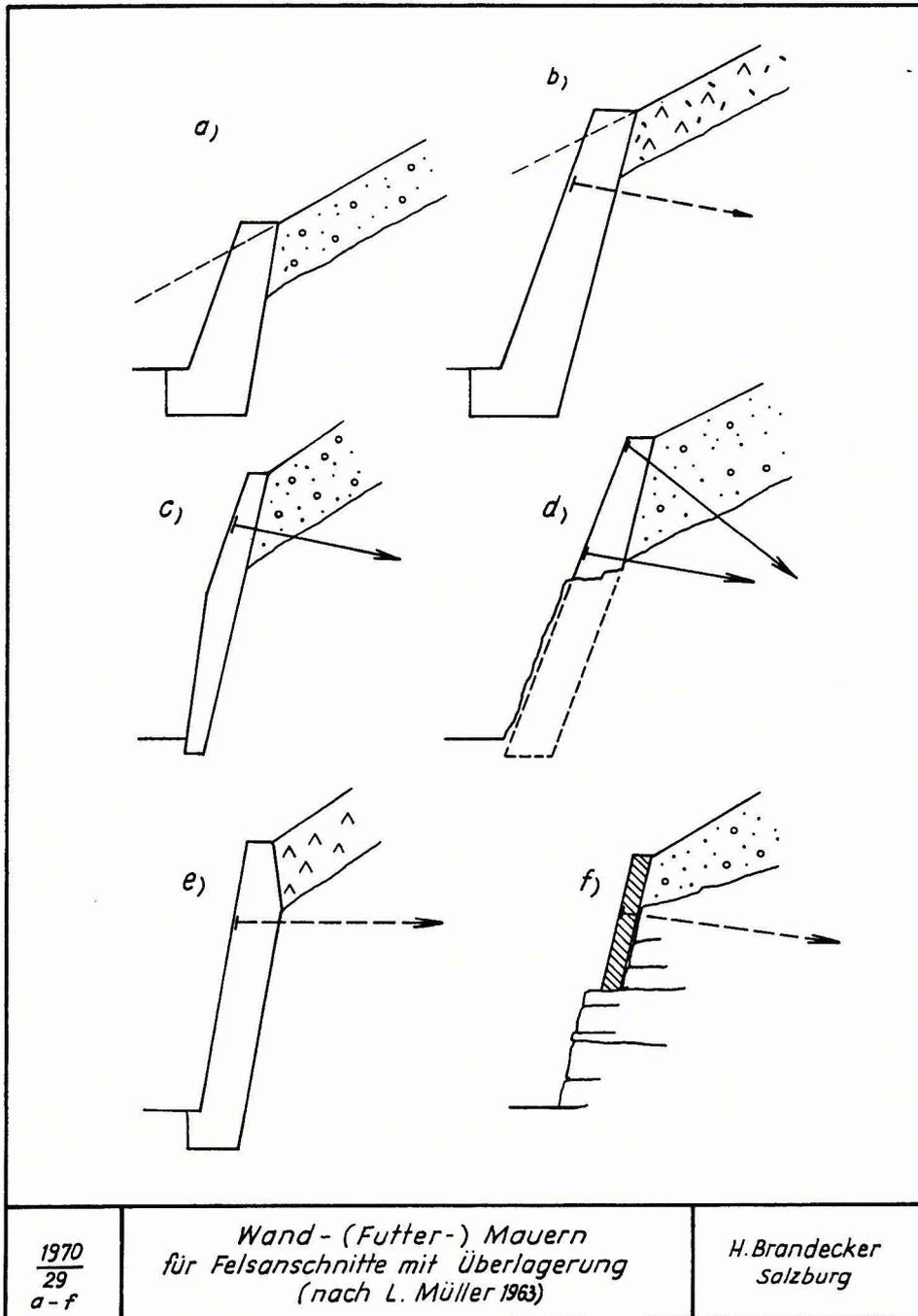


Abb.29

4.2 BEISPIELE

Geländeanböschungen im *Fels* und in einer mächtigeren *Überlagerung* zugleich zeigen die beiden nachstehenden Beispiele von in letzter Zeit in der Steiermark und in Salzburg durchgeführten Straßenbauten.

Hanganböschung für die Ennstal-Bundesstraße im Bauabschnitt Mandling-Klaus bei Schladming

Die Straßenverbreiterung erfolgte im nördlichen Hangfuß, wobei ein rund 40 m hoher Anschnitt zustande kam, von dem etwa das untere Drittel in kompakteren Grauwackenschiefern mit einigermaßen festem Gesteinsverband herzustellen war, und dessen Böschungswinkel daher mit 2 : 1 angenommen werden durfte. Der höhere Felsbereich, der den Mittelteil der Böschung einnimmt, zeigte stärkere Zerdrückungen und Auflockerungen, wodurch noch während des Abtrages Teilabgleitungen von einzelnen Felsschollen längs Harnisch- und Störungsflächen auftraten. Daraus ergab sich in diesem Falle die Notwendigkeit einer Böschungsverflachung auf 5 : 4 bis 1 : 1.

Die im allgemeinen wenig wasserdurchlässigen und daher stauenden Schiefergesteine hatten überdies eine stärkere Durchfeuchtung der lehmig-sandig-kiesigen Überlagerung zur Folge. Diese tiefgründig und lehmig verwitterten alten Talanlandungen wiesen infolgedessen nur eine sehr geringe Standfähigkeit auf, weshalb sie auf ihre ganze Höhe von rund 12 m auf 2 : 3 verflacht werden mußten. Zusätzliche biologische Verbauungen und Ableitungen von Oberflächen- und Sickerwässern waren darüber hinaus nötig.

Mit der großzügigen Verflachung und daher mit der Entlastung der Böschungsschulter wurde ein Weitergreifen der längs Harnischen und schmierigen Schichtflächen erfolgten Rutschungen verhindert. Zusätzliche Felssicherungen durch Verankerungen und Spritzbetonabdeckungen, eventuell auch Abstützungen durch Pfeiler oder kleine Fußmauern, wurden für den tieferen Felsbereich in Erwägung gezogen, gelangen jedoch erst je nach Entwicklung des Zustandes der unter Beobachtung stehenden Felswand zur Ausführung (Abb.30a).

Hanganböschung für die Wolfgangsee-Bundesstraße bei St.Gilgen

Beträchtliche Hanganschnitte erforderte der großzügige Ausbau der Wolfgangsee-Bundesstraße entlang dem südlichen Seeufer, wo der Berg mehr oder weniger steil in den See eintaucht und schon der alte und schmale Straßenkörper nur durch Anschnittsböschungen im Fels und durch Futtermauern in den Überlagerungen einigermaßen untergebracht werden konnte. Eine weitere Seewärtsrückung der neuen Trasse war wegen der Labilität des Seeschuttkegels und der damit unsicheren Gründung des Dammfußes nicht mehr zu vertreten.

Die geplante Verbreiterung der Straße unter Verwendung zügiger Radien verlangte allerdings Anböschungen, die stellenweise Höhen von 50 m erreichten. Sie waren im wesentlichen im Hauptdolomit herzustellen, der dort eine undeutliche, im allgemeinen flache Lagerung aufweist und außerdem infolge der nahe verlaufenden Wolfgangsee-

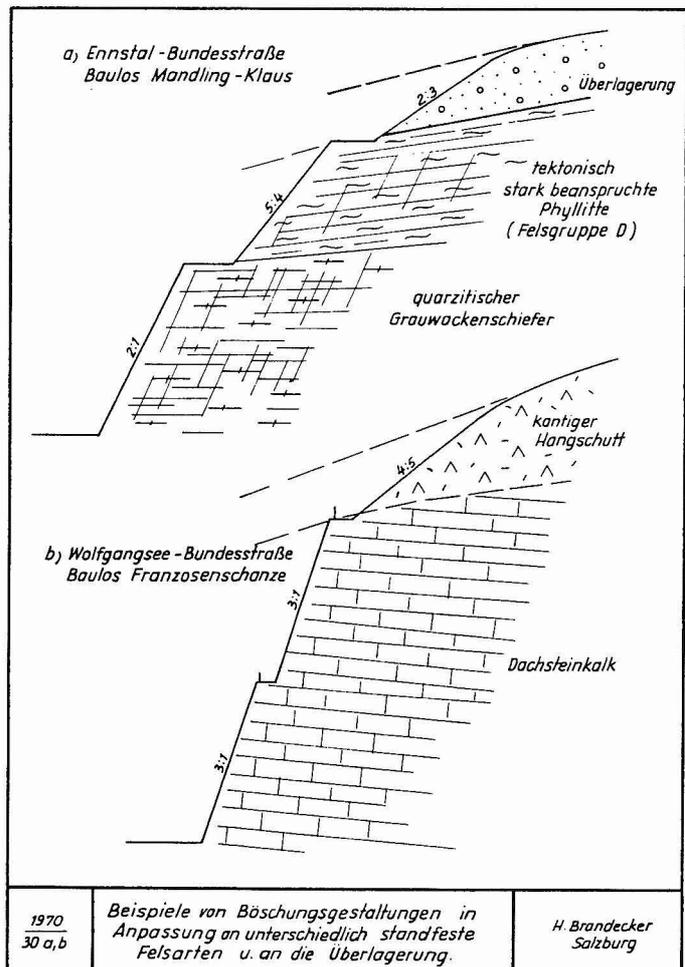


Abb.30

Hauptstörung tektonisch stark beansprucht und teilweise verstellt ist. Dies zeigt sich in engständigen Felszerhackungen, Ruschelzonen, unregelmäßigen Großklüften sowie kleineren Störungen. Aber auch Einschuppungen toniger und mergeliger Kreide- und Jura-Gesteine und Einschaltungen bituminöser Gesteinspartien sowie durch Verwitterung aufgelockerte Zonen tragen da und dort zur Schwächung des Gesteinsverbandes bei. Die angestellten Untersuchungen gaben schließlich den Hinweis auf eine kräftige Felsüberdeckung durch Moränen, Stausedimente und Hangschutt im Bereich einer ehemaligen, rund 40 m über dem Seespiegel liegenden Talverebnung.

Eine Anschmiegun g der Anschnittsböschungen an diese vorgegebenen geologischen Verhältnisse einerseits und an die steil ansteigende Bergflanke andererseits mußte daher unter Ausnützung möglichst steiler Böschungswinkel erfolgen, um noch einen Geländeverschnitt unterhalb des Kammsteilhanges zu erreichen. Unter Bedachtnahme auf die erforderlichen Felssanierungen, die Schaffung einer möglichst hohen Sicherheit für den künftigen Verkehr durch Schutzräume und Schutzzäune sowie zur Aufrechterhaltung des Verkehrs während der Bauzeit selbst wurde auf die Einschaltung einer kräftigen Berme in halber Wandhöhe Wert gelegt. Die Böschungsneigungen im Fels wurden mit etwa 3 : 1 veranschlagt; in der teilweise stärker lehmigen und durchfeuchteten, bis 10 m mächtigen schotterigen Moräne war – nach Austrocknung des Bodens – die Herstellung einer Böschung mit einer Neigung von 3 : 4 und in den kantigen, grusig-steinigen und lehmig gebundenen Hangschuttmassen sogar eine solche von 4 : 5 bis 1 : 1 möglich. Umfangreiche bauliche Absicherungen der Überlagerung durch Stützelemente waren bisher nicht erforderlich, eine wahrscheinlich ausreichende Standsicherheit der Böschungen wurde bislang allein durch biologische Verbauungen, hauptsächlich durch eine Strohecksaat und durch Versetzung von Weidenspreitlagen, erreicht. Die Absicherung der Felsböschungen durch Felsnägel, Felsanker, Plomben, kleinere Ausmauerungen und Schutznetze ist, soweit überhaupt nötig, noch nicht abgeschlossen (Abb.30b).

5 BÖSCHUNGEN IN VERFESTIGTEN LOCKERMASSEN UND VERÄNDERLICH-FESTEN GESTEINEN

In der Natur kommen Böden vor, die zwar nicht geologisch, wohl aber hinsichtlich ihrer bautechnischen Eigenschaften als *Fels* anzusprechen sind. Sie können bei der Anlage von Böschungen als solcher bewertet werden, wenn die *felsige* Festigkeit von Dauer ist und nicht im Laufe der Zeit durch Witterungseinflüsse entscheidend abgebaut wird. Andererseits gelten als *veränderlichfeste Böden* jene Felsgesteine, die unter atmosphärischer Einwirkung einen schnellen Zerfall erleiden. Dazu zählen unter anderem die meisten Mergel- und Tonschiefer verschiedener geologischer Formationen und Bauelemente (z.B. von Flysch- und Schliergebieten) oder auch bestimmte phyllitische Gesteine, vertalkte und graphitische Schiefer, Salz-Ton-Gips-Gesteine (Haselgebirge) usw. der *Felsgruppe E*.

Bei den oben geschilderten Gebirgsarten ist daher nicht der augenblickliche, sondern vielmehr ihr späterer, oft schon nach wenigen Jahren sich einstellender Festigkeitszustand – und damit ihre Verwitterungsbeständigkeit schlechthin – bei der Festlegung der Böschungsgestalt zu beachten. Umgekehrt können natürlich verfestigte Lockermassen ihren Zustand nicht nur erhalten, sondern ihn bei Luftzutritt sogar erhöhen. Zu solchen Böden gehören gewisse Arten von konglomerierten Schottern und verkrusteten Sanden, teilweise auch Lößböden, die bei entsprechend vorsichtigem Abtrag beachtlich steile Böschungsneigungen gestatten.

Die konglomerierten, zwischeneiszeitlichen Schotter der Flußtäler in den Alpen sind aber hinsichtlich ihrer Standfestigkeit auch trügerisch, weil die (meist durch Kalzit erfolgte) Verfestigung des Sand-Kies-Kornes häufig nur die oberflächennahe, durchlüftete Zone erfaßt und dahinter lediglich schwach haftende Lockergesteine oder gar rollige, nicht gebundene Sande und Kiese vorliegen. Die Beurteilung des Böschungswinkels soll daher dort sehr vorsichtig erfolgen und bei tiefer in das Gelände eingreifenden Abtragungen keinesfalls nur vom Standwinkel der äußeren, verkrusteten Schwarte ausgehen.

Treten felsig verfestigte Zwischenlagen (z.B. konglomerierte Schotter) lagenweise in sonst weicheren oder lockeren Sedimenten auf, kann zumeist eine etwas steilere Böschungsneigung als jene des natürlichen Stand-(oder Grenz-)Winkels der minderfesten Schichte erzielt werden. Je nach Anteil der Festschichten am Aufbau der gesamten Böschungshöhe ist natürlich auch die Gesamtscherfestigkeit unterschiedlich groß. Der ohne besondere Absicherungen erreichbare Böschungswinkel ist dabei mehr abhängig vom Zustand der nicht verfestigten als von dem der

verfestigten Schichten. Sind solche weichere Zwischenlagen aber mächtiger, bedürfen sie einer zusätzlichen Stabilisierung. Außerdem ist die Raumstellung der Hürtlinge zu beachten und zu kontrollieren, ob sie nicht schon abgerissen und verstellt sind.

Eine Regel für die Ausführung und Neigung von Böschungen in derartigen Bodenschichten kann nicht ohne weiteres gegeben werden. Die in Abb.31 gezeigten Fälle veranschaulichen daher nur grundsätzliche Möglichkeiten von Böschungsgestaltungen und deren baulicher Sicherung, z.B. durch vernageltes Baustahlgitter und Spritzbeton, eventuell sogar durch Abmauerungen.

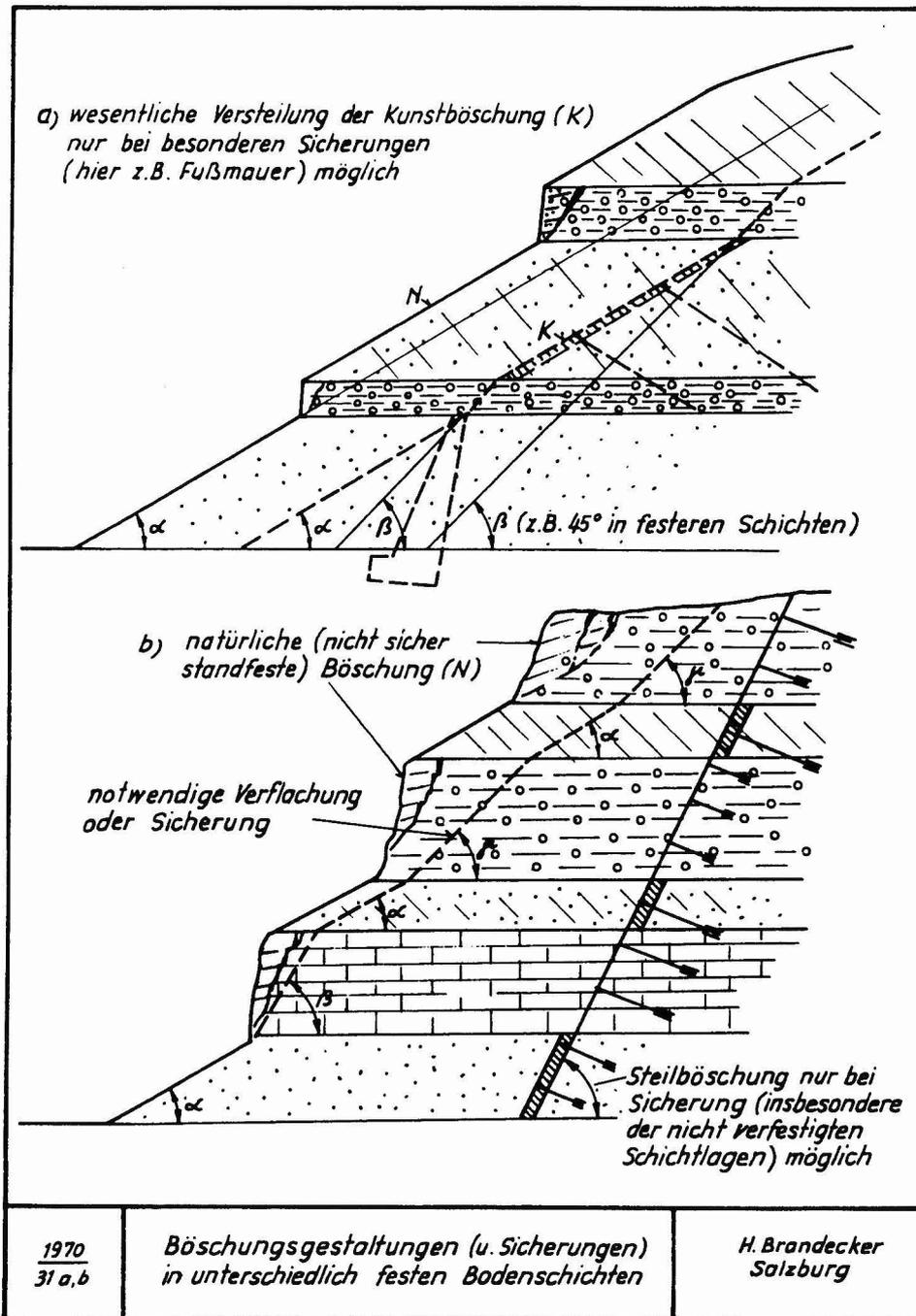


Abb.31

Stark verdichtete und verfestigte Lockerböden, wie etwa schlufftonreiche Grund- und Geschiebemoränen, stehen im frischen Zustand manchen Felsgesteinen nicht nach, doch ist ihre Entfestigung durch Luft- und Wasserzutritt erheblich und mitunter höchst gefährlich, da sie dadurch mehr oder weniger rasch zerfallen und sogar zu breiförmigem Rutschungsfließen neigen. In veränderlichfesten, witterungsempfindlichen Böden sind aber beachtliche – dem frischen Zustand entsprechende – Böschungswinkel dann möglich, wenn sie durch sofortige Versiegelung vor Entfestigung und Zerfall geschützt werden.

Bei der Festlegung von Böschungsneigungen ist aber nicht nur das unterschiedliche Festigkeitsverhalten verschiedener Bodenschichten an sich und im Laufe der Zeit zu berücksichtigen, sondern auch zu bedenken, daß einheitliche Böden in größerer Mächtigkeit und über längere Bauabschnitte in Österreich verhältnismäßig selten sind und daher auch einheitliche Böschungsneigungen über längere Ausbaustrecken nicht im vorhinein angenommen werden dürfen.

6 BÖSCHUNGEN IN AKTIVEM RUTSCHGELÄNDE

Böschungsanlagen in aktivem Rutschgelände, aber auch in Hängen mit fossilen oder rezenten Talzuschub-Erscheinungen, verlangen erhöhte Vorsicht, weil durch die vorzunehmenden Anschnitte eine weitere Verminderung der Standfähigkeit der Lehnen bzw. Störung eines an sich schon labilen Zustandes eintritt. In derartigen Fällen sind die geologisch-bodenmechanischen Verhältnisse fast immer sehr uneinheitlich und unübersichtlich, so daß durch erdstatische Berechnungen eine Vorausbestimmung der noch möglichen Böschungsneigungen, der Standsicherheit oder der notwendigen Rückhaltekräfte kaum möglich ist. Die Ermittlung für *vorläufige Entwurfsböschungen* und der voraussichtlich notwendigen Sanierungen und Absicherungen sind daher sehr sorgfältig durchzuführen. Sie müssen sich zumeist auf eine laufende, flächenhafte und in die Tiefe greifende Bewegungskontrolle erstrecken, um das Ausmaß, die Mächtigkeit und die Geschwindigkeit der bewegten Massen ersehen zu können. In manchen Rutschgebieten haben die Bewegungen auch den unter aufgeweichten Lockermassen liegenden Fels erfaßt oder es sind die Hangbewegungen überhaupt vom anstehenden Gebirge ausgegangen. Es treten dann sowohl boden- als auch felsmechanische Probleme auf, deren einwandfreie Deutung meist recht schwierig ist.

Durch künstliche Anschnitte ausgelöste progressive Hangbewegungen verlangen fast immer einen beträchtlichen Zeit- und Kostenaufwand zur Sanierung. Ausgreifende Böschungsrutschungen können überdies in verbauten Gebieten arge Schäden an Objekten, Straßen und Versorgungseinrichtungen verursachen. Um Ersatzansprüche von Schäden an Häusern, Wasserversorgungen u.dgl. objektiv beurteilen zu können, ist daher besonders in rutschgefährdeten Hängen zeitgerecht ein Beweissicherungsverfahren einzuleiten.

In Rutschgebieten sollten vorsorglicherweise Geländeanschnitte nur etappenweise und zu einer günstigen Jahreszeit (unter Umständen sogar im Schutze des Frostes) durchgeführt werden. Bei Herstellung von Böschungen in rutschfähigem Gelände zwingen plötzlich auftretende Bewegungen oder auch nur Ansätze von offensichtlich progressiv werdenden Rutschungen zu schnellen Entschlüssen und Improvisationen, um deren Weitergreifen zu verhindern. So beispielsweise, wenn während des Abtrages unerwartet starker Bergwasserandrang oder anhaltende Niederschläge auftreten, die rasche und erhebliche Verflachungen gegenüber der geplanten Böschungsneigung verlangen.

Bei Geländeanböschungen in rutschverdächtigem Gelände müssen die Untersuchungen großzügig erfolgen und immer das gesamte Bauvorhaben umfassen. Sofern nämlich weiter talseitig für einen Dammaufstand erträgliche Bedingungen vorliegen, wird man diese nützen und damit an sonst schwer beherrschbaren Anschnittshöhen sparen. Ist dies aber nicht möglich und sind hohe Anschnitte in einem Rutschgelände unvermeidlich, sollte zunächst eine Vorsanierung des Hanges selbst durchgeführt werden. Gute Erfolge können dabei oft schon mit geringen Mitteln erreicht werden, und zwar durch eine – möglichst lange Zeit vor dem Abtrag vorzunehmende – Oberflächen- und Tiefenentwässerung sowie durch Lebendverbauung des gesamten Gebietes, mit denen oft allein ein befriedigender Gleichgewichtszustand unruhiger Hänge wieder erreicht werden kann.

Die Stütz-, Entwässerungs- und Sicherungssysteme für rutschgefährdete Böschungen sollten nicht starr ausgebildet werden, sondern wenigstens imstande sein, geringfügige Bewegungen mitzumachen. Dafür eignen sich vor allem Steinkeile und Steinrippen sowie Raumgitterstützmauern aus Beton (bei vorübergehenden Abstützungen eventuell auch aus Holz) oder aber Plastikrohre zur Aus- und Ableitung von Bergwässern.

Bei nur langsamen Bodenbewegungen (Hangkriechen und Schuttwandern) an schon fertiggestellten Böschungen sind zum Nachweis einer Gefährdung der Standsicherheit der Böschung und sonstigen Kunstkörper Meßkontrollen vorzunehmen, deren Ergebnisse in einem Zeit-Bewegungs-Diagramm aufzutragen sind, woraus nähere Hinweise über ein weiteres Ausgreifen der Rutschungen, bevorstehende größere Böschungsbrüche usw. mit einiger Wahrscheinlichkeit abgeleitet werden können.

7 VORERHEBUNGEN UND UNTERSUCHUNGEN

Um die geologisch-bodenmechanischen Verhältnisse größerer Böschungsanlagen möglichst gründlich zu erfassen und eine treffende Vorausbestimmung der Böschungsneigungen geben zu können, sind Bodenaufschlüsse erforderlich. Diese werden je nach Art der Überlagerung oder des felsigen Gebirges als *Schlagbohrungen* oder als *Kernbohrungen* ausgeführt. Dabei ist auf die Entnahme von *ungestörten Proben* bei bindigen Böden und auf die lückenlose Erfassung aller durchörterten Schichten besonders zu achten. Der Durchmesser der Bohrungen sollte nicht zu klein bemessen werden, damit Probenzylinder eingeführt und auch gröberes Korn unzerkleinert gewonnen werden kann. Meißelarbeit ist tunlichst zu vermeiden. Bei Verwendung von *Rotationskernbohrgeräten* ist der Einsatz doppelwandiger Kernrohre zwecks Schonung des Bohrgutes angezeigt. Die Beigabe von Wasser ist, um eine Fälschung des natürlichen Feuchtigkeitsgehaltes des Bodens zu vermeiden, nicht oder nur in Ausnahmefällen und bei ausgesprochenen Felsbohrungen zu gestatten. Aufweichungen des Bohrgutes durch einen oder mehrere Grundwasserhorizonte können vielfach durch Teleskopierungen der Verrohrungsgarnituren vermieden werden.

Neben Bohrungen erweisen sich in vielen Fällen auch *Aufschlußschächte* und *Schurfröschen* zur Feststellung der Felsoberfläche, des Bodenzustandes und besonders für die Entnahme ungestörter Proben oder für die Durchführung von In-situ-Versuchen wertvoll. Ihre Anwendung ist auch dort gegeben, wo Schwierigkeiten des Transportes der Bohrgeräte auftreten oder wo bei geringen Aufschlußtiefen mit ihnen eine bessere Wirtschaftlichkeit erreicht wird. Desgleichen bewähren sich für seichtere Untersuchungen in leichteren Böden *Bodensondierungen* mittels verschiedener kleiner Schlaggeräte.

Der *Abstand* der Bodenaufschlüsse richtet sich nach der Wechselhaftigkeit des Untergrundes und der Größe der baulichen Eingriffe. Das gleiche gilt für die *Erkundungstiefe*, die normalerweise 3 bis 5 m unter das Erdbauplanum reichen sollte.

Das gewonnene *Bohrgut* ist frostfrei zu lagern, bindige Böden sind, auch wenn gestört, luftdicht zu verschließen, wofür sich bei kurzfristiger Aufbewahrung Plastiksäckchen gut eignen. Ungestörte Proben in Probenzylindern bedürfen der üblichen sorgfältigen Behandlung hinsichtlich der Aufbewahrung und des erschütterungsfreien Transportes. Bei umfangreicheren Bauvorhaben ist durch den Geologen oder Bodenmechaniker eine Auswahl von typischen Proben für die weitere Untersuchung im Erdbaulabor vorzunehmen. Großproben von kohäsionslosen Böden (z.B. Schotter) sind durch die Viertel-Teil-Methode auf die erforderliche Menge zu vermindern.

Für die *Dokumentation* der Bohrergebnisse sind nicht nur die Aufzeichnungen des Bohrmeisters, sondern auch jene des Baugrund-Experten in – am besten gemeinsamen – *Schichtverzeichnissen* festzuhalten. Abb.32 zeigt ein hierfür bewährtes Muster für Lockermassen.

Aus eigener Erfahrung des Verfassers werden zur Dokumentation zusätzlich Schwarzweiß- oder Farbfotos, insbesondere bei Felsbohrungen, empfohlen, die den Zustand des Gesteines oder Bohrgutes auch später noch gut in Erinnerung bringen (Abb.XII). Für den Projektanten und bauausführenden Ingenieur gleich wertvoll ist eine verständliche und praxisgerechte Darlegung von allen wesentlichen geologischen Merkmalen des in Angriff zu nehmenden Geländebereiches sowie Hinweise über notwendige geotechnische Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen in Quer- oder Längsprofilen (Abb.33).

Auftraggeber : Salzburger Landesregierung Autobahn				Projekt : Tauernautobahn Bohrabschnitt Salzachtal			Aufschluß Anschlussst. Werfen Lage km 43,750 Art Kernbohrung				Nr. W 17	
1a	1b	2	3	BODENART			5	6	7	8	9	10
Tiefe		Schnitt- mächtig- keit m	Boden- schichte Darstellung gem. DIN 4023	lt. Angabe der Bohrfirma	Bezeichnung nach BPR	geologische Bezeichnung	Angaben über Kornaufbau, Wassergehalt, Lagerungsdichte, Konsistenz	Art der Boden- probe	Art der bodenphys. Prüfung	GW.- Beob., -Stand, Auftrieb, Zufluß usw.	Einbau Pegel- rohre	Bohr- durch- messer, Verrohrung, Meißelarb. usw.
ab Gelände m 0,00 =	absolute Höhe Terrain 430,00											
0,30	429,70	0,30		Humus	A-8	Mutterboden	—	—	—			101
1,50	428,50	1,20		Lehm	A-3/4/6	Hang- und Verwitterungslehm	bindig, halbfest	G	—			
		2,50		Schotter, dicht gelagert; etwas feucht	A-1-a/b	Moränenschotter fest (dicht) gelagert; im tieferen Bereich schwach durchfeuch- tet.	Sand und Kies einzelne Steine, schwach lehmig gebunden. $w_n = 12,4\%$	G	K			
4,00	426,00							G	K w_n			
5,50	424,50	—		Roter Schiefer mit Glimmer	—	Werfener Schiefer als rötlich - violetter, toniger bis feinsan- diger Schiefer	dünnpfächtig z. T. stärker zerklüftet	G	—			86
Aufschluß: begonnen 4.7.1969 beendet 6.7.1969				Auftragnehmer : Fa. Huber, Wien Meister: Müller Franz		geologische / bodenkundliche Sachbearbeitung: Dr. Berger		Maßstab 1 : 50			Plan- Nr. 1970/03-1	
1970/32		SCHICHTVERZEICHNIS FÜR AUFSCHLUSSBOHRUNGEN								H. Brandecker		

Abb.32

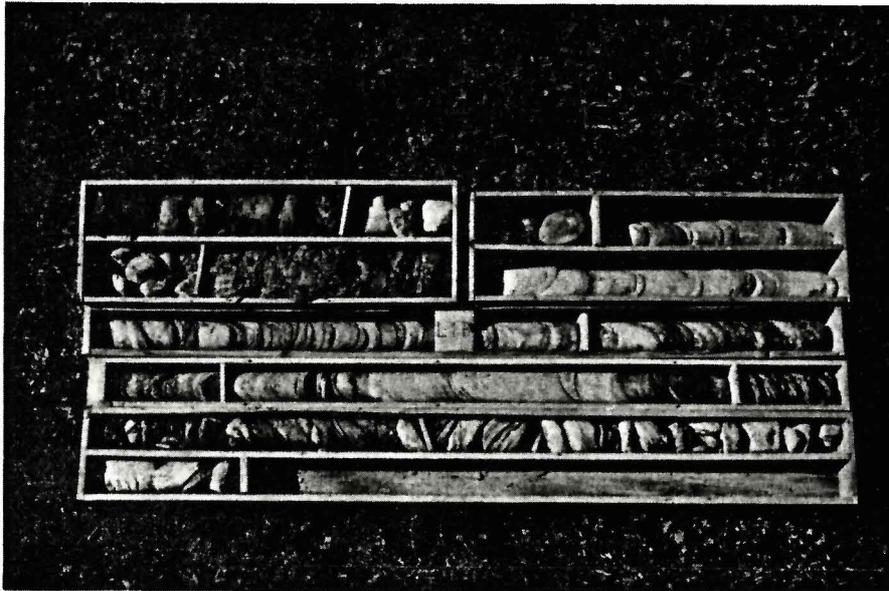


Abb.XII. Dokumentation der fotografischen Aufnahmen von Bohrkernen

Bezüglich der durchzuführenden *bodenphysikalischen Untersuchungen* im Felde und im Labor wird auf das einschlägige Merkblatt (Ausgabe 1963) der *Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen* verwiesen. Im allgemeinen geht es dabei um die Bestimmung

des Kornaufbaues,

der Konsistenzgrenzen und des Wassergehaltes sowie

des Reibungswinkels

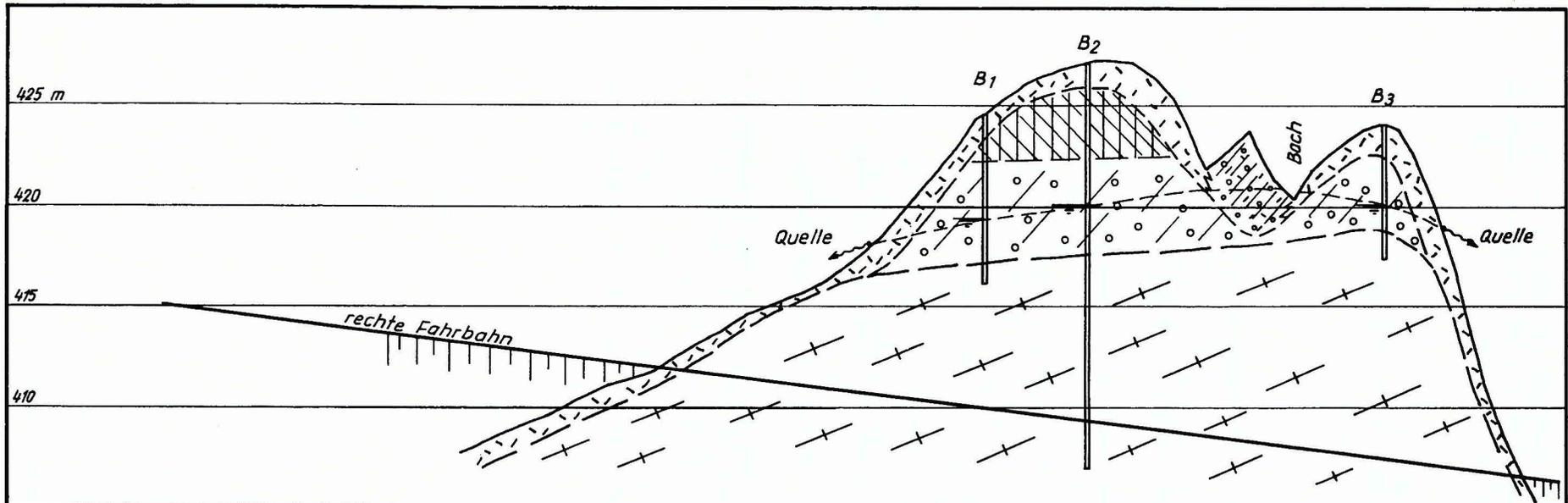
der Böden.

Die *Untersuchungen im Gelände* sollten sich insbesondere bei Felsanschnitten auf geologische Kartierungen erstrecken, die regional-geologische, morphologische, petrographische und hydrogeologische Verhältnisse und Zusammenhänge zu klären haben. Dazu gehören beispielsweise die Art und Mächtigkeit der Felsüberdeckung, die Beschaffenheit des anstehenden Gebirges und sein Gefügestand, die Bergwasserverhältnisse, aber auch die Feststellung etwaiger Gefahren durch Steinschlag und Muren sowie allenfalls auch durch Lawinen.

Die *Gewinnung von Naturbaustoffen*, hauptsächlich von Steinmaterial für die Herstellung dauerhafter Stützkörper, ist ebenso wichtig wie die Untersuchung der *Verwendungsfähigkeit des Abtrages* von Böschungs-An- und -Einschnitten als Material zur Dammschüttung oder für den Frostkoffer.

Dieser Überblick wäre unvollständig, wollte man nicht auch auf andere Untersuchungsmöglichkeiten des Untergrundes hinweisen. Dazu gehören vor allem *seismische* oder *geoelektrische Methoden* zur Bestimmung der Mächtigkeit von Überlagerungen, Grundwassertiefen u.dgl. mehr. Schließlich Untersuchungen in Bohrlöchern durch *optische Sonden*, *Fernsehsonden* (besonders zur Feststellung der Felsklüftigkeit), *radioaktive Messungen* (z.B. für Dichtebestimmungen) u.a.

Die Beobachtung und Beurteilung der *Bergwasserverhältnisse* verlangt mitunter die Anlage eines *Pegelnetzes* sowie *Markierungsversuche* zur Klärung der Versickerung von Obertagewässern und zur Verfolgung von Untertagewässern. In diesem Zusammenhang sind auch *meteorologische* und *hydrologische Erhebungen* – Niederschläge, Schneehöhe, Frostdauer, Einzugsgebiet, Abflußkoeffizienten usw. – für die Absicherung feuchtigkeitsempfindlicher Böschungen von Interesse.



1	Kilometer :	km	70,0	70,1	70,2	70,3	
2	Profil :	(geologisch ausgewertet)	Nr.	14	15	16	17
3	Geologie :	<p>Geländeformen - u. Neigungen Schichtaufbau, Bodenart und Bodenzustand; Felsbeschaffenheit; hydrologische Verhältnisse usw.</p> <p>steiler Felsrücken aus teilweise stärker verschieferten Gneis mit 10-15° hangausfallenden Schichtflächen mit steilstehender Kluftschär. Überlagerung durch lehmige Moräne u. Seeton; mäßige Verwitterungsschwarte; örtlich lehmiger Schwemmfächer. Bergwasser in den Schottern.</p>					
4	Geotechnische Probleme :	Standsicherheit von Anschnittsböschungen, Bestimmung von Böschungsneigungen, Dammaufstands- verhältnisse, Geländeentwässerungen u.dgl.	Damm- aufstand	<p>Standhaftigkeit der oberen Böschungshälfte; starker Bergwasserandrang; notwendige Böschungsversteilung wegen Geländeverschnitt (Objekte)</p>			Damm
5	Empfohlene geotechnische Sicherungs- u. Sanierungsmaßnahmen von Naturböschungen (u. Dämmen)	keine außergewöhn- lichen Maßnahmen zur sicheren Grün- dung erforderlich	<p>Sanierung Gerinne; geologische Hangvorentwässerung u. Drainagebohrungen am Böschungfuß sowie oberhalb Felsoberfläche. Böschung durch Berme (entlang Felsoberfläche) unterbrechen. Felsböschung 3:1 und ev. kleine Sicherungen (Felsnägel, Kurzanker, Netze) Böschung in Moränenschottern 2:3, im Seeton auf 1:2 bis 1:3 verflachen.</p>			-	
6	Abtrag :	Abtragstiefen (Erdbauplanum); Bodenklassifizierung; Eignung für; Anschätzung der Ausschubmengen; Auflockerungsfaktor	<p>Fels: Abbauklasse IV; Auflockerungsfaktor (bleibender) ~ 17-25 % 100%-ig verwendbar für Dammschüttung. Moräne: Abbauklasse III; 100%-ig verwendbar für Dammschüttung. Seeton u. Verwitterungslehm: Klasse II; nicht oder nur für untergeordnete Zwecke verwendbar, (Deponie für Ausschubboden suchen.)</p>			-	
7	Sonstiges :	z.B. biologische Verbauungen Bannwald; Hinweise über Wasserversorgungen u. Ersatzwasser; versch. Beweissicherungsver- fahren; durchgeführte u. nach erforder- liche Untersuchungen u. Projektierungen	<p>Rasche biologische Verbauung (insbes. der obersten Böschung; gefaßtes Bergwasser als Trinkwasser geeignet) jedoch Schüttungsmessungen ausständig. Detail über Böschungswinkel im Seeton u. nähere Untersuchung über Böschungswinkel im Seeton u. nähere Angaben über Felsicherungen im Zuge des Abtrages zweckmäßig. Aufschlußergebnisse siehe Schichtverzeichnis der Bohrungen</p>			-	
1970 33		Geologischer-geotechnischer Längenschnitt (Beispiel für Hanganschnitt)				H. Brandecker Salzburg	

Abb.33

Eine in letzter Zeit immer mehr in den Vordergrund tretende geotechnische Aufgabe ist die *Beurteilung der Felsankerungen*. Dabei ist durch felsgefügekundliche Untersuchungen der Oberfläche, in Bohrlöchern oder an Bohrkernen die Ankerfähigkeit und Belastbarkeit des Gebirges, die erforderliche Ankerlänge und die Haftstrecke festzustellen.

Abschließend wäre noch auf die Notwendigkeit einer sorgfältigen *Überwachung der Aufschlußarbeiten* und der Böschungsarbeiten selbst durch erfahrenes Personal hinzuweisen, um eine fachgerechte Ausführung und Auswertung der Ergebnisse zu gewährleisten.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Der neuzeitliche Straßenbau mit seinen großzügigen Trassierungselementen wird immer mehr in schwieriges Gelände gedrängt, wo er besonders in gebirgigen Landschaftsteilen tiefe Geländeeinschnitte oder hohe Hanganböschungen erfordert. Derartige Böschungen verdienen sowohl bezüglich ihrer Standsicherheit als auch aus wirtschaftlichen Erwägungen – Abtragskubatur, Grundinanspruchnahme usw. – Beachtung.

Es ist für die Planung und Bauausschreibung, aber auch für eine angestrebte elektronische Abrechnung oder für die Grundeinlösung von großem Wert, schon im Planungsstadium der definitiven Böschung weitgehend entsprechende *Entwurfsböschungen* festlegen zu können. Die vorliegende geotechnische Studie beschäftigt sich mit derartigen Gestaltungen natürlicher Böschungen in *Lockermassen* (Überlagerung, Deckgebirge usw.) und in *Fels*. Dabei werden die zweckmäßigsten Böschungsformen bei einfachen geologischen Verhältnissen für verschiedene Lockermassen und Felsarten in Tabellen, Diagrammen und Böschungsprofilen aufgezeigt. Es wird außerdem auf jene natürlichen Faktoren hingewiesen, welche die Böschungsneigungen und damit die Standsicherheit eines Anschnittes entscheidend beeinflussen; es sind dies chemisch-mineralogische, bodenphysikalische, geologische, hydrogeologische, tektonische und felsmechanische Gegebenheiten sowie klimatische und biologische Vorgänge.

Die in dieser Schrift vorgeschlagenen Empfehlungen über Böschungsgestaltungen werden ergänzt durch Angaben über die Zweckmäßigkeit der Anordnung von Bermen (Etagen, Banketten), insbesondere bei höheren Felsböschungen. Weiter werden die Arten der gebräuchlichsten Absicherungen von Böschungen in Lockermassen und in Fels durch Verkleidungen, Stützkörper, Verankerungen, Entwässerungen und Grünverbauungen beschrieben und ihre Anwendung an einigen Beispielen österreichischer Straßenbauvorhaben gezeigt. Darüber hinaus finden sich in der Schrift verschiedentliche Anregungen über die Herstellung von Böschungen sowie allgemeine Hinweise über Anschnitte im rutschgefährdeten Gelände. Schließlich werden die für solche Bauvorhaben notwendigen geologisch-bodenmechanischen Untersuchungen und anderweitigen Vorerhebungen sowie deren Auswertung und zeichnerische Darstellung kurz behandelt.

Anschrift des Verfassers:

DR. HERMANN BRANDECKER

BERATER FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE

A–5020 SALZBURG, A. Breitner-Straße 1

Tel. (06222) 20-1-25

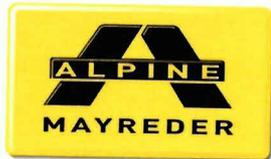
9 LITERATURAUSWAHL

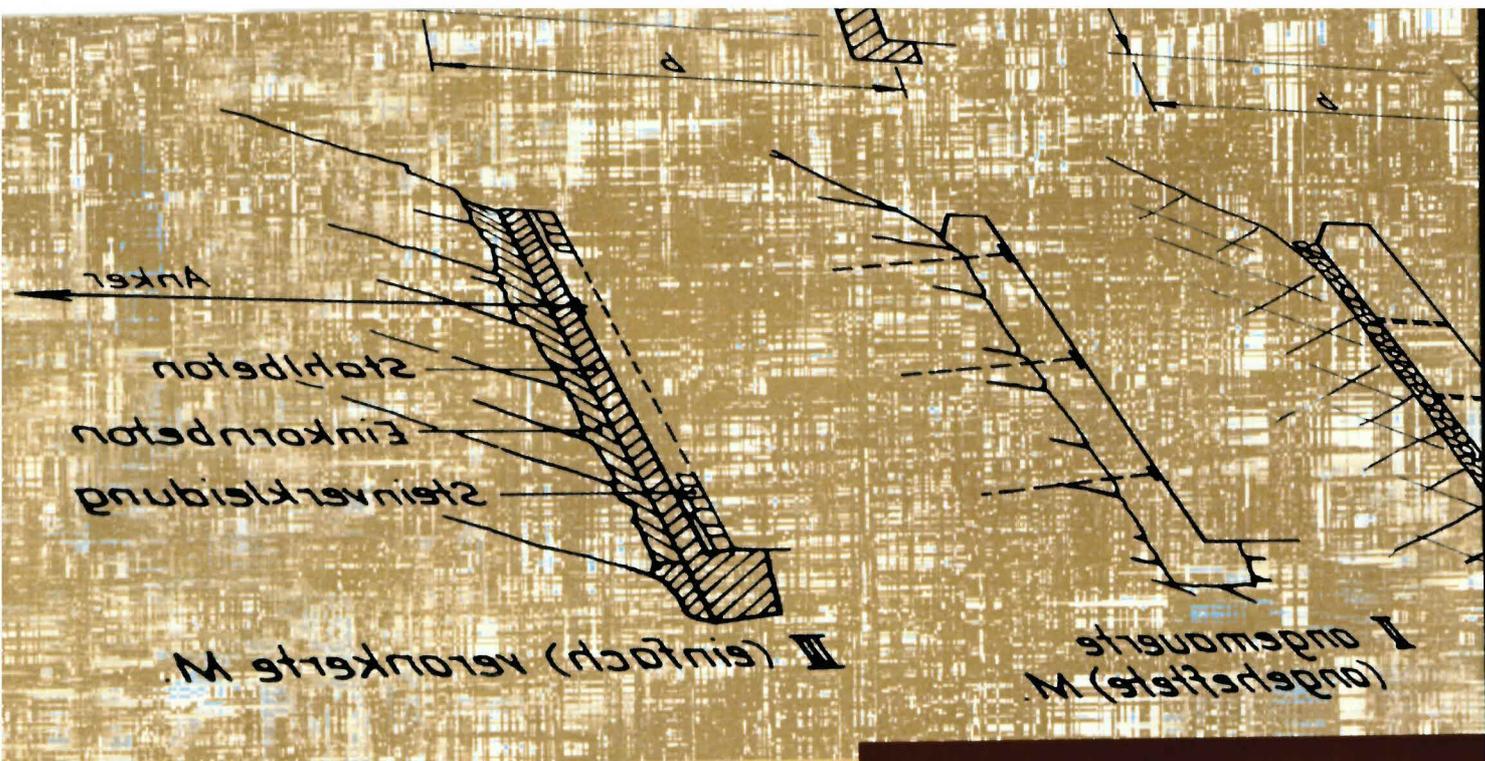
- ALKER, A., HAAS, H., und HOMANN, O.: Hangbewegungen in der Steiermark. Mitteilungen des Museums für Bergbau, Geologie und Technik, H.30. Graz. 1969.
- BOROWICKA, H.:
Über die Sicherheit im Grundbau. Zur Standsicherheitsbestimmung von Böschungen nach der Erddruckregel. Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik. Technische Hochschule Wien. 1959.
– Bodenmechanik – Felsmechanik. Österreichische Ingenieur-Zeitschrift, H.6, 1962.
– Die Festigkeitseigenschaften der Böden. Tagungsberichte der Arbeitsgruppe Untergrund. H.23. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien. 1963.
– Die Standsicherheit einer Böschung in Theorie und Praxis. Der Bauingenieur, Jg.40, H.1, 1965.
– Das Risiko im Bauwesen. Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik. Technische Hochschule Wien, H.7, 1966.
– 10 Jahre Wiener Routinescherversuch. Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik. Technische Hochschule Wien, H.11, 1970.
– Ein statistisch einwandfreies Verfahren zur Ermittlung der Standsicherheit einer Böschung. Der Bauingenieur, Jg.45, H.9, 1970.
- BRANDECKER, H.: Baugeologie der Autobahn Mondsee – Seewalchen. Sonderpublikation der oberösterreichischen Landesregierung. Linz. 1968.
- BRANDL, H.: Die Scherfestigkeit kalk- und zementstabilisierter feinkörniger Böden mit besonderer Berücksichtigung der Frosteinwirkung. Beitrag zur Donaueuropäischen Konferenz. Wien. 1968.
- CHRISTOW, Chr.: Der Begriff Einheitsböschung in der Böschungsstabilitätsanalyse. Beitrag zur Donaueuropäischen Konferenz. Wien. 1968.
- CLAR, E.: Über den geologischen Gegensatz von Gestein und Fels. Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik. Technische Hochschule Wien, H.6, 1965.
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT
FÜR DAS STRASSENWESEN: Merkblatt für bodenphysikalische Prüfverfahren im Straßenbau. H.26. Wien. 1963.

- FRÖHLICH, O.K.:* Sicherheit gegen Rutschungen einer Erdmasse auf kreiszylindrischer Gleitfläche. Federhofer-Girkmann-Festschrift. Wien. 1950.
- Grundzüge einer Statik der Erdböschungen. Der Bauingenieur, Jg.38, H.10, 1963.
- JELINEK, R.:* Umdruck der Vorlesungen über die Einführung in die Bodenmechanik. Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Hochschule München. 1966.
- KAHLER, F.:* Fels und Geomechanik, Geologie und Bauwesen, Jg.25, H.2/3, 1960.
- KEIL, K.:* Geotechnik. Knapp. Halle. 1959.
- KÉZDI, A.:* Bodenmechanik. Verlag für Bauwesen. Berlin. 1964.
- KÉZDI, A., und MARKO, J.:* Erdbauten. Werner Verlag. Düsseldorf. 1969.
- KIESLINGER, A.:* Restspannung und Entspannung im Gestein. Geologie und Bauwesen, Jg.24, H.2, 1958.
- LUDWIG, W.:* Bemessung von Wand- und Stützmauern im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Arbeitsgruppe Untergrund. H.20. Wien. 1962.
- Geotechnische Probleme bei der Gründung von Brückenpfeilern in steilen Böschungen. Österreichische Ingenieur-Zeitschrift, Jg.13, H.11, 1970.
- MARTIN, H., und RIBITSCH, H.:* Die Ausführung einer Stützmauer als dünne Stahlbetonplatte mit vorgespannten Verbundankern. Montan-Rundschau, H.7. Wien. 1962.
- MÜLLER, L.:* Der Felsbau I. F.Enke-Verlag. Stuttgart. 1963.
- PACHER, F.:* Über die Berechnung von Felssicherungen, verankerte Stützmauern und Futtermauern. Geologie und Bauwesen, Jg.23, H.1. Wien. 1957.
- PFAFFENWIMMER, F.:* Sondierbohrungen – wozu? Tagungsberichte der Arbeitsgruppe Untergrund. H.23. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien. 1963.
- SCHIECHTL, H.M.:* Wildbach- und Lawinenverbauung in den Alpen. Handbuch für Landschaftspflege und Naturschutz. BLV. Bd.4. 1969.
- SCHUBERT, K.:* Setzungsfliessen von Böschungen. Beitrag zur Donau-europäischen Konferenz. Wien. 1968.
- SELTENHAMMER, U.:* Ankermauer an der Brenner-Autobahn. Österreichische Ingenieur-Zeitschrift, Jg.11, H.6, 1968.
- STEINBRENNER, W.:* Rutschungen in gewachsenem Löß. Beitrag zur Donau-europäischen Konferenz. Wien. 1968.

- Standfestigkeit von Steilböschungen. Diskussionsbeitrag zur Donaueuropäischen Konferenz. Wien. 1970.
- STINI, J.:* Faltungen und Überschiebungen durch Gleitung. Centralblatt für Min. etc. Wien. 1929.
- Geologie und Bauen im Hochgebirge. Geologie und Bauwesen, Jg.6, H.1, 1934.
- Unsere Täler wachsen zu. Geologie und Bauwesen, Jg.13, H.3, 1941.
- Talzuschub und Bauwesen. Die Bautechnik, Jg.1942.
- Nochmals der Talzuschub. Geologie und Bauwesen, Jg.14, H.1, 1942.
- Neuere Ansichten über Bodenbewegungen und ihre Beherrschung durch den Ingenieur. Geologie und Bauwesen, Jg.19, H.1, 1952.
- TERZAGHI, K., und JELINEK, R.:* Theoretische Bodenmechanik. Springer-Verlag. Berlin. 1954.
- TERZAGHI, K., und PECK, R.:* Die Bodenmechanik in der Baupraxis. Springer-Verlag. Berlin. 1961.
- VEDER, Chr.:* Bodenstabilisierung durch Ausschaltung von Grenzflächenerscheinungen. Felsmechanik und Ingenieurgeologie, Suppl.IV, Wien. 1968.
- ZÁRUBA, Q., und MENCL, V.:* Ingenieurgeologie. Akademie-Verlag. Berlin. 1961.

Wir danken für die Unterstützung:





Land Salzburg

Für unser Land!