

# MITTEILUNGEN

## IAG BOKU

Institut für Angewandte Geologie

Universität für Bodenkultur Wien

---

Reihe: Angewandte Geowissenschaften



Vorträge 2001 / 02

Herausgeber:

B. SCHWAIGHOFER

J.F. SCHNEIDER

---

Wien, Dezember 2003

# MITTEILUNGEN

IAG BOKU

Institut für Angewandte Geologie

Universität für Bodenkultur Wien

---

Reihe: Angewandte Geowissenschaften

Heft 13

## BAUGEOLOGISCHES SEMINAR

Vorträge 2001 / 02

Herausgeber:

B. SCHWAIGHOFER

J.F. SCHNEIDER

---

Wien, Dezember 2003

Diese Ausgabe beinhaltet die Vorträge des  
Baugeologischen Seminars des Studienjahres 2001 / 02

**Herausgeber:**

Bernd SCHWAIGHOFER, Univ.Prof.Dr.  
Jean F. SCHNEIDER, o.Univ.Prof.DI.Dr.

**Redaktion:**

Friederike HINTERMÜLLER  
Helene PFALZ-SCHWINGENSCHLÖGL

**IAG BOKU**

Institut für Angewandte Geologie  
Universität für Bodenkultur Wien  
A-1190 Wien, Peter Jordan-Str. 70

Tel. ++43-1-47654/5400, Fax /5449

geolsek @ mail.boku.ac.at  
<http://www.boku.ac.at/iag>

Herstellung: Riegelnik Ges.m.b.H., Wien

---

ISSN 10 21-7533



## GUNTER RIEDMÜLLER

### 1940 - 2003

Mein Freund Gunter ist tot.

Er verstarb am 9. Nov. 2003 und erst wenige Monate zuvor war er zum letzten Mal auf Besuch bei seinen Wiener Freunden – bereits deutlich gezeichnet von seiner heimtückischen Krankheit, wobei er seine Beschwerden noch mit bewundernswerter Selbstdisziplin gemeistert hat. Wir haben es damals schon geahnt, für ihn aber war es klar – es war sein letztes Abschiednehmen von seinen engsten Freunden.

Für mich war Gunter ein Gefährte über mehr als 40 Jahre unseres Lebens. 1958 haben wir uns als erstsemestrige Geologiestudenten kennen gelernt und bereits die ersten Kartierungsübungen bei unserem Lehrer Eberhard Clar gemeinsam gemacht -- diese Gemeinsamkeit in vielen Bereichen ist ein ganzes Leben lang bis zu seinem tragischen Tod nicht abgerissen. Sie betraf sowohl fachlich-berufliche Beziehungen als auch familiär-freundschaftliche. So sind unsere Kinder z.T. zusammen aufgewachsen und auch unsere sportlichen Ambitionen waren von einem sonst eher seltenen Gleichklang getragen.

Prägend in vielfacher Hinsicht waren aber unsere gemeinsamen Assistentenjahre auf der BOKU, zuerst bei Julius Fink und später bei Ernst Weiss. Vieles, was wir damals auf dem Gebiet der Forschung, der Lehre und auch der Organisation erarbeitet haben, hat bis heute – jetzt im Institut für Angewandte Geologie – seine Spuren hinterlassen. Das hat soweit geführt, dass wir auch oft – ohne dass es Gunter oder mich gestört hätte – selbst von Fachkollegen verwechselt worden sind. Für uns war nur wichtig, dass die Ergebnisse unserer gemeinsamen Bemühungen richtig und zielführend waren und das konnten wir damals auch in einer ganzen Reihe von Veröffentlichungen bzw. Arbeiten auf dem Gebiet der angewandten Geologie dokumentieren.

Immer war es einer der wesentlichsten Charakterzüge Gunters, dass es für ihn fast keine Grautöne gab. Das betraf vor allem seine persönlichen Beziehungen. Wen er schätzte, für den trat er immer ganz und hundertprozentig ein. Wer dagegen seinen Wertvorstellungen nicht entsprach, musste manchmal auch mit aggressiven Konfrontationen rechnen. So war Gunter und so wird er mir mit seinen vielseitigen Talenten, die sich keineswegs nur auf die Geologie bezogen, für immer in Erinnerung bleiben. Trotz des schmerzhaften Verlustes ist es für mich ein kleiner Trost, dass ich doch mit ihm über 40 Jahre einen Freund gehabt habe, auf den ich mich immer verlassen konnte und der auch in schwierigen Situationen stets zu mir gestanden ist.

Er wird natürlich vor allem seiner Familie, aber auch seinen Kollegen und er wird mir sehr fehlen.

Bernd Schwaighofer

## Inhaltsverzeichnis

RIEDMÜLLER, G. ....	1
Geotechnische Erkundungsstrategien bei der Tunnelplanung	
GORICKI, A., SCHUBERT, W., RIEDMÜLLER, G. ....	7
Die Gebirgscharakterisierung entsprechend der "Richtlinie für die Geomechanische Planung" und ihre Anwendung bei den Projekten Semmeringbasistunnel und Koralmtunnel	
MINSCH, J. ....	27
Gedanken zu einer politischen Kultur der Nachhaltigkeit. Ökologisch-ökonomischer Essay	
NEUBAUER, E. ....	41
Maßnahmen im Tunnelbau zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers	
MAYR, M. ....	53
Die Salinen Austria AG und die Geologie ihrer Salzlagerstätten im Salzkammergut	
SINGER, A. ....	99
The Dust Generation of Soils/Sediments in the Southern Aral Sea Basin, Uzbekistan	
FERSTL, M. ....	117
Erfassungs- und Bewertungskriterien für die nachhaltige Tiefengrundwasserbewirtschaftung unter besonderer Berücksichtigung des Gallneukirchner Beckens [Kurzfassung der Dissertation]	
OBERHAUSER, A. ....	121
UDEEC-application to the rock slope of "Sant´Andrea di Cadore" (Veneto Region, Italy) [Kurzfassung der Diplomarbeit]	

# Geotechnische Erkundungsstrategien bei der Tunnelplanung

G. Riedmüller<sup>1</sup>

## 1 Einleitung

Die geotechnische Erkundung eines Tunnelprojektes ist eine in ihrer Wichtigkeit meist unterschätzte Aufgabe. Das grundsätzliche Erkundungsziel liegt in einer möglichst genauen Erfassung von Bauzeit und Baukosten. Besondere Wichtigkeit erhält die Erfassung geotechnischer Unsicherheiten und etwaiger Umweltprobleme, die durch den Bau verursacht werden. Hydrogeologische Fragestellungen haben dabei eine besondere Wichtigkeit. Es gibt zahlreiche Beispiele, aus denen hervorgeht, dass die Ursache von Bauzeit- und Baukostenüberschreitungen ungeeignete Erkundungsstrategien sind.

Für eine optimale Tunnelplanung ist eine hohe Qualität der Erkundung unbedingte Voraussetzung, wobei einem bewusst werden muss, dass der Begriff Erkundungsqualität, und damit die Qualität der Datenerfassung, Datenanalyse sowie Auswertung, relativ zu betrachten ist und von verschiedensten Voraussetzungen abhängt. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um Projektserfordernisse, Planungsphasen und um die Komplexität von Gebirge und geologischem Bau (siehe Literaturverzeichnis: 1, 2, 3, 4, 5).

Es ist zu beachten, dass die Erfassung und Analyse von Daten geotechnisch relevant und statistisch repräsentativ sein muss, so dass diese bei einem etwaigen Rechtsstreit, der üblicherweise um hohe Geldsummen geht, verteidigt werden können.

Die Datenerhebung umfasst zur Hauptsache das Studium relevanter Unterlagen, geologische Geländeerkundungen, Tiefenerkundungen mittels Kernbohrungen und geophysikalischen Messungen. Von Wichtigkeit sind weiters petrographische und geotechnische Ermittlungen von Gesteins- und Gebirgskennwerten. Die Analyse der Daten enthält statistische und probabilistische Auswertungen, als Grundlage für geologische, kinematische, mechanische und hydraulische Modellierungen.

Neben der Erhebung, Analyse und Auswertung von Daten ist eine projektspezifische Erkundungsstrategie unter Berücksichtigung der jeweiligen Erkundungsphase und der Gebirgsart von größter Wichtigkeit. In ähnlicher Weise wie bei einer medizinischen Untersuchung ist dabei eine Vorgangsweise einzuhalten, die in systematischer Weise mit dem Studium vorhandener Unterlagen beginnt und Schritt für Schritt mit den geologischen Geländeerkundungen, Untergrunderkundungen sowie Kennwertermittlungen fortsetzt). Es ist zu beachten, dass die zeit- und kostenaufwändigen Tiefenerkundungen erst nach Erstellung eines ersten geologischen Modells erfolgen sollen. Dieses erste geologische Modell wird üblicher Weise auf Grundlage einer geologischen Detailkartierung des Projektgebietes erstellt.

---

<sup>1</sup> Univ.Prof. Dr. Gunter RIEDMÜLLER †, Institut für Technische Geologie, Technische Universität Graz

In den frühen Planungsphasen liegt naturgemäß der Erkundungsschwerpunkt bei Unterlagenstudien und geologischen Geländeerkundungen, während im Rahmen der UVE-Planung bereits eine umfassende Tiefenerkundung durchgeführt wird. Unabhängig von der Projektphase sollte trotz unterschiedlichem Kenntnisstand die jeweils gleiche Erkundungsprozedur eingehalten werden (6). Sie beginnt mit der Erfassung des geologischen Baus und setzt dann fort in der geotechnisch relevanten Definition von Gebirgsarten und der Ermittlung von Einflussfaktoren, wie Primärspannungen, Grundwasser, Trennflächenorientierung sowie Tunnelgeometrie. Es sind dies jene Eingangparameter, die eine Bestimmung des Gebirgsverhaltens beim Öffnen des Hohlraums ermöglichen sollen und damit die wichtigste Voraussetzung für die geotechnische Planung bilden (7, 8).

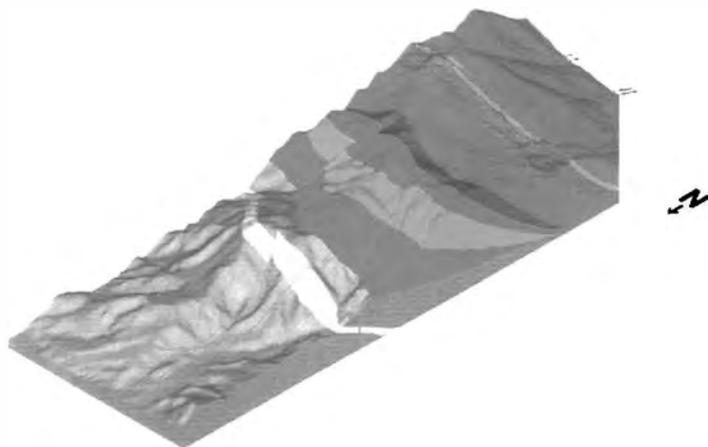
Die Definition der Gebirgsarten sollte mittels gebirgs- und planungsphasenspezifischen Schlüsselparametern erfolgen. So sind z.B. bei einem Phyllit die maßgebenden Parameter die Anisotropie und die Schereigenschaften bzw. Steifigkeit der Schieferungsflächen, während bei einem Granit die einaxiale Druckfestigkeit, Zerlegungs- und Durchtrennungsgrad, Kluftöffnungen sowie die Korngröße eine Rolle spielen (6).

Zur Illustration wird ein Beispiel aus einer frühen Projektphase vorgestellt.

## 2 Autobahnprojekt Hualien – Suao, Taiwan

Das Projekt befindet sich an der taiwanesischen Ostküste zwischen den beiden Hafenstädten Hualien im Süden und Suao im Norden. Die Autobahntrasse hat eine Länge von ca. 90 km. Zur Querung des Gebirges sind zehn Tunnel erforderlich. Das Kernstück bildet der 4.300 m lange Tunnel T-04. Es ist dies ein doppelröhriger, zweispuriger Tunnel. Seine maximale Überlagerung beträgt 600 m.

Die Trassengeologie ist durch eine extreme Komplexität und Neotektonik gekennzeichnet (9, 10, 11). Die Gesteinsabfolge aus Amphibolit, Grünschiefer, Quarzphyllit, Graphitphyllit, Marmor, Meta-Sandstein und Tonschiefer wird durch Verschuppungen und Strike-Slip-Duplexsysteme sowie Schrägabschiebungen verstellt (Abb. 1, 2).



**Abb. 1:**  
**Tunnel T-04, geologisches 3D-Modell des Projektgebietes:**  
 Verschuppung von Amphibolit (dunkelgrün), Chloritphyllit (hellgrün), Quarzit (braun), Marmor (blau), Schwarzphyllit (dunkelviolett), Meta-Sandstein (hellgrau) und Tonschiefer (dunkelgrau).



**Abb. 2:**  
**Tunnel T-04, 3D-**  
**Modell des Stö-**  
**rungsmusters:**  
Schrägabschiebungen  
(„Tear Faults“) ver-  
stellen  
Aufschiebungen

rechts: Variante 1

links: Variante 2

Die Erkundungen erfolgten im Rahmen einer Varianten- und Machbarkeitsstudie; drei unterschiedlich lange Varianten wurden untersucht. Besondere Beachtung fand die Frage der Wasserführung in den verkarsteten Marmoren und in den Störungszonen.

Das Erkundungsprogramm umfasste Luftbildauswertungen, bei denen die Grundzüge des Störungsmusters erkennbar wurden, geologische Kartierungen im Maßstab 1:5000, geoelektrische und refraktionsseismische Untersuchungen, weiters Kernbohrungen in ausgewählten Bereiche sowie einige Routinelabortests an Bohrkernproben.

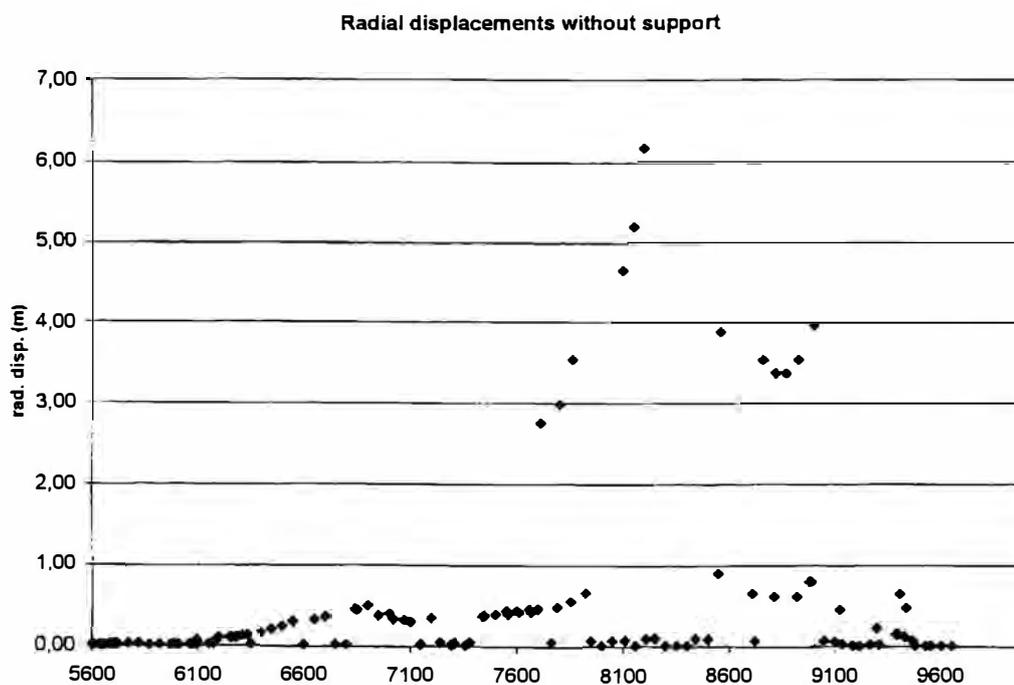
Die geotechnische Interpretation stützte sich vor allem auf die Ergebnisse von Luftbildauswertung und geologischer Geländekartierung. Es wurde prognostiziert, dass entlang steil stehender Schrägabschiebungen eine tief reichende Gebirgsauflockerung vorliegt, die ein hohes Potential von Wassereinbrüchen beim Tunnelvortrieb beinhaltet.

In Folge der geringen Anzahl geotechnischer Daten beschränkte sich die Definition der Gebirgsarten auf die Abschätzung von einaxialen Gesteinsdruckfestigkeiten, GSI-Werten und Hoek Parametern (Abb.3). Zur Ermittlung des Gebirgsverhaltens wurden die Radialverschiebungen des Hohlraumrandes analytisch berechnet (Abb.4). Diese Berechnungen beruhen auf dem elastisch-plastischen Verhalten des Gebirges um einen kreisförmigen Tunnel bei isotropen Spannungsverhältnissen. Als Bruchkriterium wurde jenes von Hoek-Brown verwendet. Dabei beschreibt die Hoek-Konstante  $m_i$  die Spannungsabhängigkeit der Bruchbedingung. Der Parameter GSI wurde auf Basis der Trennflächeneigenschaften abgeschätzt und dient als Abminderungsfaktor für die Gebirgskennwerte (12, 13, 14). Diese analytischen Abschätzungen bildeten die Grundlage für die Ermittlung der Gebirgsverhaltenstypen (Abb.5) in den jeweiligen Berechnungsabschnitten.

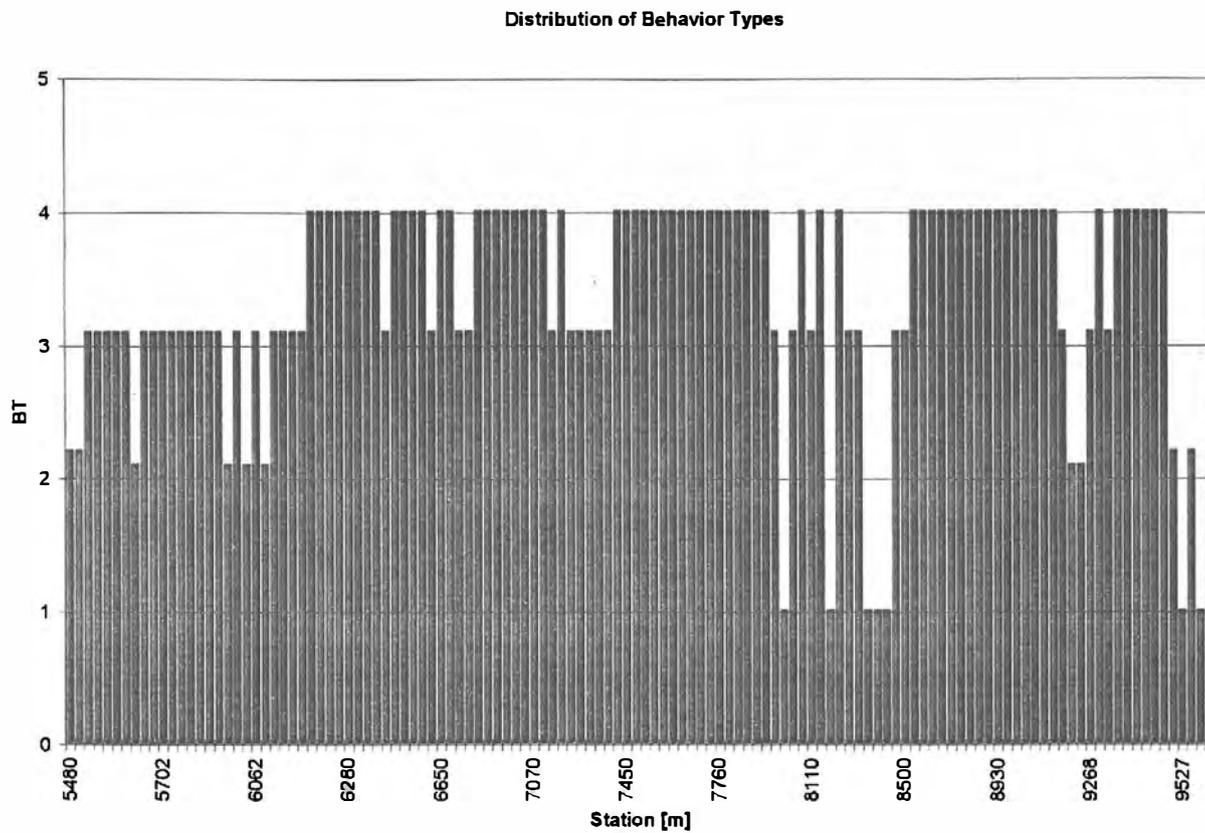
Die Bestimmung ihrer Verteilung entlang der Tunneltrassen ermöglichte erste Planungen von Ausbaumaßnahmen und somit Kostenschätzungen für den Vergleich der Trassenvarianten.

Parameters of Various Rock Types					
Rock Type	UCS	mi	GSI	$\nu$	GSIg
G10	70	9	80	0,10	65
G11	70	9	30	0,1	-
G12	100	26	80	0,2	-
G13	100	26	30	0,2	-
G14	150	28	80	0,1	-
G15	150	28	50	0,1	-
G16	20	7	50	0,3	-
G17	20	7	20	0,3	-
G18	70	20	60	0,1	-
G19	70	20	30	0,1	-
G20	50	19	50	0,2	-
G21	50	19	30	0,2	-
G22	20	7	60	0,25	-
G23	20	7	30	0,25	-
G24	50	6	20	0,35	-

**Abb.3: Definition von Gebirgsarten:** Parameter sind Gesteinsarten, einachsiale Druckfestigkeit (UCS), Hoek Parameter (mi, GSI), Querdehnung ( $\nu$ ) und Einfluß stärkerer Gebirgszerlegung (GSIg)



**Abb.4: Tunnel T-04 / Variante 2:** Radialverschiebungen, berechnet entlang der Tunneltrasse



**Abb.5: Tunnel T-04 / Variante 2:** Verteilung von Gebirgsverhaltenstypen (1 – 5) entlang der Tunneltrasse

## Schlussfolgerung

In jeder Planungsphase erfordert die geotechnische Erkundung einer Tunneltrasse eine Strategie, die von der Erfassung des geologischen Bauplans über die Definition von Gebirgsarten bis zur Abschätzung des Gebirgsverhaltens führt. Es ist wichtig, dass dieser Prozess nachvollziehbar ist. Voraussetzung dazu ist eine hohe Qualität bei der gebirgs- und projektspezifischen Ermittlung, Analyse und Auswertung von Daten, wobei die Erkundungstiefe im Verlauf der Planung zunimmt und dem entsprechend Unsicherheiten sowie Bandbreiten bei der Kostenermittlung abnehmen sollten.

## Literaturverzeichnis

---

- 1 Anon. 1981. Report of the International Association of Engineering Geology Commission on Site Investigations. *Bull.Int.Assoc.Engng.Geology* 24: 185-226.
- 2 Anon. 1987. Guide to site investigation, Geoguide 2: 365 pp. Geotechnical Control Office, Civil Engineering services Department. Hong Kong
- 3 Clayton, C.R.I., N.E. Simons & M.C. Matthews 1982. *Site investigation - a handbook for engineers*: 423 pp. Granada Publishing.
- 4 Dumbleton, M. J. & G. West 1976. A guide to site investigation procedure for tunnels. *Transport and Road Research Laboratory Report LR 740*: 24 pp.
- 5 Head, J. M. 1986. Planning and design of site investigations:1-5. In Hawkins, A. B.: *Site investigation practice: assessing BS 5930*: 423 pp. Geological Society of London.
- 6 Riedmüller, G. & Schubert, W. 2001. Project and rock mass specific investigation for tunnels. ISRM Reg. Symp. Eurock 2001, Espoo, Finland: 369 – 375.
- 7 Riedmüller, G., Schubert, W., Goricki, A. & Pölsler, P. 2000. Investigation strategies for the design of the Semmering base tunnel. *Felsbau* 18(4): 28-36.
- 8 Schubert, W., Goricki, A., Button, E.A., Riedmüller, G., Pölsler, P., Steindorfer, A. & Vanek, R. 2001. Excavation and Support Determination for the Design and Construction of Tunnels. ISRM Reg. Symp. Eurock 2001, Espoo, Finland. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), *Rock Mechanics a Challenge for Society*: 383 -388. Rotterdam. Balkema.
- 9 Ho, C.S.H. 1988. An introduction to the geology of Taiwan - explanatory text of the geologic map of Taiwan. *Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs, Taiwan, R.O.C.* 2<sup>nd</sup> edition: 126 pp.
- 10 Lallemand, S.E. & H.-H. Tsien. 1997. An introduction to active collision in Taiwan. *Tectonophysics* 274: 1-4.
- 11 Angelier, J., H.-T. Chu, J.-C. Lee & J.-C. Hu 2000. Active faulting and earthquake hazard: The case study of the Chihshang fault, Taiwan. *Journal of Geodynamics* 29: 151-185.
- 12 Hoek, E. 1999. Putting numbers to geology – an engineer's viewpoint. *Felsbau* 17(3): 139-151.
- 13 Hoek, E. & E.T. Brown 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Int.J.RockMech.Min.Sci.* 38 (8): 1165-1186.
- 14 Hoek, E. 1998. Reliability of Hoek-Brown estimates of rock mass properties and their impact on design. *Int.J.RockMech.Min.Sci.* 35 (1): 63-68.

## **Die Gebirgscharakterisierung entsprechend der „Richtlinie für die Geomechanische Planung“ und ihre Anwendung bei den Projekten Semmeringbasistunnel und Koralmtunnel**

Goricki A.<sup>1</sup>, Schubert W.<sup>1</sup>, Riedmüller G.<sup>2</sup>

### **ZUSAMMENFASSUNG**

In dieser Arbeit wird die Anwendung der von der ÖGG herausgegebenen „Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb“ im Bereich der Gebirgscharakterisierung behandelt. Auf Basis der in dieser Richtlinie verwendeten Begriffe wird die Systematik der Gebirgsbeschreibung erläutert. Der detaillierte Ablauf wird anhand der unterschiedlichen Vorgehensweise in der Planung und der Bauausführung kurz dargestellt. Die Umsetzung der Verfahrensabläufe entsprechend der Richtlinie wird anhand der Fallbeispiele Koralmtunnel und Semmering-Basistunnel gezeigt. Da sich die beiden Tunnelbauwerke in unterschiedlichen Planungsphasen befinden, kann der Einfluss von Projektstadium und Erkundungstiefe auf die Gebirgscharakterisierung verdeutlicht werden.

### **1 EINLEITUNG**

Im Zuge der Überarbeitung der Werkvertragsnorm ÖNORM B2203 [1] wurde der Teil der Gebirgscharakterisierung in die „Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb“ [2] ausgegliedert. Die Richtlinie wurde von der ÖGG - Arbeitsgruppe Gebirgscharakterisierung unter der Leitung von Wulf Schubert erstellt und von der ÖGG im Oktober 2001 publiziert. In der neuen ÖNORM B2203-1 „Untertagebauarbeiten Teil 1: Zyklischer Vortrieb“ [3] wird in den entsprechenden Kapiteln des Abschnittes „Verfahrensbestimmungen“ auf diese Richtlinie verwiesen, wodurch sie Bestandteil der ÖNORM wird.

Die Richtlinie beschreibt den Ablauf der geomechanischen Planung als Summe aller bauvorbereitenden und baubegleitenden Maßnahmen und umfasst die Phasen der Entwurfs-, Ausschreibungs- und Ausführungsplanung. Die beschriebene Prozedur der geomechanischen Tunnelplanung gliedert sich in folgende Hauptelemente:

- Beschreibung des Gebirges
- Ermittlung und Beschreibung des Gebirgsverhaltens
- Ermittlung von Ausbruch und Stützung
- Umsetzung und Fortschreibung der Planung in den einzelnen Planungs- und Bauphasen.

In diesem Beitrag wird jener Teil der Richtlinie, der sich mit Gebirgscharakterisierung beschäftigt, dargestellt und die Anwendung der beschriebenen Methode anhand der Projekte Semmering-Basistunnel und Koralmtunnel gezeigt.

---

<sup>1</sup> DI. Andreas GORICKI, Univ.Prof.DI.Dr. Wulf SCHUBERT, Technische Universität Graz, Institut für Felsmechanik und Tunnelbau, A-8010 Graz, Rechbauerstr. 12, goricki@tugraz.at, schubert@tugraz.at

<sup>2</sup> Univ.Prof.Dr. Gunter RIEDMÜLLER †, Technische Universität Graz, Institut für Technische Geologie

## **2 GEBIRGSCHARAKTERISIERUNG ENTSPRECHEND DER „RICHTLINIE FÜR DIE GEOMECHANISCHE PLANUNG“**

Von grundlegender Bedeutung für die geomechanische Planung eines Tunnelbauwerkes ist die Kenntnis der Gebirgseigenschaften und der Wechselbeziehung zwischen Gebirge und Bauwerk. Da es nicht möglich erscheint, alle Eigenschaften des Gebirges vollständig im Voraus zu beschreiben und die komplexen Zusammenhänge der gegenseitigen Beeinflussung von Gebirge, Ausbruch und Stützung allgemein gültig festzulegen, wurde in der Richtlinie ein Ablauf zur Gebirgscharakterisierung entwickelt, der auf die Beschreibung der Gebirgseigenschaften und das damit in Zusammenhang stehende Gebirgsverhalten abzielt. Durch die vorgegebene, klar strukturierte und systematische Vorgehensweise ergibt sich neben der Nachvollziehbarkeit von Folgerungen und Entscheidungen auch die Möglichkeit, projekt- und gebirgsspezifische Besonderheiten in die Charakterisierung einfließen zu lassen.

Die Vorgaben bezüglich anzuwendender Methoden zur Parametererhebung und Gebirgsbeschreibung sowie zur Ermittlung abgeleiteter Parameter und des Gebirgsverhaltens wurden bewusst allgemein gehalten. Dadurch wird im Gegensatz zu bestehenden Klassifikationsverfahren ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit ermöglicht und eine breite Anwendbarkeit bei unterschiedlichsten Gebirgsverhältnissen und Randbedingungen gewährleistet. Dies bedeutet aber auch, dass ein existierendes Klassifikationssystem bei geeigneten Gebirgsverhältnissen und entsprechenden Voraussetzungen zur Anwendung kommen kann.

Die Vorgehensweise zur Gebirgscharakterisierung entsprechend der ÖGG - Richtlinie orientiert sich sehr stark an den jeweiligen Projektphasen, wobei grundlegend zwischen Planung und Bauausführung unterschieden wird.

In der Planungsphase liegt die Aufgabe der Gebirgscharakterisierung in der Prognose der zu erwartenden Gebirgseigenschaften und des Gebirgsverhaltens. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Bearbeitungstiefe können hier, besonders in frühen Planungsphasen, bestehende Gebirgsklassifikationsverfahren sehr gut in den Ablauf der geomechanischen Planung integriert werden.

Während der Bauausführung liegt der Schwerpunkt der Gebirgscharakterisierung auf der Erfassung der relevanten Gebirgseigenschaften sowie der Zuordnung des beobachteten Systemverhaltens zum jeweiligen Gebirgsverhaltenstyp. Aus dem Vergleich der Beobachtungen mit der Prognose und dem daraus resultierenden Informationsgewinn kann die Prognose für noch aufzufahrende Bereiche verfeinert werden, was zu einer kontinuierlichen Fortschreibung der Gebirgscharakterisierung und in weiterer Folge der geomechanischen Planung führt.

Mit Ausnahme einer klaren Trennung zwischen Gebirgs- und Systemverhalten unterscheiden sich die verwendeten Begriffe in der Richtlinie im Allgemeinen nicht von jenen der bisher gebräuchlichen alten ÖNORM B2203 Ausgabe 1994 [1]. Das Gebirgsverhalten und die daraus resultierenden Gebirgsverhaltenstypen beschreiben das Verhalten bzw. das Versagen des hohlraumumgebenden Gebirges nach dem Ausbruch ohne Berücksichtigung von Ausbruchsmethode, Abschlagslänge, Querschnittunterteilung oder Stützmaßnahmen. Erst das Systemverhalten bezieht sich auf das Verhalten des Systems „Gebirge und Baumaßnahme“. Durch diese klare Trennung von Ursache, Maßnahme und Wirkung ergibt sich zwangsläufig ein hierarchischer Ablauf der geomechanischen Planung.

## 2.1 Gebirgsart

Eine Gebirgsart ist nach Definition der Richtlinie ein „Gebirge mit gleichartigen Eigenschaften“. Zur quantitativen Beschreibung der Gebirgsart müssen neben der Eingrenzung des geotechnisch relevanten Gebirgsvolumens auch die tunnelbautechnisch relevanten Gebirgseigenschaften - die Schlüsselparameter - festgelegt werden. Diese können je nach Gesteinsart und Gebirgsbereich grundlegend unterschiedlich sein und beschreiben vorrangig jene Eigenschaften, die sich auf die Verhaltenscharakteristika des Gebirges bezüglich der sicheren und wirtschaftlichen Herstellung des Tunnelbauwerks beziehen. Es sind dies Parameter zur Beschreibung des Gebirges und des charakteristischen Verhaltens beim Ausbruch, Parameter der Standfestigkeit oder Parameter zur Charakterisierung zeitabhängiger Effekte. Dazu gehören Parameter bezüglich mineralogischer Zusammensetzung, Korngefüge, Trennflächeneigenschaften sowie mechanischer und hydraulischer Gesteins- und Gebirgseigenschaften. Die Tabelle 1 und der Anhang A (Gesteins- und Gebirgsparameter) der Richtlinie dienen als Hilfestellung bei der Auswahl und Festlegung von gebirgs- und projektspezifischen Schlüsselparametern.

Nach der Ermittlung tunnelbautechnisch relevanter Gesteinsarten werden Schlüsselparameter zugeordnet und daraus Gebirgsarten definiert. Die Kombination der verschiedenen Parameter bzw. der in Klassen eingeteilten Parameterwerte erfolgt in Abhängigkeit von den Gesteinsarten im Projektgebiet, von der Projektphase und der damit verbundenen Bearbeitungstiefe und Datenmenge sowie von der jeweiligen Fragestellung (Machbarkeit, Kosten, Stützmittelaufwand). Daraus ergeben sich Unterschiede in der Anzahl der Gebirgsarten bei verschiedenen Projekten oder Projektphasen, wobei darauf zu achten ist, dass die unterschiedlichen Gebirgsarten auch unterschiedliche Charakteristika im Verhalten des Gebirges beim Tunnelvortrieb repräsentieren. Es kann durchaus vorkommen, dass bei entsprechenden Voraussetzungen aus einer Vielzahl von Kombinationen von Gesteinsarten und Schlüsselparametern nur einige wenige Gebirgsarten resultieren. Das bedeutet, dass Abhängigkeiten und Korrelationen berücksichtigt werden müssen. Dies gilt ganz besonders bei der Verwendung von Laborwerten. Statistische Methoden zur Erfassung und Beschreibung von Daten können bei der Festlegung von Parameterwertgrenzen oder der Gruppierung von Gebirgsarten ein sehr hilfreiches Werkzeug darstellen. In der Richtlinie wird die Verwendung von statistischen Methoden vorgeschlagen, ohne konkrete Vorgaben zu definieren.

## 2.2 Gebirgsverhaltenstyp

Ein Gebirgsverhaltenstyp bezeichnet nach Definition der Richtlinie ein „Gebirge mit gleichartigem Verhalten in bezug auf Ausbruch, auf zeitliche und räumliche Verformungen und auf Versagensformen, ohne Berücksichtigung von Stütz- und Zusatzmaßnahmen“. Daraus ergibt sich der Bezug auf einen Tunnel mit unendlich langer Erstreckung im Vollprofil ohne den Einfluss von Baumaßnahmen wie Querschnittsunterteilungen, Abschlagslängen oder Stützmaßnahmen. Durch diese Festlegung erhält man gegenüber der bisherigen Definition des Gebirgstyps in der alten ÖNORM B2203 eine klare Trennung in das Verhalten des ungestützten Gebirges an sich und in die Beeinflussung des Verhaltens aufgrund von Maßnahmen jeglicher Art. Damit stellt der Gebirgsverhaltenstyp die Grundlage für die Planung des Vortriebsablaufes und der erforderlichen Stützmaßnahmen dar.

Zur Ermittlung der Gebirgsverhaltenstypen wird das Gebirge, in Form der ermittelten und beschriebenen Gebirgsarten, mit den jeweils vorherrschenden bzw. erwarteten Einflussfaktoren kombiniert und das Verhalten ermittelt. Die Einflussfaktoren sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1 Einflussfaktoren auf das Gebirgsverhalten

Einflussfaktoren		
Spannungsverhältnisse	Größe und Orientierung des Primärspannungszustandes (im unverritzten Gebirge)	
Form, Größe und Lage des Hohlraumes	Querschnittsform und Durchmesser des endgültigen Ausbauzustandes (die einzelnen Zwischenbauzustände werden nicht berücksichtigt)	
Trennflächenorientierung	Relative Orientierung des maßgebenden Trennflächengefüges zum Bauwerk	
Bergwasserverhältnisse	Menge, Strömungsdruck, hydrostatischer Druck	

Untersucht wird das Gebirge nun hinsichtlich der Versagenszustände und des Verformungsverhaltens. Dazu werden neben kinematischen Beurteilungen zur Feststellung von gefügebedingten Versagensmechanismen auch die vorherrschenden räumlichen Spannungsverhältnisse in Hohlraumumgebung bezüglich der Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Gebirges untersucht. Die Ermittlung von Bruchmechanismen ist von besonderer Bedeutung, da die Einteilung der Gebirgsverhaltenstypen auf den Bruch- bzw. Versagensmechanismen basiert. Dazu wird zumindest eine qualitative Beschreibung notwendig. Um Kinematik, Beanspruchung und mögliche Bruchmechanismen zu untersuchen, werden je nach Projektphase und Kenntnisstand verschiedene Methoden angewandt: Lagenkugel, Key Block Theorie, empirische, analytische und numerische Methoden ebenso wie Modellversuche und Erkenntnisse aus vergleichbaren Projekten. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Ermittlung des Einflusses von unterschiedlichen Hohlraumquerschnitten auf das Gebirgsverhalten mit dem numerischen Programm UDEC [4]. Dargestellt sind die Verschiebungsvektoren. Durch die Änderung des Querschnittes (links: Vollausbuch; rechts: Ausbruch des Kalottenquerschnittes), bei sonst gleichen Bedingungen, zeigen sich deutliche Unterschiede im Verhalten des Gebirges bezüglich Verformungsverhalten und Menge der Ausbrüche im Ulmbereich.

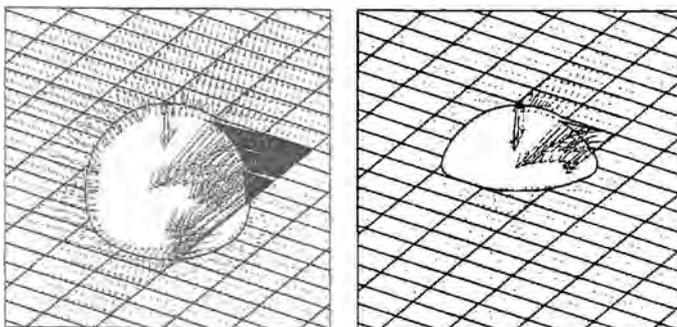


Abbildung 1 Ermittlung des Einflusses von Hohlraumform und Hohlraumgröße auf das Gebirgsverhalten mit UDEC [4]

Auf Grundlage des ermittelten Gebirgsverhaltens wird in weiterer Folge eine quantitative Unterteilung in Gebirgsverhaltenstypen vorgenommen. So kann beispielsweise das Ausmaß einer Radialverschiebung als Grenzwert für die Definition von Gebirgsverhaltenstypen herangezogen werden. Diese projektspezifische Unterteilung in Typen ist vorrangig von der auftretenden Bandbreite des Gebirgsverhaltens und der jeweiligen Projektphase bzw. der Bearbeitungstiefe abhängig. So wird in einer frühen Projektphase bei geringem Kenntnisstand eine grobe Unterteilung des Gebirgsverhaltens ausreichend sein, wobei mit Fortschritt des Projektes und bei zunehmender Bearbeitungstiefe eine Verfeinerung der Einteilung der Gebirgsverhaltenstypen anzustreben ist.

In jedem Projekt wird das Gebirgsverhalten objektiv und nachvollziehbar ermittelt. Um eine Vereinheitlichung der Abgrenzung und Benennung zu erreichen, wurden elf übergeordnete Kategorien von grundlegenden Gebirgsverhaltenstypen eingeführt. Die Einteilung der in Tabelle 2 beschriebenen übergeordneten Kategorien bezieht sich laut Richtlinie vorrangig auf unterschiedliche Versagensmechanismen. Die in einem Projektgebiet ermittelten Gebirgsverhaltenstypen werden diesen übergeordneten Kategorien zugeordnet. Ergeben sich mehrere Gebirgsverhaltenstypen in einer Kategorie, erfolgt eine Gliederung in Untergruppen.

**Tabelle 2 Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen lt. Richtlinie [2]**

GEBIRGSVERHALTENSTYPEN		Beschreibung des Gebirgsverhaltens (ohne Stützmaßnahmen)
1	Standfestes Gebirge	Standfestes Gebirge mit Potenzial zum schwerkraftbedingten Herausfallen oder Herausgleiten von kleinvolumigen Kluttkörpern
2	Gefügebedingte Nachbrüche	Tieferreichende gefüge- und schwerkraftbedingte Nachbrüche, vereinzelt lokales Überschreiten der Scherfestigkeit an Trennflächen
3	Hohlraumnahe Überbeanspruchung	Spannungsbedingte Entfestigung bzw. Plastifizierung des Gebirges in Hohlraumumgebung in Kombination mit gefügebedingten Nachbrüchen
4	Tiefreichende Überbeanspruchung	Spannungsbedingte tiefreichende Entfestigung bzw. Plastifizierung im Gebirge mit großen Deformationen
5	Bergschlag	Plötzliche Ablösungen zufolge hoher Spannungen in Kombination mit sprödem Gebirge
6	Schichtknicken	Knicken von schlanken Platten, häufig in Kombination mit Scherversagen
7	Scherversagen bei geringem Spannungsniveau	Potenzial zu großvolumigen Nachbrüchen und progressivem Scherversagen infolge geringer Verspannung
8	Rolliges Gebirge	Ausfließen von meist kohäsionslosem, trockenem bis feuchtem Gebirge
9	Fließendes Gebirge	Ausfließen von Gebirge mit hohem Wassergehalt
10	Quellendes Gebirge	Zeitabhängige Volumszunahme des Gebirges durch physikalisch-chemische Reaktion von Gebirge und Wasser in Kombination mit Entspannung
11	Gebirge mit rasch wechselnden Verformungseigenschaften	Starke Variation von Spannungen und Deformationen bedingt durch Block-Matrix Struktur (z. B. heterogene Störungzonen, tektonische Melange)

Auf Basis der kategorisierten Gebirgsverhaltenstypen bzw. der zur Ermittlung des Verhaltens des unendlich langen, unausgebauten Hohlraums angestellten Überlegungen und Berechnungen können in weiterer Folge die für die Herstellung eines wirtschaftlichen und sicheren Bauwerks sinnvollen bautechnischen Maßnahmen abgeleitet werden.

### 2.3 Systemverhalten

Das Systemverhalten ist nicht direkt Inhalt der Gebirgscharakterisierung. Um jedoch die einzelnen Begriffe und Arbeitsschritte in ihrer Gesamtheit abzugrenzen, wird der Begriff des Systemverhaltens hier kurz erläutert.

Das Systemverhalten beschreibt nach Definition der Richtlinie „das Verhalten des Gesamtsystems resultierend aus Gebirge und gewählten Baumaßnahmen“. Zur Ermittlung des Systemverhaltens werden die auf den projektspezifischen Gebirgsverhaltenstypen basierenden notwendigen Baumaßnahmen (Ausbruch, Stützung, Bauablauf, Gebirgsverbesserung, Wasserhaltung, usw.) festgelegt und die Auswirkungen auf das Verhalten des Gesamtsystems Gebirge - Bauablauf - Ausbau untersucht. Die eigentliche Ermittlung des Verhaltens erfolgt, wie bereits im Kapitel „Gebirgsverhaltenstypen“ beschrieben, mit analytischen und numerischen Methoden, sowie mit vergleichenden Untersuchungen auf Grundlage der Erfahrung von ähnlichen Bauwerken. Das Systemverhalten beschreibt neben der Standsicherheit in allen Bauzuständen und Verschiebungen des Hohlraumrandes (Gebrauchstauglichkeit, Verträglichkeit, usw.) auch Auswirkungen auf die Umwelt (Oberflächensetzungen, Erschütterungen, Quellschüttungen, usw.).

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Begriffe für die Gebirgscharakterisierung aus der Richtlinie zusammengestellt. Neben der Zuordnung der zugrunde liegenden Daten werden die einzelnen Begriffe kurz beschrieben.

**Tabelle 3 Zusammenstellung der wichtigsten Begriffe der Gebirgscharakterisierung der Richtlinie für die geomechanische Planung [2]**

Bezeichnung	Datengrundlage	Beschreibung
Gebirgsart	Schlüsselparameter	gleichartige Eigenschaften des Gebirges
Gebirgsverhaltenstyp	Gebirgsart, Einflussfaktoren	gleichartiges Verhalten des Gebirges
Systemverhalten	Gebirgsverhaltenstyp, bautechnische Maßnahmen (Ausbruch, Stützung, Bauablauf)	Verhalten des durch Maßnahmen beeinflussten Systems

### 2.4 Ablauf der Gebirgscharakterisierung bei Planung und Bauausführung

Die geomechanische Planung ist begleitender Bestandteil der Entwicklung jedes Tunnelbauprojektes. Dies bezieht sich sowohl auf die Phasen der Planung und Bauvorbereitung wie auch auf die eigentliche Bauausführung. Durch den hierarchischen Charakter der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Begriffe ergibt sich ein strukturierter Ablauf bei der Gebirgsbeschreibung. Diese ist integrativer Bestandteil der Prozessabläufe in der geomechanische Planung. Eine ausführliche Beschreibung erfolgt in der Richtlinie anhand von Flussdiagrammen.

Im Folgenden werden die Unterschiede der Abläufe bei der Gebirgscharakterisierung in der Planungsphase sowie während der Bauausführung dargelegt. In Tabelle 4 ist der Vorgang der Festlegung von Ausbruch und Stützung für die verschiedenen Projektphasen tabellarisch zusammengestellt.

**Tabelle 4 Zusammenstellung des Ablaufes der Festlegung von Ausbruch und Stützung in Planung und Bauausführung**

Schritt	genereller Ablauf	Ablauf Planung	Ablauf Bauausführung
1	Gesteinsart Schlüsselparameter	Definition und Erhebung	Identifikation und Aufnahme von gebirgsartenspezifischen Parametern
	Gebirgsart	Bestimmung der Gebirgsarten	Aktualisierung und Verfeinerung der prognostizierten Gebirgsart
2	Einflussfaktoren	Erhebung der relevanten Faktoren	Rückschließen auf die Parameter aufgrund des beobachteten Systemverhaltens im Vortrieb
	Gebirgsverhaltenstyp	Ermittlung des Gebirgsverhaltens und Bestimmung der Gebirgsverhaltenstypen	Aktualisieren der Prognosemodelle, Bestimmung des aktuellen Gebirgsverhaltenstyps aufgrund des beobachteten Systemverhaltens und Kurzzeitprognose
3	Ausbruch und Stützung	Rahmenfestlegung von Ausbruch und Stützung	Festlegung von Ausbruch und Stützung
	Systemverhalten	Ermittlung des Systemverhaltens	Überprüfung des Systemverhaltens

Der erste Schritt der Gebirgscharakterisierung ist die Beschreibung der Gebirgseigenschaften und die Bestimmung der Gebirgsarten. Dazu werden die Gesteinsarten bestimmt und die geomechanisch relevanten Parameter – die Schlüsselparameter – definiert und deren Wertebereiche erhoben. Der Bearbeitungsumfang und der Detaillierungsgrad der erforderlichen Untersuchungen orientieren sich stark an der jeweiligen Planungsphase. Je detaillierter die Schlüsselparameter erhoben sind, umso gezielter erfolgt eine Unterteilung in Gebirgsarten erfolgen. Während der Bauausführung richtet sich das Hauptaugenmerk auf die Fortschreibung der Planung und damit auf die Überprüfung, Verfeinerung oder Ergänzung der Prognosedaten bzw. der eigentlichen Prognose. Dazu werden die vor Ort feststellbaren Schlüsselparameter im Rahmen der baubegleitenden geologischen Dokumentation erhoben. Durch die Festlegung entsprechender Kriterien wird dann das Gebirge in Gebirgsarten eingeteilt. Dabei ist zu beachten, dass die geologisch-geotechnischen Eigenschaften jenes Gebirgsvolumens zu beschreiben sind, die für das Gebirgsverhalten maßgeblich sind. Die Datenerhebung im Vortriebsbereich dient also als Basis für die Extrapolation auf das hohlraumumgebende Gebirge.

Im zweiten Schritt werden jenen Faktoren, die Einfluss auf das Gebirgsverhalten haben, erhoben und mit den Gebirgsarten kombiniert. Darauf aufbauend wird das Verhalten der unausgebauten Ausbrüche im Vollprofil mit langer Erstreckung untersucht. In den Planungsphasen dienen, nach der Einteilung in Typen und der Zuordnung in übergeordnete Kategorien, die so erhaltenen Gebirgsverhaltenstypen als Grundlage für die Entwicklung bautechnischer Maßnahmen und Konzepte. Beim Tunnelvortrieb ist es möglich, Einflussfaktoren wie Bergwasserverhältnisse, Gefügesituation oder Spannungsverhältnisse zu beobachten oder auf diese indirekt rückzuschließen. Mit der verbesserten Kenntnis der Einflussfaktoren sowie den zusätzlichen Beobachtungs- und Messergebnissen können die zugrunde liegenden Prognosemodelle laufend aktualisiert werden. Dies führt zu einer verbesserten Kurzzeitprognose des unmittelbar vor der Ortsbrust anstehenden Gebirges und zu einer genaueren Zuordnung des aktuellen Gebirgsverhaltenstyps für die nächsten Abschlüge. Aufgrund des Einflusses des Bauablaufes kann selbst bei Tunnelvortrieben im ungestützten standfesten Gebirge nicht der Gebirgsverhaltenstyp direkt, sondern nur des Systemverhalten beobachtet werden. Von diesem muss dann auf das Gebirgsverhalten rückgeschlossen werden, um die Vergleichbarkeit mit den Modellen der Planung

herzustellen. Auf diese Weise kann das Gebirgsmodell während des Baues entsprechend der tatsächlich angetroffenen Verhältnisse laufend verfeinert bzw. aktualisiert werden.

Bezogen auf die anstehenden Gebirgsverhältnisse, repräsentiert durch die Gebirgsverhaltenstypen, erfolgt im dritten Schritt die Festlegung der Baumassnahmen. Dabei werden im Rahmen der Planung Bauweisen und/oder Stützmittel so lange variiert, bis eine Übereinstimmung zwischen dem aus Gebirgsverhalten und gewählter Baumaßnahme ermittelten Systemverhalten und den definierten Anforderungen erzielt wird. Beim Bau werden auf Basis aller gewonnenen Erkenntnisse aus Beobachtung, Detailanalyse und Aktualisierung der Prognosemodelle die bautechnischen Maßnahmen, entsprechend den Rahmenvorgaben, für das Auffahren des anstehenden Gebirges festgelegt und das zu erwartende Systemverhalten prognostiziert.

Aus dem beschriebenen Ablauf wird deutlich, dass sich der Aufgabenbereich des Baustellengeologen neben der baugeologischen Dokumentation auch auf die Bestimmung der Gebirgsarten als Grundlage der Zuordnung des Gebirgsverhaltenstyps sowie auf die laufende Modellierung und Kurzzeitprognose der geologischen Situation erstreckt. Diese Daten bilden eine Grundlage für die Überprüfung des Prognosemodells und die Interpretation geotechnischer Messungen zur Beurteilung des Systemverhaltens.

### 3 FALLBEISPIELE

#### 3.1 Koralmtunnel

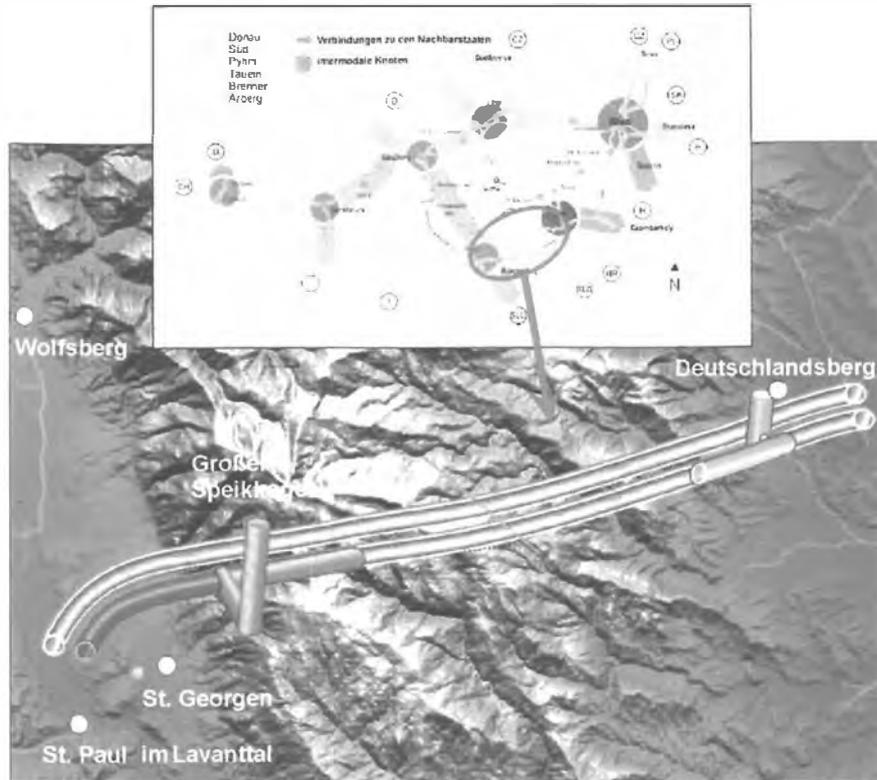
##### 3.1.1 Projektbeschreibung

Die Koralmbahn ist ein wichtiger Streckenabschnitt der „Neuen Südbahn“ und damit ein Baustein zur Umsetzung des TEN – Transeuropean Network. Die Hochgeschwindigkeitsverbindung ist Teil der Pontebbana-Route und schafft als östlichste Alpenquerung neben der international wichtigen Verbindung zwischen dem nördlichen Osteuropa und Norditalien auch eine deutlich verbesserte verkehrstechnische Anbindung des südösterreichischen Wirtschaftsraumes [5].

Das Schlüsselbauwerk der Verbindung Steiermark – Kärnten ist der Koralmtunnel mit einer Länge von rund 32,8 km und einer maximalen Überlagerung von 1250 m. Es wurden zwei Einspurröhren mit einem Ausbruchsquerschnitt von rund 80 m<sup>2</sup>, Querschläge alle 500 m und eine Überleitstelle mit anschließender Nothaltestelle etwa in Tunnelmitte als Tunnelsystem festgelegt [6]. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt in einem generellen Überblick die Hauptkorridore des hochrangigen Verkehrsnetzes Österreichs (aus [7]) und eine schematische Darstellung des geplanten Tunnels sowie der Erkundungstunnel.

##### 3.1.2 Geologischer Überblick

Der Hauptteil des Koralmtunnels ist im polymetamorphen kristallinen Grundgebirge situiert, das vorwiegend durch verschiedene Gneistypen und Glimmerschiefer gebildet wird und untergeordnet auch Quarzite, Amphibolite, Eklogite und Marmore aufweist. Das Gebirgsmassiv wird auf beiden Seiten von extensionalen Störungssystemen begrenzt, wobei das Lavanttalstörungssystem auf der Westseite stärker ausgeprägt und dadurch von größerer tunnelbautechnischer Bedeutung ist. In den tektonischen Becken haben sich mächtige tertiäre Sand- und Schluffsteinlagen gebildet.



**Abbildung 2 Lage des Koralmtunnels (schematisch)**

### 3.1.3 Erkundung

Die in dieser Arbeit beschriebene Gebirgscharakterisierung bezieht sich auf die Projektphase der UVE/UVP. Die verwendeten Daten stammen dementsprechend aus den verschiedenen Erkundungskampagnen, die im Laufe der Projektentwicklung durchgeführt wurden [8], [9], [10].

Vorrangig bei Auswahl der Erkundungsstrategie sowie der einzelnen Erkundungsmethoden war die Erstellung eines dreidimensionalen geologisch-geotechnischen Modells. Dazu wurden die umfangreichen geologischen Kartierungen durch eine Vielzahl von Erkundungsbohrungen ergänzt. Zusätzliche In-situ Versuche wie hydraulische Messungen, Spannungsmessungen oder geophysikalische Untersuchungen (Refraktionseismik, Geoelektik, usw.) lieferten zusätzlich Informationen, um das räumliche Gebirgsmodell zu verifizieren, zu vervollständigen oder zu verfeinern. An zahlreichen ausgewählten Kernstücken wurden Laborversuche zur Bestimmung der mineralogischen und mechanischen Eigenschaften durchgeführt.

Die Darstellungen in Abbildung 3 zeigen Ergebnisse der 3-D Modellierung des Projektgebietes. Von signifikanter Bedeutung ist dabei die räumliche Zuordnung der, für die Beschreibung des Gebirgsverhaltens notwendigen Parameter. Dadurch wird beispielsweise die Erstellung verschiedener Schnitte möglich, die einzelne Schlüsselparameter beinhalten.

In Abbildung 4 ist zusätzlich zum geologischen Oberflächenmodell ein Horizontalschnitt auf Tunnelniveau generiert, der den Parameter Lithologie für den gesamten Verlauf des Tunnels beinhaltet. Neben der Lithologie wurden auch alle anderen im Projektgebiet erhobenen Daten nach diesem Prinzip verarbeitet. Ein weiterer Vorteil dieser Art der Bearbeitung ist die rasche und einfache Verarbeitung von Informationszugewinnen während der Projektentwicklung.

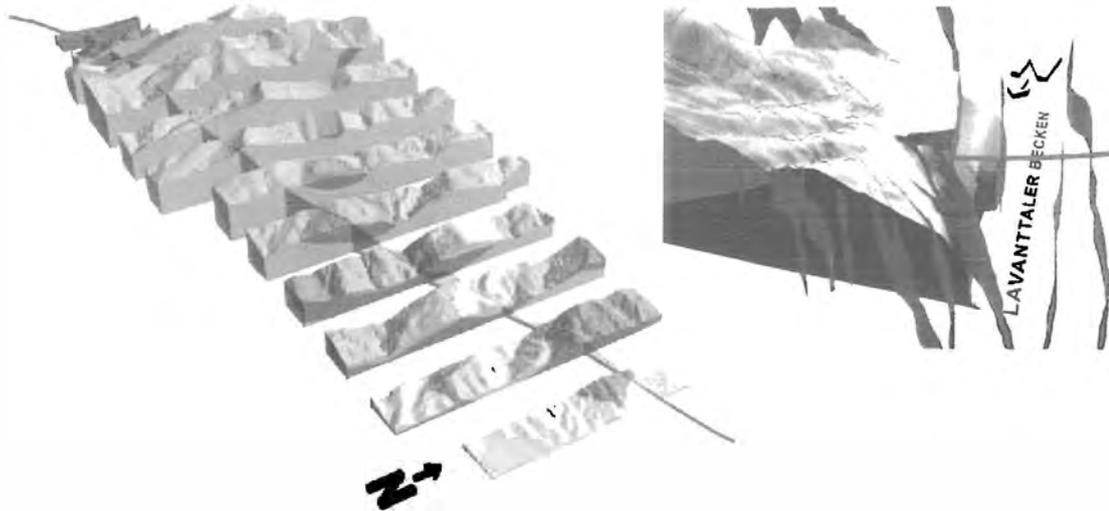


Abbildung 3 3-D Modellierung des Projektgebietes

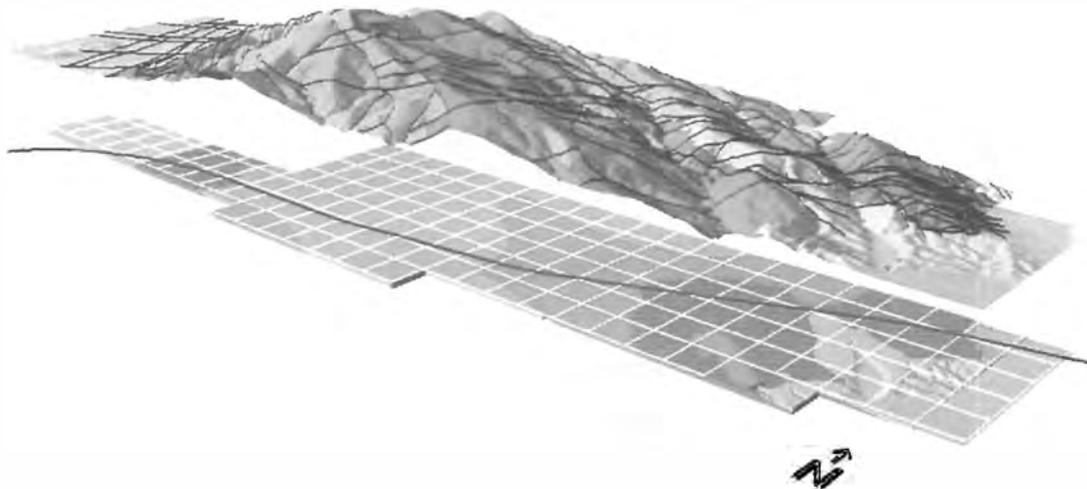


Abbildung 4 Horizontalschnitt auf Tunnelniveau

#### 3.1.4 Gebirgscharakterisierung

Zur Ermittlung der Gebirgsarten wurden die Parameter Lithologie, Isotropie, Verwitterung, Zerlegung, einaxiale Druckfestigkeit und Abrasivität als geotechnisch maßgebende Schlüsselparameter festgelegt. Neben der quantitativen Bestimmung der Parameterwerte wurde zusätzlich der GSI (Geological Strength Index nach Hoek [11]) abgeschätzt. Dieser, auf Grundlage von Gebirgszerlegung und Trennflächeneigenschaften abgeschätzte Indexwert, dient gemeinsam mit den Gesteinskennwerten aus Laborversuchen als Grundlage für die Ermittlung der Gebirgsfestigkeiten.

**Tabelle 5 Gebirgsarten und zugehörige Parameter**

Gebirgsart	Lithologie	Anisotropie		Verwitterung	Verkarstung	Zerlegung [cm]					UCS [MPa]					Abrasivität		GSI		
		anisotrop	isotrop			gering bis nicht verändert	verändert (merkliche Festigkeitsänderung)	keine oder geringe Lösungserscheinungen	Verkarstet	>100	100-20	20-5	<5	<5	5-15	15-40	40-80		80-150	150-250
1	Glimmerschiefer - Schiefergneisfolge	■	■	■															■	75 - 90
2		■		■															■	60 - 75
3		■		■															■	45 - 60
4		■		■															■	75 - 90
5		■		■															■	60 - 75
6		■		■															■	45 - 60
7		■		■															■	75 - 90
8		■		■															■	60 - 75
9		■		■															■	45 - 60
10		■		■															■	75 - 90
11		■		■															■	60 - 75
12		■		■															■	45 - 60
13		■		■															■	50 - 60
14		■		■															■	40 - 50
15		■		■															■	30 - 40
4	Feinkorngneisfolge	■		■															■	75 - 90
5		■		■															■	60 - 75
6		■		■															■	45 - 60
7		■		■															■	75 - 90
8		■		■															■	60 - 75
9		■		■															■	45 - 60

Die Unterteilung in Gebirgsarten ergibt sich aus unterschiedlichen Kombinationen von Werten (bzw. Wertbereichen) verschiedener Schlüsselparameter. In Tabelle 5 ist ein Teil dieser Zuordnung von erwarteten projektspezifischen Gesteins- und Gebirgseigenschaften auf Gebirgsarten dargestellt. Dabei zeigt sich, dass Gebirgsbereiche mit ähnlichen Eigenschaften unabhängig von der unterschiedlichen Benennung aufgrund des zu erwartenden geotechnischen Verhaltens gleichen Gebirgsarten zugewiesen werden können.

Zur Beurteilung des Gebirgsverhaltens wurden in weiterer Folge die Einflussfaktoren quantifiziert. Unter der Annahme eines maschinellen Vortriebes ergibt sich als Grundlage für die weiteren Untersuchungen ein kreisförmiger Ausbruch. Die Spannungssituation wurde entsprechend der Überlagerungshöhe und der durchgeführten indirekten Spannungsmessungen abgeschätzt. Zur Ermittlung der relativen Orientierung des Trennflächengefüges zum Bauwerk wurden die Gefügedaten dem dreidimensionalen geologischen Modell entnommen, in Wertebereiche unterteilt und den einzelnen Tunnelabschnitten zugewiesen. Eine hydraulisch-geothermale Modellierung ermöglicht Aussagen über Menge und Druck von Bergwasserzutritten [12].

In Abbildung 5 sind Ergebnisse des 3D-Finite-Elemente-Modells dargestellt. Links ist ein Beispiel für die stationäre Änderung der hydraulischen Druckhöhe an der Oberfläche über der Tunnelachse dargestellt, das Diagramm im rechten Teil der Abbildung zeigt den kurzzeitigen Tunnelzufluss als Abschätzung aus dem regionalen Modell.

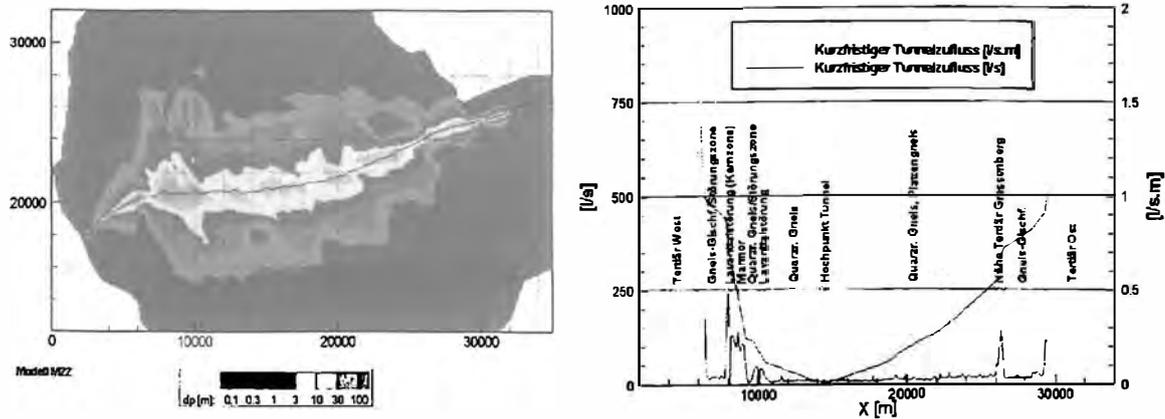


Abbildung 5 Ergebnisse der hydraulisch-geothermalen Modellierung aus [12]

Auf Grundlage der Schlüsselparameter der Gebirgsarten und der Einflussfaktoren wurde das Gebirgsverhalten ermittelt. Aufgrund verschiedener Einflüsse wie Projektphase, Prognostizierbarkeit oder Priorität für die Projektentwicklung lagen die Eingangsdaten verschiedener Tunnelabschnitte in unterschiedlicher Qualität und Quantität vor. Daher war es wichtig, die Daten entsprechend ihrer zu erwartenden natürlichen Bandbreite und ihrer Prognoseunsicherheit zu streuen [13].

Auf Basis einfacher analytischer Modelle wurden Hohlraumverschiebungen und Bruchzontiefen abgeschätzt. Im linken Teil der Abbildung 6 sind die errechneten Bruchzontiefen entlang der Tunnelachse dargestellt. Das Diagramm zeigt jeweils die ermittelten Ober- und Untergrenzen der einzelnen Rechanquerschnitte. Die Bereiche zwischen den jeweiligen Grenzen repräsentieren mögliche Wertebereiche aufgrund der Streuungen der Eingangsdaten.

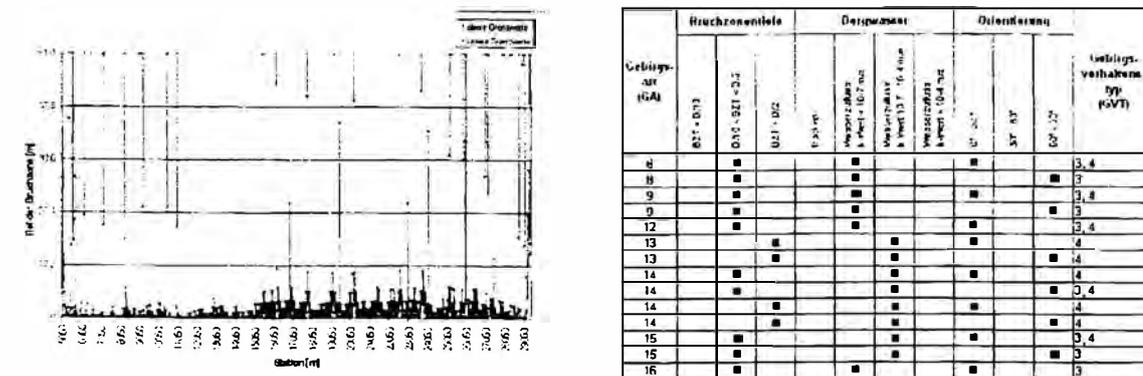


Abbildung 6 Bereiche von Bruchzontiefen entlang der Tunnelachse und Auszug aus der tabellarischen Zusammenstellung der Parameter der Gebirgsverhaltenstypen

Entsprechend ihrem erwartenden Auftreten im Projektgebiet wurden die einzelnen Parameter kombiniert, das Gebirgsverhalten ermittelt und in die übergeordneten Kategorien der Gebirgsverhaltenstypen eingeteilt. Die Tabelle auf der rechten Seite der Abbildung 6 zeigt jene Parameter die zur Ermittlung des Gebirgsverhaltens herangezogen wurden:

- Gebirgsarten mit den zugehörigen Schlüsselparametern
- Gebirgsdurchlässigkeiten als Parameter zur Beurteilung der Bergwasserverhältnisse



## 3.2 Beispiel Semmering-Basistunnel

### 3.2.1 Projektbeschreibung und kurzer geologischer Überblick

Der Semmering Basistunnel ist, wie der zuvor beschriebene Koralmtunnel als Teil der „Neuen Südbahn“ ein Streckenabschnitt des übergeordneten europäischen Eisenbahn-Hochgeschwindigkeitsnetzes und soll die traditionsreiche Eisenbahnlinie über den Semmering entlasten. Mit einer Länge von rund 22 km würde der Tunnel eine den modernen Anforderungen einer Hochleistungsstrecke entsprechende Verbindung zwischen Niederösterreich und der Steiermark darstellen [14].

Der Tunnel durchörtert verschiedene geologische Großeinheiten am Nordostsporn der Zentralalpen. Von Gloggnitz im Norden nach Mürzzuschlag im Süden sind dies die oberostalpine Grauwackenzone, gegliedert in die altpaläozoische Norische und die jungpaläozoische Veitscher Decke sowie das unterostalpine Stockwerk, bestehend aus einem polymetamorphen, kristallinen Grundgebirge mit einer alpidisch metamorphen, permomesozoischen Sedimenthülle. Neben dem großräumigen Deckenbau finden sich lokale Verschuppungen und Verfaltungen. Von großer bautechnischer Bedeutung sind junge tektonische Störungen, deren Aktivität eine erhebliche Festigkeitsminderung des Gebirges bewirkte [15].

### 3.2.2 Erkundung

In den verschiedenen Erkundungskampagnen von der Trassenauswahl bis zum Ausschreibungsprojekt wurden die geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Gegebenheiten erkundet. Neben Kartierungen, Kernbohrungen, geophysikalischen Untersuchungen sowie Labor- Feld- und Bohrlochversuchen wurde ein 4300m langer Pilotstollen aufgeföhren, durch den die Modellvorstellungen verifiziert und detaillierte Informationen gewonnen werden konnten. Die Daten wurden in einem 3D GIS-Modell verarbeitet [16]. Abbildung 8 zeigt einen Teil des räumlichen Modells mit einem Horizontal- und einem Vertikalschnitt entlang der Tunnelachse und einen Ausschnitt aus dem Störungsmodell.

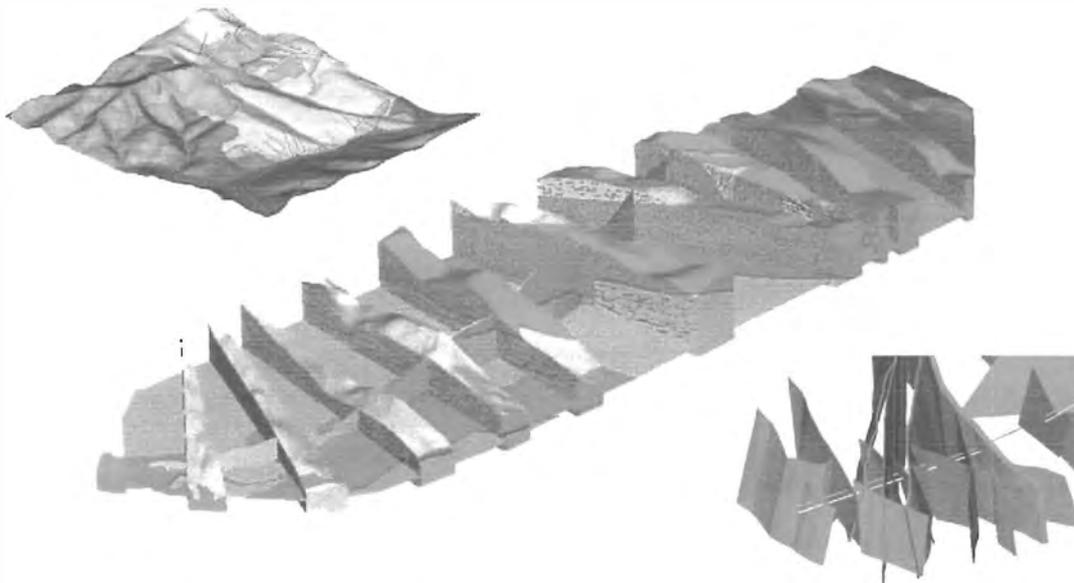


Abbildung 8 Ausschnitte aus dem 3D-Modell des Projektgebietes

Die während der Herstellung des Pilotstollens erhobenen Daten wurden in einer speziell für diese Anwendung entwickelte Datenbank verwaltet [17]. Diese Art der Datenverwaltung war aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten der Auswertung eine wichtige Grundlage für die Zuordnung und Einteilung des heterogenen Gebirges in Gebirgsarten.

Die ausführliche Beschreibung der Erkundungsstrategie bzw. der Erkundungsmaßnahmen war nicht Ziel dieser Arbeit und kann der Literatur entnommen werden [18, 19, 20].

### 3.2.3 Gebirgscharakterisierung

Die im Folgenden beschriebene Gebirgscharakterisierung diente als Grundlage für die Ausschreibungsplanung. Aufgrund der großen Heterogenität des Gebirges im Projektgebiet wurde versucht die geotechnisch relevanten Gebirgseigenschaften durch eine ausreichende Anzahl von Parametern zu beschreiben. Folgende Schlüsselparameter wurden festgelegt: Gesteinsarten, Schieferung/Anisotropie, Klüftkörpergröße, Trennflächencharakteristik und felsmechanische Kennwerte.

Neben beobachteten Parametern kommen zur Gebirgsbeschreibung auch errechnete Parameter zur Anwendung. Die Ermittlung der Gebirgsfestigkeiten wurde entsprechend den Ansätzen von Hoek [11] mit Hilfe des GSI (Geological Strength Index) durchgeführt. Der GSI-Wert stellt einen Abminderungsfaktor von Gesteins- auf Gebirgsfestigkeiten dar und wurde für die jeweiligen Gebirgsbereiche geschätzt und im Bereich des Pilotstollens durch Rückrechnungen kalibriert.

Aus der Auswertung der im Laufe der Projektentwicklung erhobenen Daten wurden für das Tunnelprojekt 21 Gebirgsarten bestimmt. Der Detaillierungsgrad dieser Gliederung und damit die Anzahl der Gebirgsarten ist von Gebietsgröße, Bearbeitungstiefe und Aufgabenstellung abhängig und hat sich im Zuge der Projektentwicklung verändert. Die einzelnen Gebirgsarten mit den jeweils zugehörigen Wertebereichen wurden in tabellarischer Form ausgearbeitet. Beispielhaft ist in Tabelle 6 eine solche Zusammenstellung für Phyllit mit einer Aufgliederung der einzelnen Parameter dargestellt. Dabei wurden die Gebirgskennwerte auf Basis des oben beschriebenen Schätzwertes GSI und der im Labor gemessenen Gesteinskennwerte ermittelt.

Auf Grundlage der Gebirgsarten und den ermittelten Einflussfaktoren wurde entsprechend der systematischen Vorgehensweise zur Gebirgscharakterisierung das Gebirgsverhalten ermittelt. Auch dabei spielen die aus dem Pilotstollen gewonnenen Informationen und Erkenntnisse eine wichtige Rolle. Beim Vortrieb wurde nicht nur das Gebirge detailliert erfasst, sondern auch das Systemverhalten „Gebirge-Ausbruch-Ausbau“ beobachtet. Mit Hilfe der Beobachtungen von Bergwasserzutritten, dem Ausbruchverhalten oder dem Verformungsverhalten des Gebirges kann man auf das Gebirgsverhalten rückschließen. Dieses Gebirgsverhalten wiederum bildet den Ausgangspunkt für die Extrapolation bzw. Prognose auf das Systemverhalten des Hauptvortriebes. So wurden beispielsweise für den gesamten Tunnel Verformungsberechnungen durchgeführt, die an den Daten des aufgefahrenen Pilotstollens und der Aufweitungsstrecken kalibriert und auf den Hauptvortrieb extrapoliert wurden.

Die möglichen Versagensmechanismen sind das entscheidende Kriterium bei der Gliederung der Verhaltenstypen. Darum wurden vor der Entwicklung von Vortriebs- und Ausbaukonzepten mögliche Versagensmechanismen aufgrund der Beobachtungen beim Vortrieb des Pilotstollens untersucht. Abbildung zeigt beispielhaft Ergebnisse von numerischen Berechnungen [21] und Modellversuchen [22] zur Ermittlung des Verhaltens von anisotropem Gebirge unter hoher Primärspannung.

Tabelle 6 Parameter der Gebirgsart 15

GA 15			
Lithologie	Phyllit		
Schieferung/Anisotropie	<6 cm / hoch anisotrop		
Kluftkörpergröße	< 20 cm		
TF-Beschaffenheit	sf: teilweise schmierig, K: rau		
Trennflächenausbisslänge	überwiegend niedrig		
Öffnung	überwiegend geschlossen		
<b>Gesteinskennwerte</b>	Mittelwert	Standardabweichung	Versuchszahl
UCS [MPa]	28,2	13,6	19
$m_i$ [-]	14,5	6,0	6
c [MPa]	10,8	3,1	6
$\varphi$ [°]	31,7	1,5	6
E [GPa]	26,7	19,1	18
$\nu$ [-]	0,43	0,18	5
CAI [-]	2,5 bis 3		
<b>Trennflächenkennwerte</b>	Mittelwert	Standardabweichung	Versuchszahl
Reibungswinkel [°]	33,7	6,3	15
Restreibungswinkel [°]	28,5	5,6	23
<b>Gebirgskennwerte</b>	Mittelwert /	Standardabweichung	
GSI [-]	40	5	
UCS [MPa]	3,9	2,0	
c [MPa]	1,1	0,5	
$\varphi$ [°]	31,3	3,6	
E [GPa]	3,0	1,0	



..... schattiert unterlegte Werte sind Schätzwerte

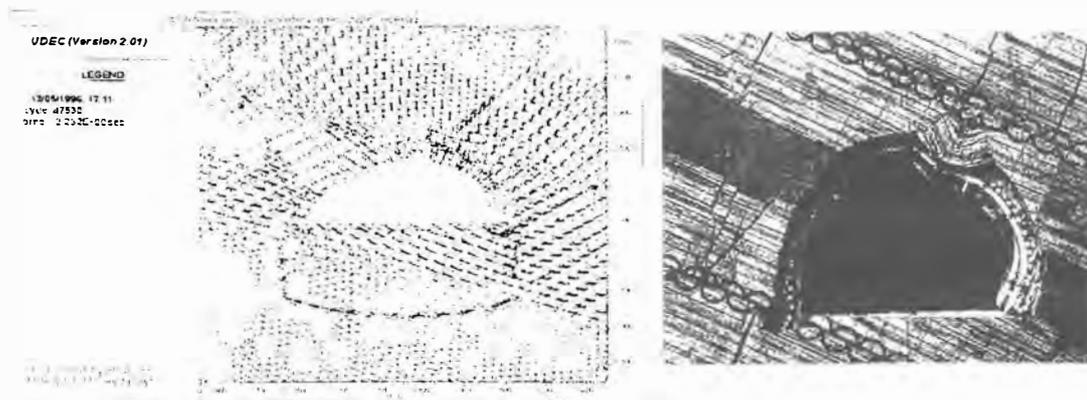
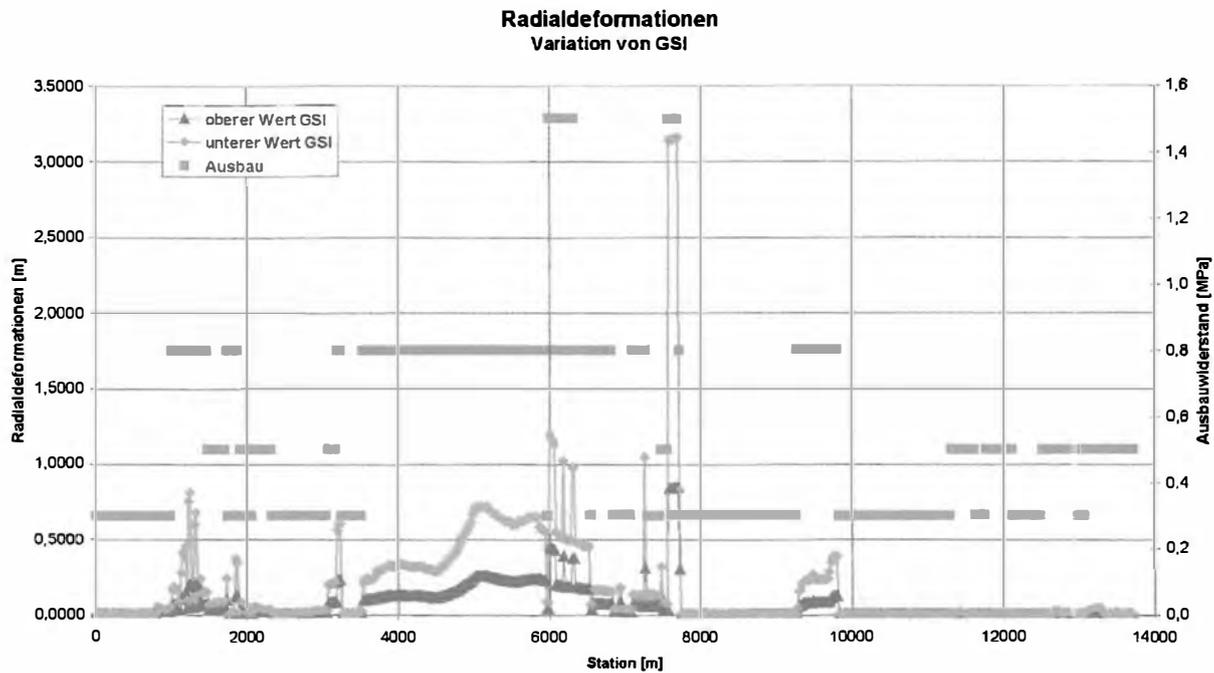


Abbildung 9 Versagensmechanismen im Phyllit

Im Diagramm der Abbildung 10 sind die Ergebnisse einer vereinfachten Berechnung der Verschiebungen für den Hauptvortrieb des Semmering Basistunnels unter Berücksichtigung des Ausbaues dargestellt. Die analytische Berechnung nach Hoek [23] wurde an den Daten des Pilotstollens und an einzelnen numerischen Referenzberechnungen kalibriert. Durch die Variation des GSI wurden die Gebirgskennwerte verändert, wodurch sich bei den errechneten Verschiebungen obere und untere Grenzwerte ergeben. Die Rückrechnungen des Systemverhaltens dienten als Hilfsmittel zur Ermittlung des Gebirgsverhaltens. Die Planung der Baumaßnahmen für den Hauptvortrieb erfolgte in einem gesonderten Prozess.

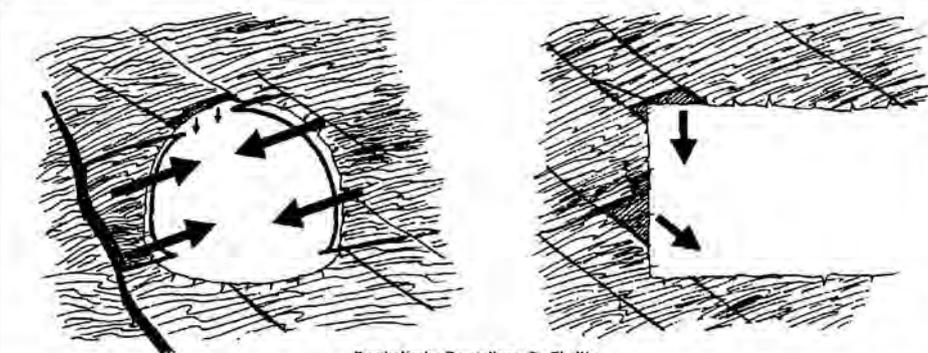


**Abbildung 10 Verschiebungsprognose für den Hauptvortrieb**

Zur eigentlichen Bestimmung der Gebirgsverhaltenstypen wurden Untersuchungen von Löse-, Ausbruch- und Nachbruchverhalten, Beeinflussung durch Bergwässer, Gebirgsauslastung, Verformungsverhalten inklusive Quellpotential sowie Bruchmechanismen durchgeführt. Auf Basis dieser Ergebnisse erfolgte zuerst eine Einteilung und Beschreibung der verschiedenen Typen und dann eine Zuordnung in übergeordnete Kategorien.

In Tabelle 7 ist ein prognostizierter Gebirgsverhaltenstyp beschrieben. Es findet sich neben einer Auflistung der Gebirgsart(en), der qualitativen Beschreibung der Einflussfaktoren und des Gebirgsverhalten auch eine schematische Darstellung einer charakteristischen Ausbruchsituation. Für das gesamte Bearbeitungsgebiet wurden 14 Gebirgsverhaltenstypen ausgewiesen, die den übergeordneten Kategorien zugewiesen wurden. Entsprechend den jeweils prognostizierten geotechnischen Verhältnissen ergibt sich damit die Zuteilung der Gebirgsverhaltenstypen auf die Gebirgsbereiche. Daraus ergibt sich die prognostizierte Verteilung der Gebirgsverhaltenstypen in den einzelnen geotechnischen Bereichen und in weiterer Folge für den gesamten Tunnel.

Tabelle 7 Darstellung des Gebirgsverhaltenstyps 4/1

Gebirgsverhaltenstyp 4/1	
 <p style="text-align: center;">Symbolische Darstellung für Phyllit</p>	
<b>Gebirgsarten</b>	GA15
<b>Orientierung der Haupttrennflächenschar(en)</b>	Die Schieferungsflächen fallen flach bis mittelsteil in Vortriebsrichtung ein.
<b>Primärspannung</b>	Spannungsniveau im Bereich der Gebirgsfestigkeit.
<b>Bergwasser</b>	Überwiegend trocken, vereinzelt Tropfwasser.
<b>Gebirgsverhalten</b> (Ausbruchverhalten, Art der Überbeanspruchung/ Bruchverhalten)	Das Gebirge neigt zur Bildung von Überprofilen. Geringe Scherfestigkeit an Trennflächen bewirkt strukturbedingtes stark anisotropes Gebirgsverhalten (z.B. Spannungsgleiten an Schieferungsflächen). Bei hohlraumnaher Lage von Harnischflächen und Störungen kann es zu Spannungskonzentrationen und damit zu lokaler Überbeanspruchung des Gebirges kommen, was zu tieferreichenderen Neubrüchen im Gebirge führen kann (im Bereich der Ortsbrust können trennflächenbedingte Ablösungen und lokales Scherversagen auftreten).
<b>Radialdeformation</b>	Strukturbedingt, mehrere Zentimeter.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten Teil dieser Arbeit wurde die Gebirgscharakterisierung entsprechend der Richtlinie für die geomechanische Planung erläutert. Dazu wurden die Begriffe Gebirgsart, Gebirgsverhaltenstyp und Systemverhalten diskutiert und deren systematische Anwendung im Prozess der Gebirgscharakterisierung anhand der Unterschiede in der Planungs- und der Bauphase dargestellt. Im zweiten Teil wurde am Beispiel von zwei langen tiefliegenden Alpentunneln die Umsetzung der systematischen, gebirgsspezifischen und projektphasenabhängigen Gebirgscharakterisierung gezeigt.

## LITERATUR

- [1] Österreichisches Normungsinstitut, 1994. ÖNORM B2203 Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm. Wien
- [2] ÖGG - Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ed.), 2001. Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb. Salzburg
- [3] Österreichisches Normungsinstitut, 2001. ÖNORM B2203-1 Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm, Teil 1: Zyklischer Vortrieb. Wien
- [4] UDEC, Itasca Consulting Group, Inc. Minnesota USA

- [5] Vavrovsky G.M., Schneider K., Harer G., 2001. Koralmbahn – A new Railway Line in Southern Austria. Felsbau 19(6): 8-12. VGE, Essen
- [6] Burger D., Lauffer-Neumann D., Mussger K., 2002. Risikoinduzierte Bewertung von Tunnelvortrieben. Felsbau 20(5): 65-72. VGE, Essen
- [7] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), 2002. Generalverkehrsplan Österreich 2002, Wien
- [8] Harer G., Riedmüller G., 1999. Assessment of Ground Condition for the Koralm Tunnel during the Early Stage of Planning. Felsbau 17(5): 374-380. VGE, Essen
- [9] Goricki A., Schubert W., Fuchs R., Steidl A., 2001. Geotechnical Assessment of the Route Corridor for the Koralm Base Tunnel. ISRM Reg. Symp. Eurock 2001, Espoo, Finland, page 77-82. Balkema, Rotterdam
- [10] Steidl A., Goricki A., Schubert W., Riedmüller G., 2001. Geological and Geotechnical Ground Characterisation for the Koralm Tunnel Route Selection. Felsbau 19(6):14-21. VGE, Essen
- [11] Hoek E., Brown E.T. 1997. Practical Estimates of Rock Mass Strength. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. 34(8): 1165-1186
- [12] Graf F., Kohl T., Megel T., Rybach L., Fuchs R., 2001. Hydraulic-Geothermal Modelling of the Koralm Tunnel for Rock Mass Classification. Felsbau 19(6): 54-59. VGE, Essen
- [13] Goricki A., Schubert W., Steidl A., Vigl L., 2002. Geotechnical Risk Assessment as the Basis for Cost Estimates in Tunnelling. Felsbau 20(5): 24-30. VGE, Essen
- [14] Vavrovsky G.M., 1995. Semmering-Basistunnel, ein Projektsüberblick. ÖIAZ 140, Nr.7/8: 509-512
- [15] Riedmüller G., 1995. Zur Geologie des Semmering-Basistunnels. ÖIAZ 140, Nr.7/8: 518-524
- [16] Fuchs R., 1998. Methoden digitaler und multimedialer geologischer und geotechnischer Datenverarbeitung am Beispiel des Semmering Basistunnels. Diplomarbeit am Institut für Technische Geologie und Angewandte Mineralogie, TU-Graz
- [17] Liu Q., Brosch F.J., Klima K., Riedmüller G., Schubert W., 1999. Application of data base system during tunnelling. Felsbau 17(1): 47-50. VGE, Essen
- [18] Riedmüller G., 1992. Geologische, geotechnische und hydrogeologische Erkundungen für den Semmering-Basistunnel. BHM 137, Nr.12: 457-463
- [19] Vavrovsky G.M., Bauer F., 1995. Die geotechnische Erkundung und ihre Umsetzung. ÖIAZ 140, Nr.7/8: 512-517
- [20] Riedmüller G., Schubert W., Pölsler P., Goricki A., 2000. Investigation Strategies for the Design of the Semmering Base Tunnel. Felsbau 18(4): 28-36, VGE, Essen
- [21] Sellner P.J., 1996. Ausbauoptimierung am Beispiel des Semmering Pilotstollens. Diplomarbeit am Institut für Felsmechanik und Tunnelbau, TU-Graz
- [22] Modellversuch der Bergbau-Forschungs-GmbH Essen
- [23] Hoek E., 1999. Support in very weak rock associated with faults and shear zones. Int. Symp. Rock Support and Reinforcement Practice in Mining, Kalgoorie, Australia



# Gedanken zu einer politischen Kultur der Nachhaltigkeit

## Ökologisch-ökonomischer Essay

J. Minsch<sup>1</sup>

### 1. Wir sollten die Federalist Papers wieder lesen

In der Zeit als sich die Vereinigten Staaten von Amerika zu konstituieren begannen, genauer: als sie sich auf den Ideen des freien Individuums und des friedlichen Zusammenlebens als demokratisches Staatswesen zu konstituieren begannen, gaben Alexander Hamilton, James Madison und John Jay die sog. Federalist Papers heraus: Eine intensive Auseinandersetzung mit der Frage, was ist eine Demokratie, was macht sie aus, wie lässt sie sich realisieren? Dies war gegen Ende des 18. Jahrhunderts.

Interessant für uns hier sind nicht die Details dieser Auseinandersetzung. Interessant ist der Prozess: von der Diskussion über unendlich viele Detailfragen (darüber, was alles eine Demokratie ausmacht) hin zum Auffinden einzelner weniger, aber zentraler abstrakter Ideen oder Konzepte, die das Wesen der heftig diskutierten Demokratie ausmachen. Die Rede ist von den „**Erfindungen gegen den Machtmissbrauch**“, die etwa sind: individuelles Wahl- und Stimmrecht, Gewaltenteilung, Föderalismus. Die Verfassungen demokratischer Staaten sind gewissermassen Protokolle eines erfolgreichen Suchprozesses nach den zentralen Institutionen (gesellschaftlichen Regeln) der Demokratie.

Wir sollten die Federalist Papers wieder lesen. Nicht, weil sie sich explizit über Nachhaltige Entwicklung geäußert haben, sondern weil sie die Notwendigkeit und die Chancen eines gesellschaftlichen Dialogs- und Suchprozesses demonstrieren, immer dann, wenn es darum geht, grundsätzliche, aber abstrakte (regulative) Ideen mit Inhalt zu füllen. Wenn es darum geht, konstruktiv mit unterschiedlichen konkretisierenden Vorstellungen und Interessen umzugehen.

### 2. Nachhaltige Entwicklung als regulative Idee

Die Brundtland-Kommission formulierte die inzwischen berühmt gewordene Definition für Nachhaltige (oder auch dauerhafte) Entwicklung:

*„Dauerhafte Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, daß künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“ (Brundtland-Bericht, 1987, S. 46)*

---

<sup>1</sup> Prof. Dr. Jürg MINSCH, Professur für Nachhaltige Entwicklung, Universität für Bodenkultur Wien, A-1190 Wien, Peter Jordan-Str. 70, juerg.minsch@boku.ac.at

Liest man dieses Postulat vor dem Hintergrund jener kulturellen Errungenschaften, die wir mit Demokratie umschreiben und in unseren Verfassungen niedergeschrieben haben, dann kann Nachhaltige Entwicklung wie folgt formuliert werden:

***Nachhaltige Entwicklung ist eine Bekräftigung der Leitidee einer demokratisch verfassten Gesellschaft vor dem Hintergrund der neuen historischen Herausforderungen, insbesondere der ökologischen Gefährdungen.***

Aus dieser Sicht ist die Idee der Nachhaltigen Entwicklung also keinesfalls eine revolutionäre oder elitäre, es geht vielmehr um die Sicherung des Projektes Würde des Menschen, Freiheit, Demokratie in heutiger Zeit! Gefragt sind konkret „**Erfindungen gegen die Tyrannei der kleinen Entscheidungen**“ mit ihren zunehmend existentiell gefährdenden ökologischen Nebenfolgen. Gefragt sind – im Rahmen der Perspektive dieses Referates – neue Regeln (Institutionelle Innovationen) des gesellschaftlichen Zusammenlebens und des Wirtschaftens. Noch leben wir nicht „in Frieden mit der Natur“. Noch steht das Wirtschaften in der industrialisierten Welt im Zeichen des – so könnte man es nennen – „**Merkantilismussyndroms**“:

### **3. Das „Merkantilismus-Syndrom“**

Die Forderung nach billigen Zentralressourcen und ihre Befriedigung durch die Wirtschaftspolitik haben eine lange Tradition. Sie reichen zurück in die Zeit des Merkantilismus. Allgemeines Ziel war es, durch Erhöhung der einheimischen Produktion – insbesondere beim Gewerbe und bei den Manufakturen – das eigene Land vom Import wichtiger Manufakturwaren unabhängig zu machen (Issing 1984: 35 ff.). Neben einer protektionistischen Politik der aktiven Handelsbilanz existierte immer auch, und zunehmend erfolgreicher, eine Politik der billigen Produktionsfaktoren. Sie sollte die Wettbewerbsfähigkeit der Exportgüter auf den internationalen Märkten gewährleisten. Zentral war die Forderung nach einem möglichst niedrigen Lohnniveau, das durch eine Politik der Arbeitsdisziplinierung und der Bevölkerungsvermehrung angestrebt wurde. Ergänzt wurde diese „Ökonomie der niedrigen Löhne“ (Heckscher 1932: 130 ff. insbes. S. 150), die den Reichtum des Staates auf der Armut des Volkes aufbaute, durch Verbilligungsstrategien bei den Lebensmitteln, aber auch bei anderen Gütern. Dies erlaubte es, die Löhne tief und die Armut in gewissen Grenzen zu halten.

Im Laufe der Zeit eröffnete sich ein neues Feld merkantilistischer Verbilligungsstrategien: Der Energieträger und Rohstoff Holz. Die Holzpolitik an der Schwelle zur Industriellen Revolution ist das paradigmatische Vorbild der heutigen Politik der Verbilligung von Zentralressourcen. Im 18. Jahrhundert wurde die damals zentrale Ressource Holz zunehmend knapp, was sich in steigenden Holzpreisen bemerkbar machte. Man schritt daher zu einer dirigistischen Zuteilung, die das Holzangebot für die strategisch wichtigen Erwerbszweige erhöhte (und damit verbilligte) bei gleichzeitiger Einschränkung des Holzangebots (und strikter Reglementierung der Holzverwendung) für nichtprivilegierte Wirtschaftsbereiche.

Diese Strategie überwand nicht die Knappheit an sich, sondern verschob sie zu den Unterprivilegierten, wo sie sich zu einer eigentlichen Holzkrise verschärfte. Das Unterfangen musste längerfristig scheitern. Die weiterhin zunehmende Holzknappheit erzwang – in England früher als auf dem Kontinent – einen Anstieg der Holzpreise und bewirkte Sparanstrengungen sowie den vermehrten Einsatz des damaligen alternativen Energieträgers Kohle: des „unterirdischen Waldes“ (Sieferle 1982).

Beides, die Verbilligungsstrategie und die Bekämpfung ihrer Nachteile durch Reglementismus sind in ähnlicher Weise auch die Merkmale der heutigen „Arbeitsteilung“ zwischen einer nach wie vor merkantilistisch fundierten Wirtschaftspolitik und einer nachträglich korrigierenden, feinsteuernenden Umweltpolitik. Der moderne Staat hat das merkantilistische Rezept der Verbilligung von Zentralressourcen aufgenommen, instrumentell verfeinert, verallgemeinert und demokratisiert. An die Stelle privilegierter Zuweisung der Zentralressourcen an die exportorientierten Wirtschaftszweige ist eine Politik der möglichst ungehinderten Naturbeanspruchung durch alle getreten (Minsch et al. 1996). Konkret angesprochen sind: die Politik der billigen Energie, die Politik der billigen Rohstoffe und der billigen Abfall- und Abwasserentsorgung, die Politik der billigen Mobilität, die Politik der unbeschränkten Raumerschließung und schliesslich die Politik der billigen technologischen Großrisiken (Haftungsbeschränkung).

Das Instrumentarium dieser Politik reicht von der Nichtberücksichtigung negativer Externalitäten über verschiedene Formen indirekter und direkter Verbilligung (Steuerbefreiungen und –vergünstigungen, Subventionen) bis zur angebotsorientierten Infrastrukturpolitik. Ein aktuelles Beispiel hierfür sind die über Subventionen aufgebauten, jeglichen Nachhaltigkeitsgedanken spottenden Überkapazitäten bei den Fischfangflotten, auch jenen Europas. Die Folgen: Überfischung der eigenen Fanggründe und Ausweichen auf neue Fischgründe bei Verdrängung der technisch weniger hochgerüsteten, dafür potentiell nachhaltigen lokalen Kleinfischerei (bspw. in den Küstengewässern Afrikas) mit verheerenden ökonomischen und sozialen Konsequenzen. Ein weiteres Beispiel: Das wirtschaftliche Wachstum in China führte dazu, dass sich dieses Land innert weniger Jahre von einem Erdölexportland zu einem –importland entwickelte. Bis zum Jahr 2010, so die Prognosen, wird China die Hälfte seines Erdölbedarfs importieren müssen. Die „Jugendzeitung“ kommentiert hierzu, dass Peking im Krisenfall gezwungen sein wird, über „diplomatische, wirtschaftliche und militärische Massnahmen nachzudenken, um den Ölnachschub und das Wachstum seiner Wirtschaft zu sichern.“ (Der Standard, 4. Oktober 2002, S. 22). Die Bedeutung dieser Zeitungsnotiz wird deutlich, wenn man bedenkt, dass gegenwärtig etwa 95% des (kommerziellen) Weltenergieverbrauchs durch fossile Energieträger gedeckt wird. Die Beispiele lassen sich beinahe beliebig vermehren und alle Zeichen wirken in Richtung auf eine gefährliche dreifache – ökologische, ökonomische und soziale/gesellschaftliche – **Destabilisierung**.

Verstärkt werden diese Prozesse durch die **Globalisierung**. Wenn es schon nicht möglich erscheint - ein weiteres Beispiel - nur schon im europäischen Kontext eine Verkehrspolitik zu realisieren, die glaubhaft eine Lösung etwa des Problems des alpenquerenden Verkehrs verspricht, wie sollen denn die zum Teil diffusen Ängste vor den Folgen der Globalisierung allgemein (die durch Fortschritte in der Informationstechnologie noch beschleunigt wird) durch beschwichtigende Politikerworte und Versprechungen besänftigt werden können.

Das streng bewachte Hotelschiff, das die nota bene demokratisch gewählten Regierungschefs des G8-Gipfels von Genua im Sommer 2001 beherbergte, oder das zur Trutzburg ausgebaute Davoser Kongresszentrum zur Zeit des World Economic Forum sind Symbole für die zunehmende Ohnmacht gegenüber einer scheinbar steuerlos gewordenen nichtnachhaltigen (ökologisch, ökonomisch und sozial) globalen Entwicklung. Pikante Pointe einer sich unter heutigen Bedingungen globalisierenden Wirtschaft: Man suchte billige Arbeitskräfte und niedrige Umweltstandards und fand politische und soziale Unsicherheit. Globale Wertschöpfungsketten werden dadurch in zunehmendem Maße gefährlich störungsanfällig.

Diese ökologische, soziale und ökonomische Gefährdung des „guten Lebens“ macht Nachhaltige Entwicklung zur **Chiefsache** und zwingt zu substantiellen, das heisst die tieferen Ursachen anpackenden Umsetzungsschritten. Die Lösung liegt nicht in einem Mehr an feinsteuender Umweltpolitik. Auch ihre instrumentelle Modernisierung (vermehrt marktwirtschaftliche Instrumente) bei unveränderter inkrementalistischer Einsatzdoktrin greift in einer „full world economy“ (Daly 1992) zu kurz. Systematische Überforderung und eine schleichende Tendenz zur Unterminierung des marktwirtschaftlichen Systems sind zu konstatieren. Denn eine Strategie der Detailregulierung widerspricht den Grundprinzipien der Marktwirtschaft, die auf Rahmenbedingungen setzt, welche sich durch möglichst wenige, allgemeine Regeln auszeichnen.

Ebenso wie die Politik des billigen Holzes letztlich an den ökologischen (absoluten) Knappheiten scheiterte und eine nachhaltige Waldbewirtschaftung erzwang, stößt heute die Politik der billigen Naturzufuhr an ihre Grenzen. Die Herausforderung ist jedoch anspruchsvoller. Denn Ursachenorientierung im wörtlichen Sinne empfiehlt eine „ökologische Grobsteuerung“, die alle oben identifizierten Politikfelder (mit ihren Akteuren in Wirtschaft und Politik) in die Pflicht nimmt. „Naturdienste“ steht als ideen- und handlungsleitendes Stichwort über diesem Projekt. Konkreter: „Energiedienste“ statt billige Energie, „Materialdienste“ statt billige Rohstoffe und Billigentsorgung, „Mobilitätsdienste“ statt billiger Verkehr, „Raumdienste“ statt ungezügelter Raumerschliessung und schliesslich „Vermeidung von Grossrisiken“. Davon sind wir noch weit entfernt. Noch wird die ökologische Frage an die spezialisierte Umweltpolitik **abgeschoben**.

Neben der Problemabschiebung an Spezialpolitiken weisen weitere Symptome der Hilflosigkeit auf schwerwiegende institutionelle Defizite hin: die „**Entdeckung**“ der **Zivilgesellschaft** und der **regionalen und lokalen Ebene** als Auffangbecken für ungelöste Probleme, die Anrufung der **internationalen Politik** als Ort zur Lösung unbeabsichtigter Nebenfolgen meist eben doch nationaler Fehlentwicklungen und schliesslich die **Abschiebung an Kommissionen**. Dabei werden durchaus wichtige Orte / Akteure identifiziert und es wird auch die Tür aufgestossen zu neuen Institutionen. Aber noch geschieht dies nicht im Sinne einer echten Inwertsetzung dieser Akteure bzw. Institutionen. Noch sind sie eher Altlastenverwalter als Mitgestalter einer Nachhaltigen Entwicklung.

Aufgerufen, innovative, zukunftsfähige Lösungen zu erarbeiten, sind sämtliche gesellschaftlichen Akteure, wobei jenen besondere Verantwortung zukommt, die sich durch besondere Gestaltungskraft auszeichnen.

Dabei verdienen drei Handlungs-ebenen besondere Aufmerksamkeit: Die Makroebene der Politik (insbesondere der Wirtschaftspolitik) und der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, die Mikroebene der Unternehmen und Haushalte und die Mesoebene der lokalen Ebene, der Kommunen und Netzwerke.

#### **4. Bedeutende Rolle der Unternehmen: Funktions- und bedürfnisorientierte Innovationen ...**

Eine zentrale Bedeutung kommt ohne Zweifel den Unternehmungen zu. Mit ihren Produkten und Diensten bestimmen sie Konsum- und Lebensstil entscheidend mit und entwerfen damit zu einem guten Teil die Zukunft. Ohne radikale Innovationen insbesondere in ökologischer Hinsicht, wird diese nicht nachhaltig sein! Tatsächlich hat die Wirtschaft erhebliche ökologische Verbesserungen erzielt, etwa im Bereich der Energieeffizienz. Hier werden Türen zu neuen, zukunftssträchtigen „Möglichkeitsräumen“ aufgestossen. Man könnte sagen: Die innovativen Unternehmen und Kooperationsnetzwerke stellen die eigentlichen „Zukunftslabors“ dar, wo kreative Wege in eine nachhaltige Zukunft entworfen werden.

Hinsichtlich des Nachhaltigkeitspotentials lassen sich vier Innovationstypen unterscheiden:

Der erste Typ sind die **Prozessorientierten Innovationen**. Sie verfolgen das Ziel, die ökologischen Prozessbelastungen (bei Produktion) eines vorgegebenen Produktes zu reduzieren. Es ist dies die traditionellste Art technisch-ökologischer Innovation; ihre Reichweite ist allerdings vergleichsweise beschränkt, denn optimiert wird bloss der Herstellungs- allenfalls der Distributionsprozess eines gegebenen Produkts. Dieses steht selbst nicht zur Diskussion. Im Extremfall handelt es sich hier bloss um end-of-pipe-Technologien; soziale, organisatorische, allgemein institutionelle Innovationen braucht es praktisch keine (allenfalls im Bereich der Rahmenbedingungen).

Deutlich höheres (ökologisches) Entlastungspotential haben **produktorientierte Innovationen** (zweiter Typ). Hier geht es um die Reduktion der ökologischen Belastung entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Die Innovation betrifft also auch das Produkt selbst, allerdings noch primär aus technischer Perspektive: Das Produkt an sich steht noch nicht zur Diskussion, sondern nur seine konkrete Ausführung wird ökologisch optimiert (einfach zu reparierendes 3-Liter-Auto mit professionellem Recycling). Diese Innovationen sind schon deutlich anspruchsvoller, gilt es doch über den einzelnen Betrieb (Produktion) hinaus den gesamten Lebenszyklus zu erfassen. Noch anspruchsvoller und ökologisch interessanter sind Innovationen des dritten Typs:

**Funktionsorientierte Innovationen**. Hier löst man sich vom Denken in einer konkreten Produktkategorie und konzentriert sich auf die Funktionen, die Produkte zu erfüllen haben. M.a.W.: Es geht um den Übergang vom Denken in Produkten zu einem Denken in Dienstleistungen. Gefordert ist die ökologische Optimierung der Erfüllung vorgegebener Funktionen, z.B. der Funktion, transportiert zu werden, zu

wohnen, zu arbeiten. Das volle Potential dieses Innovationstyps wird deutlich, wenn diese drei genannten Funktionen beispielsweise im Rahmen des „Bau- und Infrastrukturwerks Österreichs“ integral betrachtet werden – gewissermassen nach dem Motto: Vom "Minenergiehaus" zur "Minenergiestadt" und zum "Minenergieland".

Als vierten Typ schliesslich sind **bedürfnisorientierte Innovationen** vorstellbar, die die einzelnen Funktionen selbst zur Diskussion bzw. in Frage stellen und direkt bei den Bedürfnissen ansetzen. Hier liegt das Schwergewicht vor allem bei sozialen, kulturellen Innovationen. Das Motto könnte hier lauten: von der Effizienzrevolution zur „Suffizienzrevolution“.

Noch ist es eine (immerhin zunehmende) Minderheit von Unternehmen, die in diese Räume einzutreten wagt, und jene, die dies tun, können nicht allzuweit vordringen. Sie verharren oft bei Innovationen mit ökologisch letztlich doch relativ beschränkter Reichweite vom Typus der Prozess- und Produktinnovationen. Zweifelsohne ist dies auch auf mangelndes Wissen zurückzuführen – aber v.a. auf die ungünstigen Rahmenbedingungen, die solches Wissen noch nicht zum unternehmerischen Überlebenserfordernis machen.

## 5. ... aber die Politik bleibt in der Pflicht!

Aber selbst wenn Wissen und Motivation vorhanden wären und sich alle auf den Pfad der funktions- und bedürfnisorientierten Innovationen machen würden, ist noch nicht sichergestellt, dass gesamthaft das Ziel der Nachhaltigkeit auch tatsächlich realisiert würde.

Denn spezifische ökologische Fortschritte (zum Beispiel Erhöhungen der Energieeffizienz von Produktionsprozessen und ganzen Produktlinien, im Bau und Betrieb von Gebäuden) sind zwar eine notwendige Voraussetzung zur Erreichung des Gesamtziels der Nachhaltigen Entwicklung (hier zum Beispiel zur Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs), aber sie reichen nicht aus. Unökologische „Ersatzhandlungen“ (z.B. eingesparte „Wohnenergie“ wird durch energieintensive Freizeitaktivitäten wie Fernreisen kompensiert oder gar überkompensiert) und wirtschaftliches Wachstum können dies verhindern. Man spricht in diesem Zusammenhang vom „**Innovationsparadoxon**“ und von der „**Wachstumsfalle**“ (Minsch, 1996).

**Fazit:** Wenn also ohne Zweifel den funktions- und bedürfnisorientierten Innovationen im Rahmen der nachhaltigen Entwicklung eine Schlüsselrolle zukommen, so bleibt die Politik doch in der Pflicht! Es ist und bleibt ihre originäre Aufgabe, adäquate Rahmenbedingungen für eine Nachhaltige Entwicklung zu schaffen. Gefordert ist demnach individuelle **Selbstverantwortung und Privatinitiative innerhalb adäquater Rahmenbedingungen**. Offensichtlich ist aber auch, dass der eigentliche Schwachpunkt heute bei der Politik liegt. Sie schafft den Ausstieg aus der überholten Doktrin der billigen Natur nicht.

## 6. An den Federalist Papers weiter schreiben: Erfindungen gegen die Tyrannei der kleinen Entscheidungen

Es stellt sich die Frage: Sind demokratisch-rechtsstaatliche Systeme, in der Art wie sie heute verfasst sind, in der Lage, die Herausforderungen der Zukunft zu erkennen und erfolgreich zu meistern? Sind, nun genauer gefragt, die institutionellen Voraussetzungen gegeben, um einen gesellschaftlichen Lern-, Such- und Gestaltungsprozess in Richtung Nachhaltigkeit zu ermöglichen?

Optimistisch stimmt, dass im Bereich der Politik – also in jenem Bereich, der für die Bearbeitung gesellschaftlicher Probleme zuständig ist – neue Spielregeln (Institutionen) entstehen und an Bedeutung zunehmen. In Abgrenzung vom herkömmlichen staats- und rechtstheoretischen Politikbegriff, der staatliches Handeln als das Fällen verbindlicher Entscheidungen durch die Legislative und deren Um- und Durchsetzung durch die Exekutive auffasste, wurden bereits in den siebziger Jahren Formen politischer Steuerung beobachtet, die sich diesem Schema entzogen. Der „verhandelnde Staat“ zeichnet sich dadurch aus, dass in den Normen- und Aufgabenvollzug neben der Kontrolle auch Elemente der Verhandlung zwischen staatlichen Akteuren und Normadressaten einfließen. Gründe dafür sind die Abhängigkeit des Staates von Informationen der gesellschaftlichen Akteure und die Notwendigkeit, diese zu eigenen Leistungen und Verhaltensänderungen zu motivieren. Entsprechend verändern sich die staatlichen Steuerungsfelder. Neben regulatorische, distributive und redistributive Politik tritt Koordination und Moderation der gesellschaftlichen Akteure.

Dieser Trend ist als Übergang von der zentralen Steuerung hin zur Hilfe zur Selbststeuerung beschrieben worden. Und da sich im Wesentlichen nicht die Rechts- und Legitimitätsgrundlagen, sondern die Problemlagen und die Instrumente staatlichen Handelns gewandelt haben, kann von einem „Formwandel politischer Steuerung“ gesprochen werden. Es zeigt sich, dass Politik immer weniger auf das Handeln von staatlichen Akteuren beschränkt ist. Die Problembearbeitung wird zunehmend in Kooperation mit anderen Akteuren, oft sogar ganz in Selbstorganisation durch andere Akteure (z.B. Kommunen, Netzwerke, Unternehmen, Branchen, Verbände) vorgenommen.

Bei institutionellen Innovationen im Zeichen der Nachhaltigen Entwicklung muss es deshalb darum gehen, jene Regeln (Institutionen) der Problembearbeitung zu entwickeln, die für bestimmte Probleme angemessen sind – ohne vorgängige Beschränkung auf staatliche Akteure, allerdings auch ohne den Massstab rechtsstaatlicher Prinzipien für solche Arrangements aufzugeben. Ausgangspunkt zur Konzeptualisierung eines Transformationsprozesses in Richtung Nachhaltige Entwicklung ist ein **polyzentrisches Politikverständnis**, das die Bearbeitung gesellschaftlicher Probleme nicht auf staatliches Handeln beschränkt, sondern von unterschiedlichen Akteuren ausgeht und bei allen Phasen gesellschaftlicher Problemlösung ansetzt.

Dass ein Wandel in der Politikform stattfindet, haben wir festgestellt. Aber geht er bezüglich Nachhaltiger Entwicklung auch in die richtige Richtung?

Darüber im Folgenden ein paar Gedanken und Anforderungen an eine nachhaltigkeitsorientierte Institutionenentwicklung: Wie eine zukunftsorientierte Institutionenlandschaft im Sinne der Nachhaltigen Entwicklung aussehen kann und welche Rolle die einzelnen Akteure dabei spielen, ergibt sich aus der Analyse der Konstruktions- und Funktionsprinzipien moderner Gesellschaften. Diese zeichnen sich durch eine Art der gesellschaftlichen Ausdifferenzierung aus, die als funktionelle Differenzierung bezeichnet wird (Luhmann 1984). Gemeint ist ein gesellschaftlicher Entwicklungsprozess, der Teilsysteme herausbildet, die sich auf die Erfüllung bestimmter Funktionen spezialisieren (Politik, Recht, Wirtschaft, Wissenschaft u.s.w.). Als Vorteile dieser Differenzierung gelten in Analogie zu den Vorteilen der Arbeitsteilung: Spezialisierung, Dynamisierung, gesteigerte Effizienz und Effektivität (zumindest auf Funktionssystemebene). Die Dynamik dieser ausdifferenzierten Teilsysteme bringt im Hinblick auf Nachhaltige Entwicklung jedoch auch Nachteile mit sich, die überwunden werden müssen. Im Rahmen einer Studie im Auftrag der Enquete Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages wurden zu diesem Zwecke vier allgemeine **institutionelle Innovationsperspektiven** („Basisstrategien“) erarbeitet - „Reflexivität“, „Selbstorganisation“, „Konfliktregelung“ und „Innovationsförderung“ - und durch rund sechzig Vorschläge für institutionelle Reformen und Innovationen konkretisiert. Die folgenden Ausführungen geben einen stichwortartigen Überblick und skizzieren, in welcher Richtung heute die Federalist Papers bzw. unsere Verfassungen weitergeschrieben werden sollten (vgl. Minsch et al. 1998).

#### **A) “Reflexivität”: Ganzheitliche Wahrnehmung von Problemlagen und Entwicklungschancen**

Ein erstes Defizit heutiger funktional ausdifferenzierter Gesellschaften ist es, dass ein ganzheitliches Wahrnehmen von und Wissen über Problemlagen (und Entwicklungschancen) nicht sichergestellt ist. Zwischen den gesellschaftlichen Teilsystemen (wie Politik, Wirtschaft, Recht, Wissenschaft), aber auch zwischen den einzelnen Politikressorts bestehen tiefgreifende Kommunikations- und Interessensbarrieren. Wissen wird in den jeweiligen Systemen und Ressorts selektiv produziert, aufgenommen und in der Regel nur im Hinblick auf die jeweiligen Teilsystemzwecke verarbeitet. Ökologische, ökonomische und soziale Nebenwirkungen, die sich in anderen Teilsystemen (Ressorts) zeigen, werden daher kaum oder nicht problemgerecht wahrgenommen. Institutionelle Innovationen müssen daher auf eine Erhöhung der Kapazitäten zur integralen Wahrnehmung von ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen hinwirken.

Zur Erhöhung der Reflexivität kann unmittelbar auf der Ebene der Informationen angesetzt werden. **Nachhaltigkeitsorientierte Systeme der Berichterstattung** wirken in zweifacher Weise: Die Berichtersteller selbst werden sich der Folgen ihres Handelns bzw. geplanten Handelns bewusst und die Veröffentlichung der Berichte erhöht die Reflexivität in den politischen Entscheidungsprozessen allgemein. Beispiele:

- *Partizipative Erarbeitung und Auswahl von Nachhaltigkeitskriterien und -indikatoren,*

- *Partizipative Erarbeitung von Umsetzungsstrategien (bspw. der ökologischen Steuerreform),*
- *ökologische und soziale Produktkennzeichnung (Labels),*
- *Nachhaltigkeitsberichte von Ministerien, Ämtern, aber auch von Unternehmen, Unternehmensnetzwerken, Branchen und Kommunen.*

Es kann angezeigt sein, **spezielle Gremien** zu schaffen, die möglichst unabhängig vom ressortgeleiteten politischen Alltagsgeschäft dem ganzheitlichen nachhaltigkeitsorientierten Wahrnehmen und Denken verpflichtet sind und sich in geeigneter Form in den politischen Prozess einbringen. Sinnvollerweise werden solche Gremien möglichst früh in die politische Entscheidungsvorbereitung einbezogen. Beispiel:

- *Rat für Nachhaltige Entwicklung*

Eine wichtige Voraussetzung für erhöhte Reflexivität ist entsprechendes Wissen. Dies zu erarbeiten ist Aufgabe einer vermehrt **nachhaltigkeitsorientierten Forschung und Wissenschaft**.

## **B) “Selbstorganisation und Konfliktregelung”: Handlungsfähige Koalitionspartner für eine Politik der Nachhaltigkeit**

Ein zweites Defizit ist das Fehlen handlungsfähiger Koalitionspartner für eine Politik der Nachhaltigkeit. Die Teilsysteme sehen oft keine oder zu wenige „Stellen“ vor, die Nachhaltigkeitsanliegen wirkungsvoll in die jeweiligen Entscheidungsprozesse einbringen könnten. Dies würde als Störung empfunden. Ausserdem wird oft das gestalterische Potential vorhandener Akteure infolge **mangelnder Vernetzung** verschenkt. Ein wichtiger Grund dafür liegt darin, dass Nachhaltigkeitsanliegen als gesellschaftliche Interessen tatsächlich vergleichsweise schlecht organisierbar sind (Problematik der öffentlichen Güter). Institutionelle Innovationen sollten dem Rechnung tragen und die Fähigkeit zur Selbstorganisation stärken. Wegweisende Beispiele hierzu sind etwa:

- *Lokale Agenda 21-Prozesse,*
- *Plattformen für eine nachhaltige Nutzung von Kulturlandschaften*
- *Regelverantwortung der Wirtschaft durch Selbstverpflichtung und Vorreiterrolle,*
- *Branchendiskurse,*
- *Formen der partizipatorischen Projekt- und Strategieentwicklung.*

Selbst wenn die Möglichkeiten und die Fähigkeiten zur Selbstorganisation gegeben sind, kann fehlende, **mangelhafte bzw. unausgewogene Ressourcenausstattung** nachhaltigkeitsorientiertes Handeln erschweren.

Die wichtigsten dieser Ressourcen sind Expertise, juristische Klagemöglichkeiten, Zugang zu politischen Willensbildungsprozessen und finanzielle Ressourcen. Beispiele zur Überwindung dieser Probleme sind:

- *Stärkere Einbindung von NGOs in nationale und internationale Verhandlungsprozesse,*
- *Diskursive Öffnung von Gesetzgebungsverfahren,*
- *Vorschlagerechte der NGOs bei Gremienbesetzungen,*
- *Ausgleich von Ungleichgewichten im Bereich der Werbung,*
- *Nachhaltigkeits-Ombudsmänner in Departementen (Ministerien).*

Schliesslich können aber auch **Interessensgegensätze** zu Handlungs- und Politikblockaden führen. Hier verdienen diskursiv orientierte Methoden Erwähnung, die eine partizipative und aufgeklärte Form der Lösung gesellschaftlicher Probleme bezwecken, wie bspw.

- die verschiedensten Formen von sogenannten *Mediationsmodellen*.

### C) “Innovation”: Handlungsanstösse in Richtung Nachhaltigkeit

Schließlich behindert das Fehlen gangbarer sozialer und technisch-ökonomischer Alternativen nachhaltigkeitsorientiertes Handeln. Die moderne Kooperationsforschung zeigt, wie wichtig **Akteurspartnerschaften** für Innovationsprozesse sind: **Kooperations- und Vernetzungsstrategien** mobilisieren das innovative Potential von Allianzen. Auch aus dieser Perspektive kommt den bereits erwähnten Formen der Selbstorganisation besondere Bedeutung zu, wie

- *regionalen Akteurnetzen,*
- *Lokalen Agenda 21-Prozessen und*
- *Plattformen für eine nachhaltige Nutzung der Kulturlandschaften.*

Aber auch die unter dem Aspekt der Reflexivität erwähnten Informationsstrategien können, entsprechend ausgestaltet, starke Innovationsanreize entfalten. Zu denken ist etwa an

- Formen des *Unternehmens-Rankings* oder an *Benchmark-Systeme*
- *Benchmark-Systeme für Lokale Agenda 21-Prozesse.*

Strategien des **institutionellen Wettbewerbs** sind eine Möglichkeit zur Förderung sozialer Innovationen. Unterschiedliche institutionelle Designs erhalten die Möglichkeit, ihre Vorteilhaftigkeit im direkten Wettbewerb zu beweisen zum Beispiel *zwischen Gebietskörperschaften*; denkbar sind aber auch Systeme eines „*funktionalen Föderalismus*“.

**Internationalisierungsstrategien** zielen darauf ab, heute unregulierte ökologische und soziale Effekte in die Handlungskalküle der einzelnen Akteure zu integrieren. Es ist dies der systematische Ort der meisten im Rahmen der Umweltökonomie diskutierten sog. **marktwirtschaftlichen Instrumente**, wie zum Beispiel:

- *Ökosteuern, Abgaben, Gebühren, Emissions-Zertifikatlösungen, Eigentumsrechte, Haftungsrecht sowie spezifische Weiterentwicklungen wie vor allem die ökologische Steuerreform.*

Schliesslich bezwecken **Förderstrategien** die unmittelbare Förderung konkreter Innovationen durch die Bereitstellung finanzieller Ressourcen. Zu diesen nicht unproblematischen, oft langfristig kontraproduktiven und deshalb im Einzelfall genau abzuklärenden Strategien gehören namentlich

- *Ökologische Direktzahlungen,*
- *Unterstützung nachhaltigkeitsorientierter Innovationsnetzwerke und*
- *Vergünstigung von Risikokapital für nachhaltigkeitsrelevante Unternehmen/Projekte.*

## **7. Abschliessende Gedanken zur Umsetzung und Weiterentwicklung der nationalen Nachhaltigkeitsstrategien**

Nachhaltige Entwicklung setzt eine transformationsfähige Wirtschaft und Gesellschaft voraus. Es ist daher notwendig, Wirtschaft und Gesellschaft gesamthaft als Innovationssystem zu verstehen und zu gestalten. Dieses System hat (in einer ersten Annäherung) drei Handlungsebenen: die Mikroebene (Unternehmen und KonsumentInnen), die Mesoebene (Netzwerke, regionale und lokale Ebene, Gemeinden) und die Makroebene (Politik, Rahmenbedingungen, Institutionen). Damit Nachhaltige Entwicklung möglich wird, bedarf es des kreativen, sich gegenseitig fördernden Zusammenspiels zwischen allen drei Handlungsebenen.

Während nachhaltigkeitsorientierte Innovationsaktivitäten bei den Unternehmen, aber auch in den Regionen und Gemeinden an Bedeutung zunehmen, besteht im Bereich der Politik ein schwerwiegendes Defizit. Politik und Rahmenbedingungen wirken gesamthaft nicht in Richtung Nachhaltigkeit. Sie hemmen eine Breitenwirkung von nachhaltigkeitsorientierten Innovationen in Unternehmen, Regionen und Gemeinden. Nachhaltige Entwicklung ist in Europa und global in der Pionierphase stecken geblieben! Noch dominiert das Merkantilismussyndrom. Damit wird nicht nur eine weitere Zunahme der ökologischen Gefährdung (national und global) hingenommen, sondern damit ursächlich zusammenhängend auch eine fortschreitende gefährliche Destabilisierung des ökonomischen und politischen Systems. Sicher geglaubte kulturelle Errungenschaften wie Menschenwürde, Freiheit, Demokratie, Marktwirtschaft und friedliches Zusammenleben erodieren.

Notwendig ist daher vor allem die Überwindung des Merkantilismussyndroms, das heisst der „Politik der billigen Naturzufuhr“. Nachhaltigkeitspolitik hat sich inhaltlich auf die zentralen Bereiche der ökologischen Grobsteuerung zu konzentrieren.

Damit dies möglich wird, gilt es, die heute de facto herrschende Politikblockade bezüglich Nachhaltigkeit zu überwinden. Die regulative Idee der Nachhaltigkeit muss – wie früher schon jene der Menschenwürde und der Demokratie – institutionell abgesichert werden. Konkret erfordert dies die konstruktive Weiterentwicklung der gesellschaftlichen Institutionen. Dabei kann und muss bei den ersten erfolgreichen Gehversuchen einer neuen polyzentrischen Politik im Zeichen von „Reflexivität“, „Selbstorganisation“, „Konfliktausgleich“ und „Innovation“ angesetzt werden.

Es ist zu beachten, dass gesellschaftliche Innovationsfähigkeit keine Eigenschaft ist, die mit einer einzigen institutionellen Innovation herbeigeführt werden könnte. Insofern existiert kein einfacher „Königsweg“. Es bedarf eines sinnvoll komponierten Institutionenmix.

Konkret im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der nationalen Nachhaltigkeitsstrategien in Europa werden folgende Anforderungen formuliert:

1. **Schwerpunkte setzen:** Klare Schwerpunktsetzung erstens **inhaltlich** auf einigen zentralen Massnahmen bzw. Massnahmenbündel im Sinne einer nachhaltigkeitsorientierten Grobsteuerung und zweitens **institutionell** bezüglich notwendiger institutioneller Reformen und Innovationen.
2. **Ziele konkretisieren:** Überwindung der heute noch üblichen unverbindlichen Zielformulierungen. Notwendig ist die Konkretisierung der Zielvorgaben inhaltlich, zeitlich und bezüglich Verantwortlichkeiten.
3. **Das ganze gesellschaftliche Innovationssystem erfassen:** Es sind alle Ebenen des gesellschaftlichen Innovationssystems in die Nachhaltigkeitsstrategien adäquat zu integrieren: die Mikroebene (Unternehmen, BürgerInnen), die Mesoebene (lokale Ebene, Netzwerke) und die Makroebene (Rahmenbedingungen, Institutionen).
4. **Institutionalisierung der Nachhaltigkeitsstrategien als lernende Strategien:** Konzeptualisierung und geeignete Institutionalisierung der Nachhaltigkeitsstrategie als permanenten Lernprozess im Rahmen aller drei gesellschaftlichen Handlungsebenen.
5. **Commitment:** Ein starkes Commitment der Regierungen, denn die zentralen Defizite bzw. die drängendsten Handlungserfordernisse liegen im Bereich der Politik.
6. **Institutionelle Verankerung der Nachhaltigen Entwicklung in der Europäischen Verfassung:** Dieser Punkt ist sachlich absolut zentral, wenn Nachhaltige Entwicklung in der EU wirklich eine Bedeutung erhalten soll. Zudem besteht hohe zeitliche Dringlichkeit, denn die Diskussionen im Rahmen des Europäischen Konvents nähern sich dem Ende und das Leitziel Nachhaltige Entwicklung hat noch keine adäquate Erwähnung gefunden.

**Literatur (Auswahl):**

- Brundtland-Bericht, hrsg. von Hauff, V (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, Greven
- Daly, H.E. (1992): Steady-State Economics, GAIA 1 (1992) no. 6, S. 333
- Der Föderalist von Alexander Hamilton, James Madison und John Jay, hrsg. und mit einer Einführung versehen von Felix Ermacora (1958), Wien (Originalausgabe: The Federalist, ed. by Lodge, H.C. (1886) New York and London)
- Heckscher, E.F. (1932): Der Merkantilismus, erster Band. Jena
- Homann, K. (1996): Sustainability – Politikvorgabe oder regulative Idee? In: L. Gerken (Hrsg.): Ordnungspolitische Grundfragen einer Politik der Nachhaltigkeit, Nomos, Baden Baden
- Issing, O. (1984): Geschichte der Nationalökonomie. München
- Minsch, J. / Eberle, A. / Meier, B. / Schneidewind, U. (1996): Mut zum ökologischen Umbau. Innovationsstrategien für Unternehmen, Politik und Akteurnetze. Basel / Boston / Berlin
- Minsch, J. / Feindt, P.-H. / Meister, H.-P. / Schneidewind, U. / Schulz, T.(1998): Institutionelle Reformen für eine Politik der Nachhaltigkeit, Studie im Auftrag der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages, Berlin / Heidelberg / New York
- Schneidewind, U. et al (1997): Institutionelle Reformen für eine Politik der Nachhaltigkeit: Vom Was zum Wie in der Nachhaltigkeitsdebatte, GAIA 6, 1997, no. 3, S. 182-196
- Sieferle, R.P. (1982): Der unterirdische Wald – Energiekrise und Industrielle Revolution. München



## **Maßnahmen im Tunnelbau zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers**

E. Neubauer<sup>1</sup>

In den letzten Jahrzehnten erlangten im Tunnelbau Maßnahmen zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers auf Grund eines gesteigerten Umweltbewusstseins sowie der rechtlichen Rahmenbedingungen zunehmenden Stellenwert. In der einschlägigen Fachliteratur wird diesen Maßnahmen leider nur relativ wenig Raum gewidmet.

Im Folgenden werden baupraktisch umgesetzte Maßnahmen zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers am Beispiel des Mona-Lisa-Tunnels, der im Zuge der Umfahrung Ebelsberg in den Jahren 1998 bis 2000 errichtet wurde, erläutert. Bei diesem Projekt mussten durch geeignete Maßnahmen bleibende Beeinflussungen eines relativ gering mächtigen Grundwasserkörpers mit niedriger Durchflussrate durch einen neu zu errichtenden Tunnel verhindert werden.

### **DAS PROJEKT**

Die Umfahrung Ebelsberg, im Südosten der Landeshauptstadt Linz gelegen, verbindet von Asten kommend die B 1 mit der A 7. Über einen Kreisverkehr an die B 1 angeschlossen verläuft die neue Umfahrungsstraße durch den Mona-Lisa-Tunnel, in dessen Zuge auch die Westbahn unterfahren wird, quert im Anschluss daran die Traun und führt östlich der Westbahn bis zum VOEST-Knoten, welcher den Anschluss an die A 7 Mühlkreisautobahn bildet.

Der Mona-Lisa-Tunnel besteht aus den offenen Bauweisen West (Länge ca. 260 m) und Ost (Länge ca. 140 m) sowie dem ca. 375 m langen, in bergmännischer Bauweise aufgefahrenen Tunnel selbst (Abb.1). Der bergmännische Tunnel wurde konventionell im zyklischen Vortrieb nach den Grundsätzen der NÖT aufgefahren. Die Sicherung des Ausbruchs erfolgte durch Gitterbögen, bewehrtem Spritzbeton und abschnittsweiser Systemankerung; als Voraussicherung des Ausbruchsrandes gelangten Stahldielen zum Einsatz.

Die Tunneltrasse verläuft im Süden bzw. Südwesten einer ausgedehnten Wohn- und Kleingartensiedlung, deren Wasserversorgung zu einem großen Teil durch Hausbrunnen sichergestellt wird.

Bereits im Zuge der Baugrunderkundung für dieses Projekt, bei der insgesamt 14 Kernbohrungen niedergebracht wurden, war erkennbar, dass der Tunnel über weite Strecken in Grundwasser führenden Lockergesteinen aufzufahren sein wird.

Zur detaillierten Erkundung der Grundwasserverhältnisse wurden daher im Anschluss an die Baugrunderkundung mittels Kernbohrungen drei Langzeitpumpversuche, für deren Beobachtung und Auswertung zusätzlich elf als Hammerbohrungen niedergebrachte Pegelbohrungen abgeteuft wurden, ausgeführt.

---

<sup>1</sup> Mag. Erhard NEUBAUER, Ingenieurkonsulent für technische Geologie, Graz, office@zt-neubauer.at

Ergänzend dazu erfolgte ab dem Jahre 1994 eine umfangreiche hydrologische Beweissicherung, in die alle im näheren Umkreis der Tunneltrasse gelegenen Wasserentnahmestellen aufgenommen wurden. Die Beweissicherungsmessungen wurden ab 1996 weiter verdichtet. In den erfassten Brunnen wurde über mehrere Jahre hinweg die Tiefenlage des Grundwasserspiegels in zumindest monatlichem Intervall gemessen und die dabei erhobenen Daten entsprechend aufbereitet.

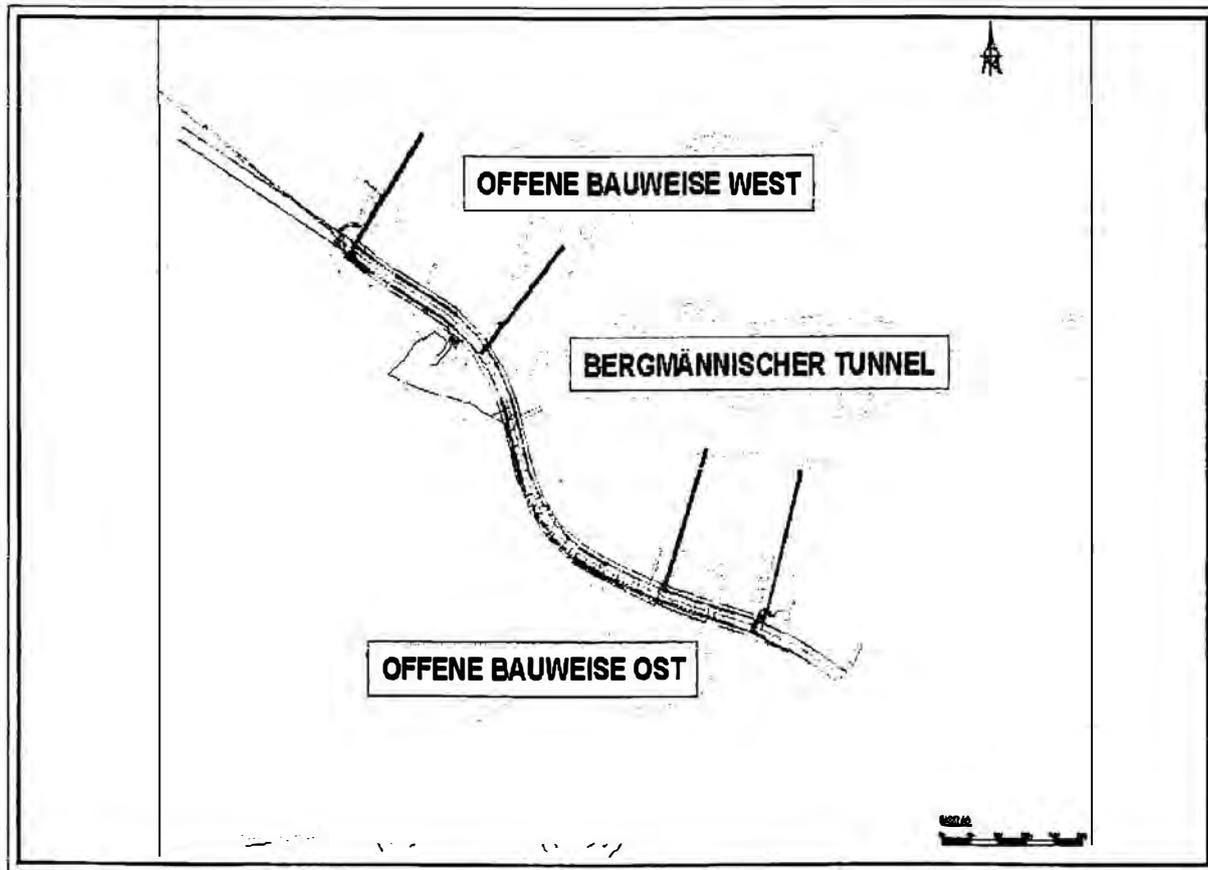


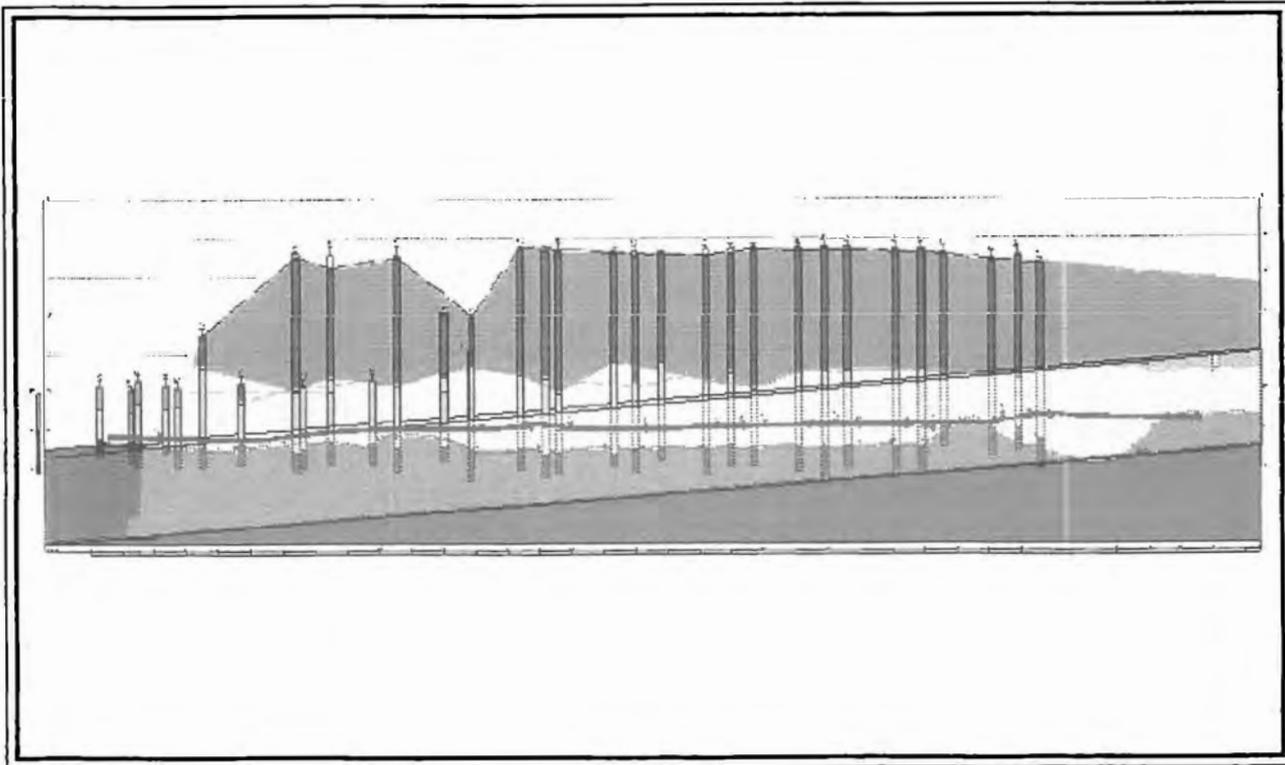
Abb.1 Lageplan des Bauloses

## GEOLOGIE

Das Projektgebiet liegt südlich von Linz innerhalb der Molasse-Zone. Die geologisch ältesten Abfolgen, die im Tunnelvortrieb bzw. bei den Aushubarbeiten für die offenen Bauweisen angetroffen wurden, bilden die Schluff- und Tonsteine des Oligozänschliers (Abb. 2).

Teile des Oligozän- und des diesen überlagernden Miozänschliers wurden im Quartär erodiert, so dass heute die quartären Abfolgen, einem zum Teil intensiv strukturierten Paläorelief folgend, den Schlierabfolgen auflagern.

Die quartären Sedimente setzen sich aus pleistozänen Sanden und sandigen Kiesen der Würmterrassen des Trauntales und den sie überlagernden, meist über 10 m mächtigen Lösslehmen des Periglazials zusammen. Entlang der heutigen Traun lagern in der Niederflur postglaziale Kiese direkt auf den Sedimenten des Oligozäns.



Legende:

Tunnelband:

gelb: Quartäre Abfolge, braun: Oligozänschlier

----- Schlier-OK in Tunnelachse

Bohrungen:

gelb: Kies/Sandgemisch allgemein (nicht normgemäß), blau: Schlier (nicht normgemäß),

olivgrün: Schluff, sandig (normgemäß), rot: Hangfußablagerung

Abb.2 Stark vereinfachter geologischer Längenschnitt

Vor allem südlich der Westbahn wurden in den Kernbohrungen zwischen Oligozänschlier und pleistozänen Kiesen immer wieder bis zu ca. 0,5 m mächtige Abfolgen aus schluffig-sandigen Kiesen erbohrt. Diese Abfolgen wurden als Verwitterungshorizont des Oligozänschliers interpretiert (= "Schlierübergang").

Unterschiedlichste Anschüttungen mit zum Teil beträchtlicher Mächtigkeit wurden entlang der Westbahn sowie im Bereich der offenen Bauweise Ost aufgeschlossen.

## HYDROGEOLOGIE – PROGNOSE

Beim Bau des Mona-Lisa-Tunnels wurden drei Aquifere berührt. Es sind dies der an die holozänen Talfüllungen des Trauntales gebundene Traun-Begleitstrom, das vom Schiltenberg im Süden Richtung Trauntal nach Norden abfließende Grundwasser der pleistozänen Terrassenkörper sowie das Grundwasser in den Abfolgen des Oligozänschliers (Abb. 3).

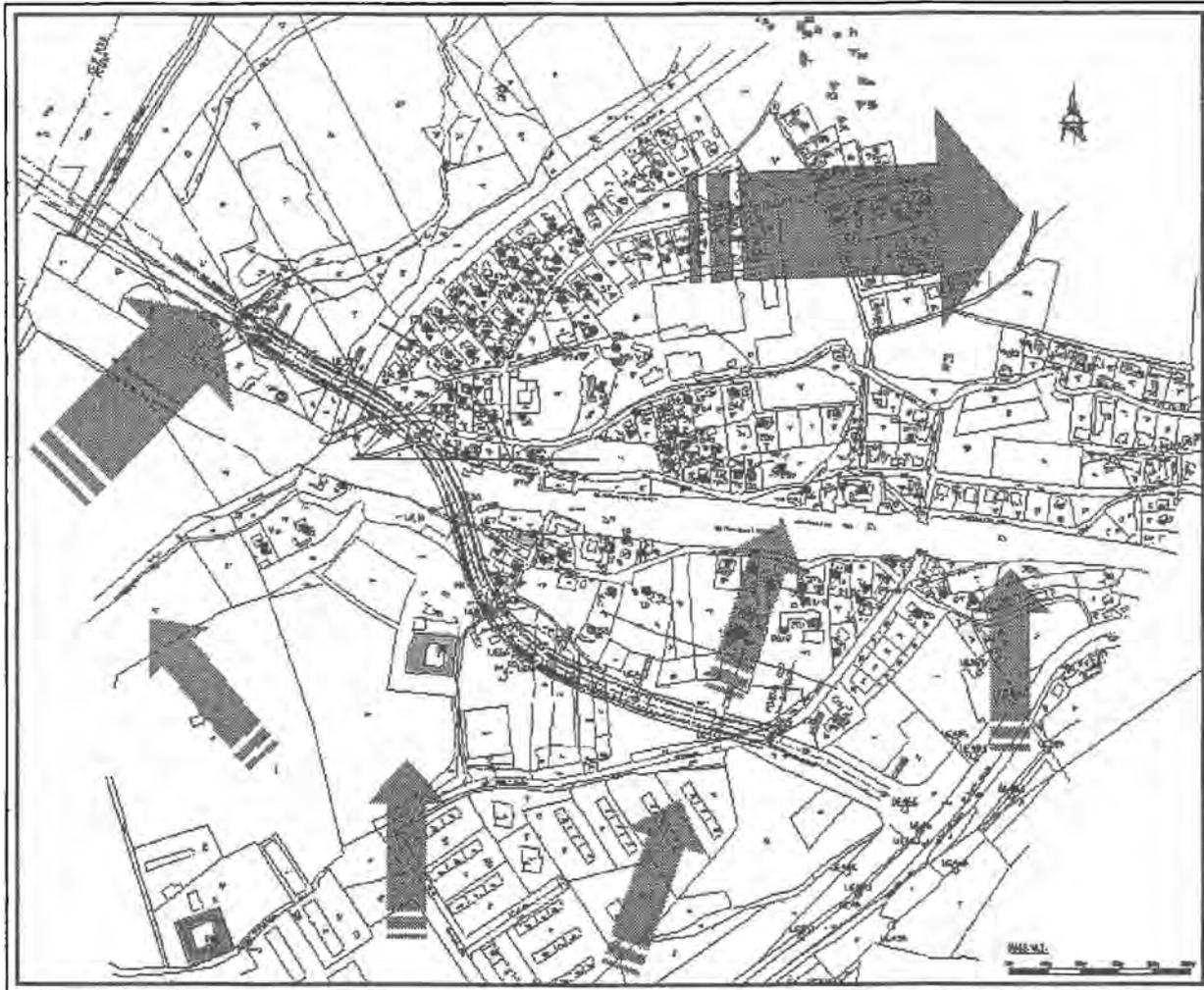


Abb.3 Vereinfachte Darstellung der Grundwasserströmungen im Projektgebiet

Während es sich bei den ersten beiden Grundwässern um Porengrundwässer handelt, dominieren im Oligozänschlier Eigenschaften eines Kluft-Grundwasserleiters. Aus den Daten der im Jahre 1996 gestarteten Beweissicherungsmessungen konnte für den Bereich südlich der Westbahn eine eindeutige Trennung zwischen dem Porengrundwasser in den pleistozänen Kiesen und dem Grundwasser im Oligozänschlier nachgewiesen werden. Nördlich der Westbahn war eine derartig klare Unterscheidung nicht möglich.

Für das vom Schiltensberg dem Traun-Begleitstrom zufließende Grundwasser konnte daher südlich der Eisenbahntrasse der Oligozänschlier als Grundwasserstauer angesehen werden. Des weiteren war davon auszugehen, dass durch das, mit pleistozänen Lockergesteinen überschüttete, intensiv durch etwa in Süd- Nord-Richtungen verlaufende Rücken gegliederte, Paläorelief der oligozänen Abfolgen das Grundwasser in den pleistozänen Kiesen in mehreren „Rinnen“ kanalisiert wird.

In Analogie zu den Verhältnissen südlich der Westbahn wurden der „Schlierübergang“ bzw. die obersten Abfolgen des Schliers auch in den nördlich der Westbahn gelegenen Teilen des Projektgebietes als „Dichtschicht“ zwischen dem Grundwasser im Oligozänschlier und dem Aquifer in den pleistozänen Lockergesteinen angesehen.

## WASSERHALTUNG – PLANUNG

Der Aushub für die offene Bauweise West kam zu einem großen Teil und der daran anschließende, steigend von West nach Ost vorgetriebene bergmännische Tunnel im Bereich der Unterfahrung der Westbahn mit dem vollen Ausbruchsquerschnitt in den Abfolgen des Oligozänschliers zu liegen.

In der Projektierung wurde davon ausgegangen, dass beim Aushub des Voreinschnittes für den bergmännischen Tunnel sowie die offene Bauweise West die Wasserhaltung in den holozänen Traunkiesen wegen der erforderlichen geringen Absenkungsbeträge durch eine offene Wasserhaltung zu bewerkstelligen sein wird. Im Kluftgrundwasserkörper des Oligozänschliers wurden nur relativ geringe Wasserzutritte erwartet, die ebenfalls mit einer offenen Wasserhaltung beherrschbar sein sollten.

Südlich der Westbahn tauchte der Ausbruch aus dem Oligozänschlier in die Wasser führenden Terrassenkiese auf und lag im Bereich des bergmännischen Ostportales zur Gänze in diesen bzw. teilweise bereits in den die Terrassenkiese überlagernden Lösslehmen. Für diesen Teil des Vortriebes wurde eine Grundwasserabsenkung mit insgesamt 24 Absenkbrunnen, die beidseitig des Ausbruches angeordnet wurden, geplant.

## GRUNDWASSERBEEINFLUSSUNG – PROGNOSE

Für das wasserrechtliche Bewilligungsverfahren mussten im Vorfeld sowohl die Auswirkungen des fertig gestellten Bauwerkes als auch die während der Bauarbeiten zu erwartenden Beeinflussungen auf den Grundwasserhaushalt dargestellt werden.

Dazu wurde ein zweidimensionales numerisches Modell des Projektgebietes auf Grundlage der zur Verfügung stehenden geologischen, hydrogeologischen und hydrografischen Daten erstellt. In diesem Modell wurde die Schlieroberkante als Grundwasserstauer definiert. Einen großen Unsicherheitsfaktor beim Aufbau des numerischen Modells stellten die geringen Kenntnisse über den Untergrundaufbau im weiteren Umfeld der Tunneltrasse dar, da fast alle Aufschlussbohrungen in unmittelbarer Nähe des geplanten Bauwerkes situiert worden waren.

Um die aus den, aus der Beweissicherung bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden, Grundwasserganglinien bei Hoch- und Niederwasserständen annähernd nachbilden zu können, war es im Modell zudem erforderlich, die gewählten Durchlässigkeitsbeiwerte relativ kleinräumig zu zonieren. Generell wurden vier Großzonen unterschieden:

- Grundwasserkörper des Traun–Begleitstromes ( $10^{-2}$  m/sec  $\leq k_f \leq 10^{-3}$  m/sec)
- Grundwasser des Schiltenerberges ( $10^{-3}$  m/sec  $\leq k_f \leq 10^{-4}$  m/sec)
- Hangfuß ( $10^{-4}$  m/sec  $\leq k_f \leq 10^{-6}$  m/sec)
- „Kiesrinne“ südlich der Westbahn ( $10^{-3}$  m/sec  $\leq k_f \leq 10^{-4}$  m/sec)

Bereits bei der Eichung des unbeeinflussten Modells, also ohne Berücksichtigung des geplanten Bauwerkes, stellte sich heraus, dass das numerische Modell insgesamt sehr empfindlich auf geringe Änderungen maßgeblicher Parameter

reagierte. Die Implementierung des Bauwerkes als undurchlässigen Körper in das numerische Modell zeigte, dass ohne zusätzliche Maßnahmen umfangreiche Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten wären.

Bei Einführung von zwei Dükern im Bereich der Offenen Bauweise West und sechs Dükern im Abschnitt des bergmännischen Tunnels in das Modell, reduzierten sich die zu erwartenden Auswirkungen beträchtlich. Die Düker wurden im Modell durch punktuelle, oberstromig der Trasse gelegene Wasserentnahmen und punktuelle Wiederversickerungen unterstromig des Bauwerkes dargestellt. Gegenüber der ohne Einsatz von Dükern berechneten Simulation konnten im Modell mit simulierten Dükern nur einige wenige, nahe an der Trasse gelegene Brunnen nicht mit Grundwasser versorgt werden.

### **INTERPRETATION DER NUMERISCHEN SIMULATION**

Bei der numerischen Simulation wurde eine starke Sensibilität des Modells gegenüber Variationen der Parameter festgestellt. Dies bedeutet, dass unter Umständen bereits geringe Abweichungen des tatsächlichen Untergrundaufbaues von dem des Modells beträchtliche Auswirkungen auf die Wirksamkeit der im Modell ermittelten Maßnahmen zur Reduktion der Grundwasserbeeinflussungen haben können und diese Maßnahmen im ungünstigsten Fall wirkungslos sind. Es war daher unbedingt notwendig, vor endgültiger Festlegung der Maßnahmen die zur Verfügung stehenden Parameter bzw. Kenntnisse über den Untergrundaufbau zu verdichten.

Erfahrungsgemäß fallen bei der Bauabwicklung derartiger Projekte eine Vielzahl von hydrogeologischen, geologischen und hydrologischen Daten an, weshalb aus terminlichen und wirtschaftlichen Gründen auf zusätzliche Erkundungsmaßnahmen vor Baubeginn verzichtet wurde. Während der Bauarbeiten sollte durch ein umfangreiches und detailliertes Monitoring eine ausreichend genaue Grundlage für die endgültige Bemessung und Austeilung der notwendigen Maßnahmen zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers geschaffen werden.

Die während der Baumaßnahme bewirkten Beeinflussungen des Grundwassers waren durch wirtschaftlich vertretbare Maßnahmen nicht reduzierbar. Da zahlreiche Liegenschaften vor Baubeginn ausschließlich über Hausbrunnen mit Trinkwasser versorgt wurden und diese mit großer Sicherheit trocken fallen würden, musste für diese Objekte eine ausreichende Ersatzwasserversorgung während der Dauer der Grundwasserabsenkung sicher gestellt werden.

### **BAUBEGLEITENDE DOKUMENTATION**

Während der Bauarbeiten zur Auffahrung des Mona-Lisa-Tunnels wurden im unmittelbaren Einflussbereich der Baustelle täglich die Grundwasserstände in bis zu 50 Messstellen gemessen. Das gesamte Messstellennetz umfasste über 180 Messstellen, an denen die Grundwasserstände zumindest in monatlichen Intervallen gemessen und dokumentiert wurden. Bis zum Ende der Bauarbeiten wurden so insgesamt mehr als 30.000 Messwerte erfasst.

Zusätzlich wurden die Grundwasser-Entnahmemengen an den jeweils betriebenen Absenkbrunnen, an den Absetzbecken sowie den einzelnen Pumpensämpfen im Voreinschnitt West bzw. im Tunnel selbst aufgezeichnet.

Die im Vortrieb aufgefahrenen Gesteine wurden neben rein tunnelbautechnischen Aspekten auch im Hinblick auf die zu beantwortenden hydrogeologischen Fragestellungen dokumentiert und aus diesem Grunde die einzelnen Gesteine auch hinsichtlich ihres Durchlässigkeitsbeiwertes visuell beurteilt.

Alle aus den baubegleitenden hydrogeologischen Beweissicherungsmessungen sowie aus dem Vortrieb gewonnenen Erkenntnisse flossen unmittelbar in ein aktualisiertes hydrogeologisches Modell ein. Dieses Modell wurde kontinuierlich mit weiteren, beim Bau erhobenen Daten überprüft bzw. ergänzt und der Bauablauf darauf abgestimmt.

## **GRUNDWASSERABSENKANLAGE**

Die Absenkung des Grundwasserspiegels im Bereich der offenen Bauweise West, zu der auch der Voreinschnitt West gehörte, erfolgte projektgemäß durch eine offene Wasserhaltung, im Bereich des bergmännischen Vortriebes durch insgesamt 24 Absenkbrunnen, DN 250 mm.

Die Filterstrecken der Absenkbrunnen reichten zumindest bis ca. 0,5 m unter die Schlier-Übergangsschicht bzw. die Schlieroberfläche, wodurch eine möglichst tiefe Absenkung des Grundwassers in dem teilweise weniger als einen Meter mächtigen Aquifer an die Staueroberkante heran erreicht werden sollte. An allen Absenkbrunnen wurden Abnahmepumpversuche durchgeführt, die in den Brunnenbohrungen durchfahrenen Schichten wurden laufend dokumentiert.

Bereits bei der Herstellung der Brunnen und der Auswertung der Abnahmepumpversuche konnten wesentliche Punkte der aus dem numerischen Modell abgeleiteten hydrogeologischen Prognose bestätigt werden.

Der Grundwasserkörper des Schiltenerberges war insgesamt nur relativ gering ergiebig und zudem durch mehrere Schlierrücken, die durch den nunmehr relativ dichten Raster an Aufschlüssen genauer zu beschreiben waren, in drei Teilströme untergliedert. Ebenso konnten die im Modell angenommenen Durchlässigkeitsbeiwerte größtenteils verifiziert werden.

## **BAUGESCHICHTE**

Relativ bald, bereits beim Aushub des Voreinschnittes West bzw. dem Vortrieb des Tunnels unter der Westbahn, wurde festgestellt, dass die Beeinflussungen des Traun-Begleitstromes deutlich über die in der numerischen Simulation berechneten Bereiche hinausreichten, obwohl die tatsächlichen Pumpmengen in etwa mit denen der numerischen Simulationsrechnung übereinstimmten.

Ursache dafür war, dass das Kluftgrundwasser im Oligozänschlier mit dem Porengrundwasser des Traun-Begleitstromes kommunizierte. Damit wurde eine beträchtlich größere Gesamtabenkung des Grundwasserspiegels, als projektgemäß erwartet, erforderlich.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurde das vom Grundwassermonitoring erfasste Areal nach Nordosten erweitert. Beeinflussungen der zusätzlich im Messprogramm erfassten Brunnen konnten allerdings auch bei Erreichen der maximalen Absenkung nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Auch das Vortriebskonzept des Tunnels wurde wegen der festgestellten Kommunikation zwischen den beiden in der Planung als getrennt angesehenen Grundwasserkörpern aus hydrogeologischen Überlegungen geändert. Ursprünglich war der Ausbruch der Tunnelröhre mit kurz vorseilender Kalotte und raschem Sohlschluss geplant. Dies hätte allerdings bedeutet, dass durch den Vortrieb über eine relativ lange Strecke gleichzeitig sowohl der Aquifer in den pleistozänen Terrassenkiesen als auch der im Oligozänschlier durch den Vortrieb beeinflusst würden. Dies hätte die Interpretation der erhobenen hydrologischen Daten deutlich erschwert.

Aus diesem Grunde wurde nach Unterquerung der Westbahn der verbleibende, etwa 320 m lange bergmännische Tunnel als Kalottentunnel mit temporärer Sohle aufgefahren. Dadurch war es möglich, die Beeinflussungen der beiden unterschiedlichen Grundwasserkörper zeitlich und räumlich zu minimieren bzw. abzugrenzen und hydrogeologisch eindeutig verwertbare Daten als Grundlage für die Situierung von Dükern in den Terrassenkiesen zu erhalten.

Beim Auffahren der Kalotte konnte durch die Absenkanlage der Aquifer über die gesamte Tunnelstrecke weitgehend entwässert werden. Der an der Staueroberkante aufgetretene Restwasserzutritt war gering und im Vortrieb ohne weiteres beherrschbar.

Die über den gesamten Tunnel abzuleitenden Wassermengen entsprachen insgesamt der in der numerischen Simulation ermittelten Größenordnung. Es zeigte sich aber, dass die Wasserführung sehr stark an einzelne, sehr gut durchlässige und meist relativ gering mächtige, kiesig-steinige Horizonte mit geringem bis fehlendem Sandgehalt gebunden war. Diese Kiese traten häufig im Sohlbereich der Rinnen in der Schlieroberfläche auf, konnten aber auch deutlich darüber liegen und waren daher hinsichtlich ihrer tatsächlichen Lage und Position aus den Ergebnissen der Kernbohrungen nicht abzuleiten.

## **AUSGEFÜHRTE MASSNAHMEN**

Wegen der beim Vortrieb festgestellten Änderungen der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse waren im Detail Änderungen sowohl hinsichtlich der Situierung als auch der Art der Maßnahmen zur Wiederherstellung der ursprünglichen Grundwasserverhältnisse notwendig.

Die bereits in der Projektierung vorgesehenen Kieskörper unterhalb der Bodenplatte der offenen Bauweise West gelangten plangemäß zur Ausführung. Umfangreiche Anpassungen der geplanten Dükersysteme waren allerdings für den Bereich des bergmännischen Tunnels erforderlich. Dabei waren allerdings zahlreiche Randbedingungen zu berücksichtigen.

Aus baubetrieblichen und statischen Gründen musste die Grundwasserabsenkung über die Sohl-Drainage des Ausbruches bis nach Fertigstellung der Ortbetoninnenschale des Tunnels in Betrieb bleiben. Die Funktionstüchtigkeit der Düker und ihre Wirksamkeit konnte somit erst nach Deaktivierung und Verpressung der

Sohldrainage überprüft werden. Bei der Festlegung der Dükerstandorte und der Dükersysteme war daher eine hohe-Prognosesicherheit gefordert.

Da der Tunnel steigend den relativ gering mächtigen Aquifer in den pleistozänen Terrassenkiesen quert und der Ausbruch der Kalotte zu diesem Zeitpunkt bereits fertig gestellt war, kamen drei unterschiedliche Bauweisen für die Herstellung der Düker zur Ausführung:

In dem Tunnelabschnitt, in dem ausschließlich die Kalotte den Aquifer sperrt, kamen zwei Düker mit Horizontalfilterbrunnen, die von der bereits aufgefahrenen Kalotte aus hergestellt wurden, zur Ausführung.

Die Düker bestehen oberstromig aus einem 15 m langen Horizontalfilterbrunnen, welcher leicht steigend, der im jeweiligen Bereich dokumentierten gut durchlässigen Schicht folgend, hergestellt wurde. Unterstromig wurden zwei 8 m lange Horizontalfilterbrunnen leicht fallend innerhalb des selben Kieshorizontes ausgeführt. Durch diese Bauart der Düker sollte einerseits eine möglichst flächige Dotation des unterstromigen Aquifers und andererseits eine Verbesserung der Versickerungsleistung des Dükersystems erreicht werden.

In dem Tunnelabschnitt, in dem die Schlieroberkante bzw. die hochdurchlässigen Horizonte im Bereich bzw. knapp unterhalb des Kalottenfußes liegen, wurden so genannte Längsdüker parallel mit dem Auffahren der Strosse eingebaut. Bei diesen Längsdükern handelt es sich um bis zu 15 m lange Kiespackungen entlang der Ausbruchsleibung, in die Filterrohre (DN 150 mm) eingelegt wurden. Die oberstromig, also entlang des Südulmes, hergestellten Längsdüker wurden mit Gefälle zur Dükerleitung hin, die unterstromigen mit Gefälle von der Dükerleitung weg, angeordnet.

Sowohl Längsdüker als auch Horizontalfilterbrunnen wurden so konzipiert, dass sie auch im Betrieb voll wartbar bleiben. Bei beiden bisher beschriebenen Systemen wurden die oberstromigen Entnahmeeinrichtungen und die unterstromigen Wiederversickerungen unter der Tunnelsohle hindurch mit Dükerleitungen (DN 150 mm) verbunden, welche ebenfalls wartbar (spülbar) ausgeführt wurden.

Das dritte eingesetzte Dükersystem besteht aus drei, etwa 1 m mächtigen und jeweils ca. 3 m breiten Kieskörpern unterhalb der Tunnelsohle. Dieses System wurde gewählt, weil hier die Tertiäroberkante bereits so tief liegt, dass die erforderlichen Wartungsöffnungen unterhalb der Fahrbahnoberkante zu liegen gekommen wären. Aus diesem Grunde erschien es sinnvoll, ein wartungsfreies aber ausreichend leistungsfähiges System einzusetzen. Auch wurde die Lage der einzelnen Kiesdüker auf die im Vortrieb angetroffenen geologischen Verhältnisse angepasst.

## **EFFEKTIVITÄT DER DÜKER**

Nach Verpressen der Sohldrainage stieg der Grundwasserspiegel oberstromig der Tunnelröhre rasch an. Der Wirkungsgrad der Düker konnte bald darauf am Wiederanstieg des Grundwassers in den unterstromig der Trasse gelegenen Absenkbrunnen bzw. in den bis dahin trocken gefallen Hausbrunnen festgestellt werden.

Aus den vorliegenden Daten kann abgeleitet werden, dass der oberstromige Aufstau des Grundwassers nur wenige Zentimeter bis maximal zwei Dezimeter gegenüber

vergleichbaren Grundwasserständen vor Baubeginn beträgt und somit das anströmende Grundwasser wirksam über die eingebauten Dükersysteme abgeleitet wird.

Aus den beidseitig der Tunnelröhre gelegenen Absenkbrunnen sind ohne Berücksichtigung des natürlichen Gefälles des Grundwasserspiegel Differenzen der Spiegellage des Grundwassers zwischen 20 cm und 40 cm abzuleiten (Abb. 4), wobei im Detail geringe Unterschiede zwischen den Tunnelabschnitten mit Horizontalfilterbrunnen, Längsdükern und Kiesdükern zu bestehen scheinen. Erwartungsgemäß traten die größten Unterschiede in den Abschnitten mit generell niedrigen Durchflussraten im Bereich der Kiesdüker auf.

Nach Abschluss der über zwei Jahre nach Bauende fortgesetzten Beweissicherungsmessungen konnte festgestellt werden, dass großflächig die ursprünglichen Grundwasserverhältnisse sowohl hinsichtlich Ergiebigkeit des Aquifers als auch Grundwasserdynamik wieder hergestellt werden konnten.

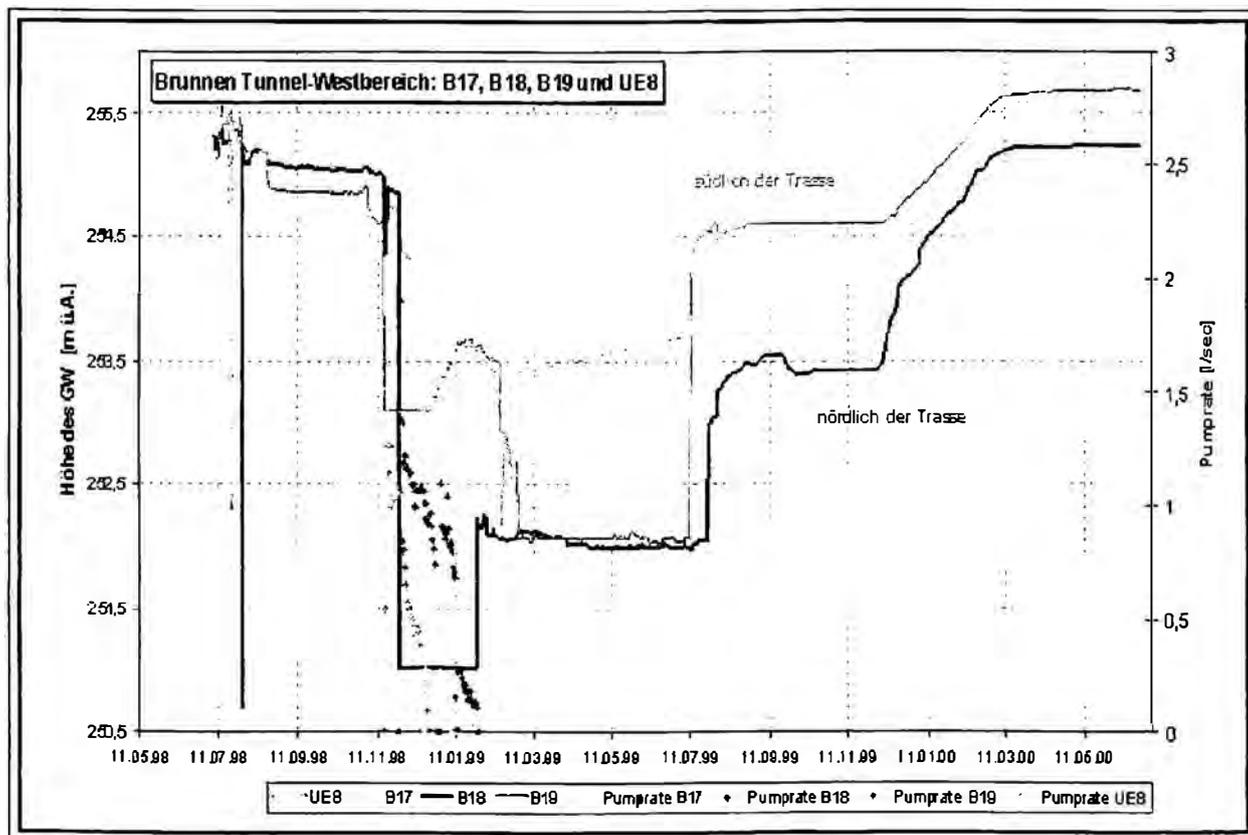


Abb.4 Ganglinien an Absenkbrunnen ober- und unterstromig der Trasse vor, während und nach Ausbruch des Tunnels.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Bei Bauwerken, die in Grundwasserkörper eintauchen, ist auf Grund der rechtlichen Bedingungen und des gesteigerten Interesses der Öffentlichkeit an Belangen des Umweltschutzes größtes Augenmerk auf mögliche Beeinflussungen des Grundwasserhaushaltes zu legen. Die Notwendigkeit von Maßnahmen zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers muss daher frühzeitig geprüft und bereits bei der Planung der Untergrunderkundung berücksichtigt werden.

Dies bedeutet, dass die projektbezogene Baugrunderkundung auch Bereiche abdecken muss, die unter Umständen auch relativ weit außerhalb der geplanten Trasse liegen können. Das tatsächlich zu bearbeitende Areal wird dabei primär durch die hydrogeologischen Rahmenbedingungen definiert.

Das aus der Untergrunderkundung abgeleitete hydrogeologische Modell sollte jedenfalls durch numerische Simulationen überprüft werden. Bei diesen Untersuchungen müssen vor allem Prognoseunsicherheiten herausgearbeitet und diese hinsichtlich ihrer baupraktischen und damit wirtschaftlichen Konsequenzen bewertet werden. Gegebenenfalls sind zusätzliche Erkundungsmaßnahmen auszuführen.

Die in der Planung verwendeten Modelle müssen während der Projektrealisierung – vor allem in komplexen, heterogenen Grundwasserkörpern – laufend überprüft werden. Festgestellte Unterschiede zwischen Modell und Realität sind rechtzeitig auf ihre Auswirkungen auf die gewählten Verfahren zu überprüfen und daraus gegebenenfalls Konsequenzen für das Projekt zu ziehen. Dazu ist es notwendig, sämtliche Planungsschritte und Entscheidungsgrundlagen bis zur Fertigstellung des Projektes nachvollziehbar zu dokumentieren.



## **Die Salinen Austria AG und die Geologie ihrer Salzlagerstätten im Salzkammergut**

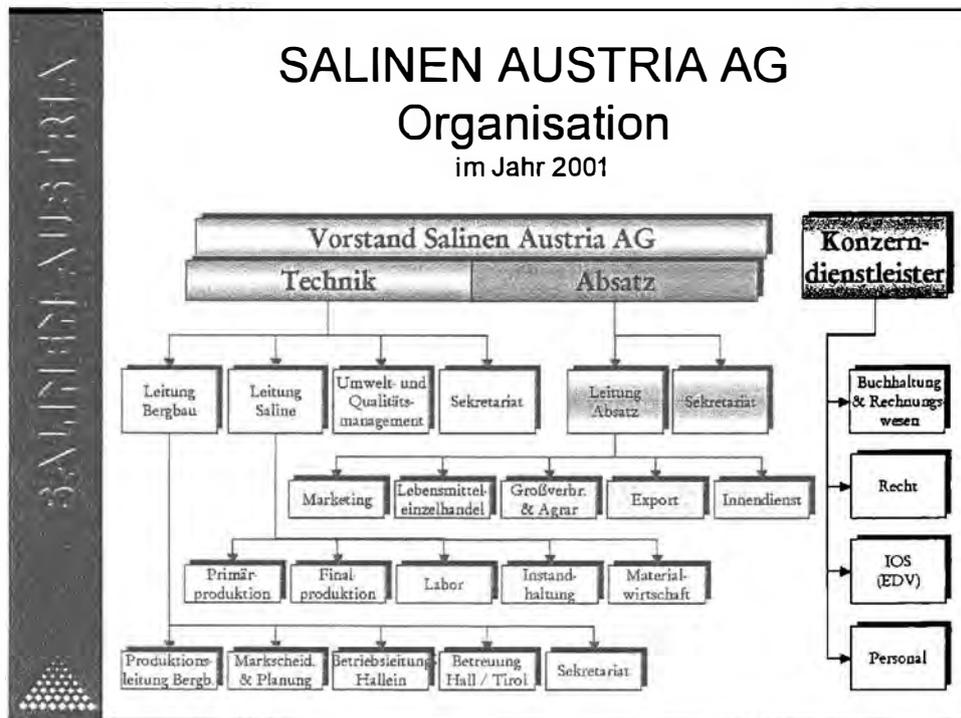
**M. MAYR<sup>1</sup>**

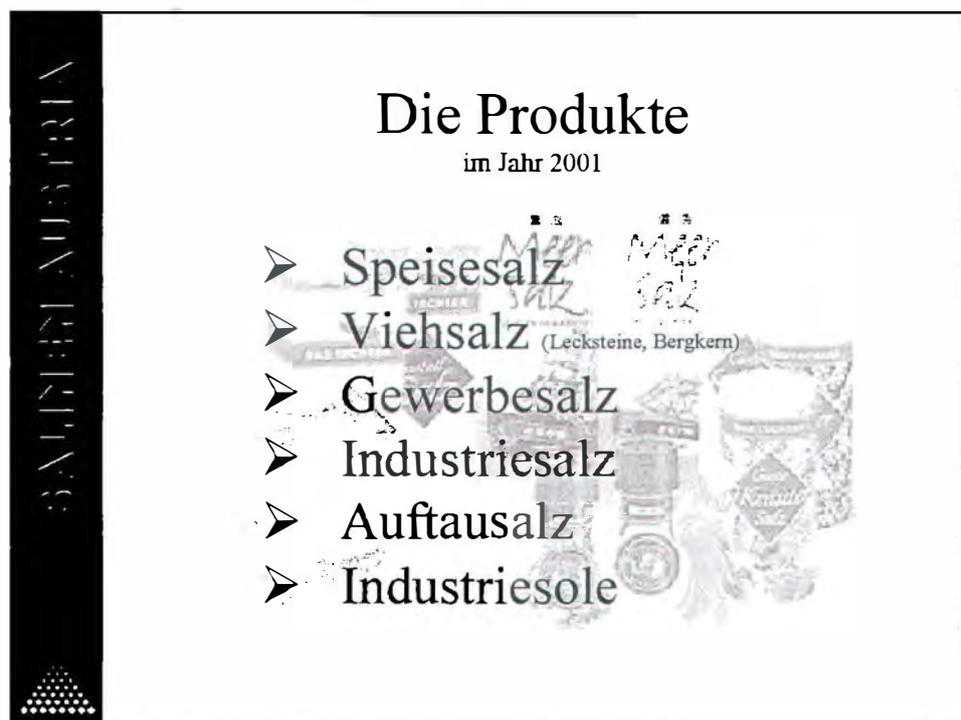
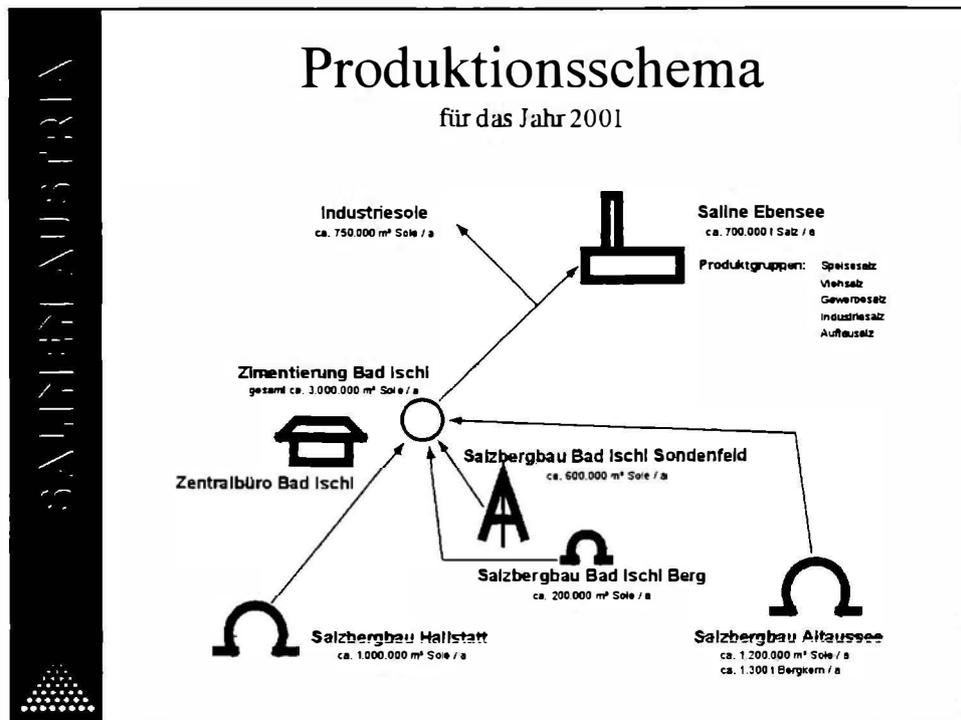
### **Zusammenfassung - Überblick über folgende Themenbereiche:**

- Österreichische Salinen AG – das Unternehmen
- Geologie des Salzkammergutes
- Das ostalpine Haselgebirge
- Salzlagerstätten im Salzkammergut
- Solegewinnung und -eindampfung
- Prospektion & Exploration (Altaussee, Trauntal, Ischltal)

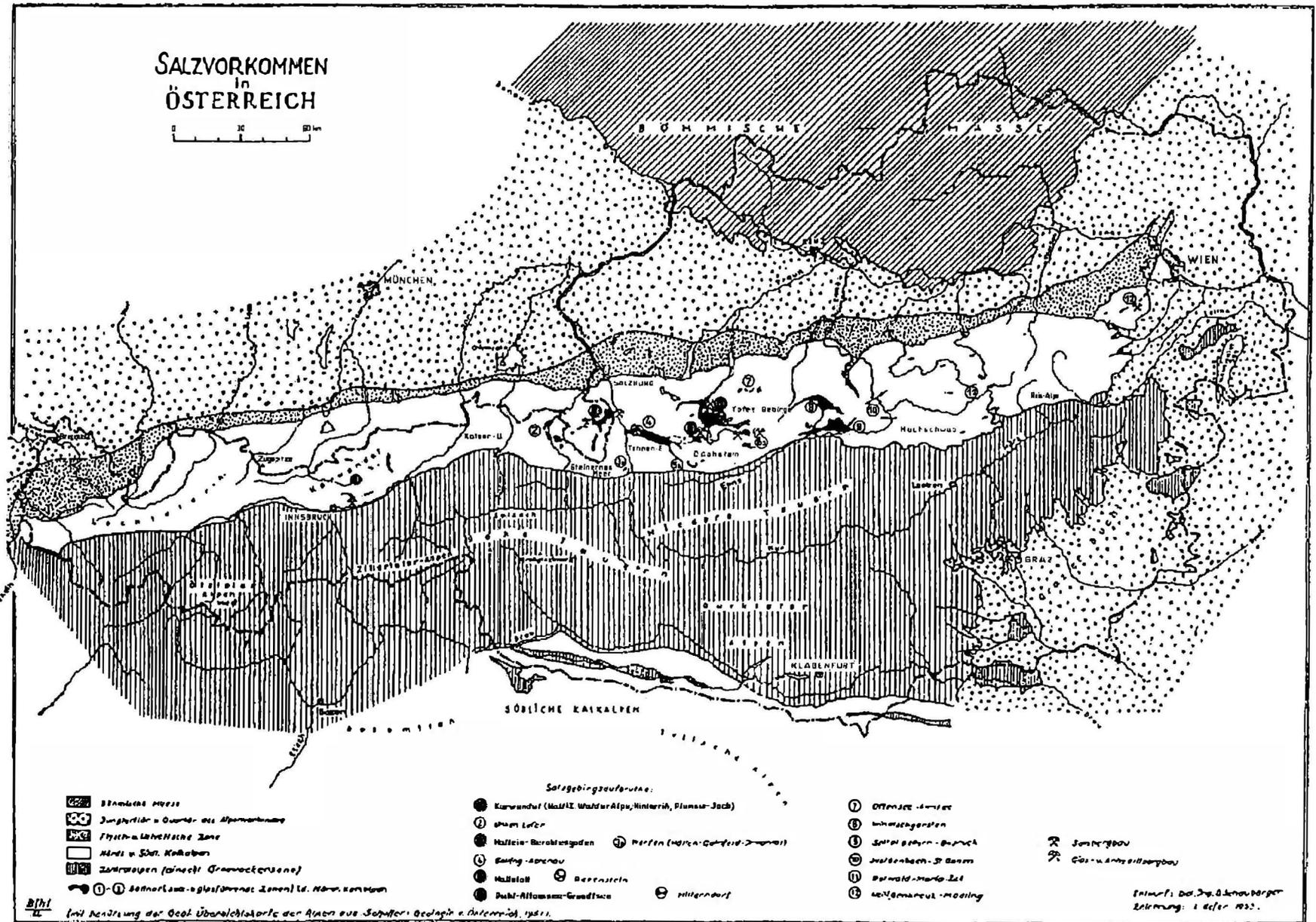
---

<sup>1</sup> Mag. Michael MAYR, Salinen Austria AG, A-4820 Bad Ischl, Wirerstr. 10,  
michael.mayr@salinen.com





# Salzvorkommen in Österreich



Gez.: O. SCHAUBERGER (1953), mit Benützung der geol. Übersichtskarte der Alpen aus SCHAFFER (1951)

# Tektonische Skizze der Dachsteindecke

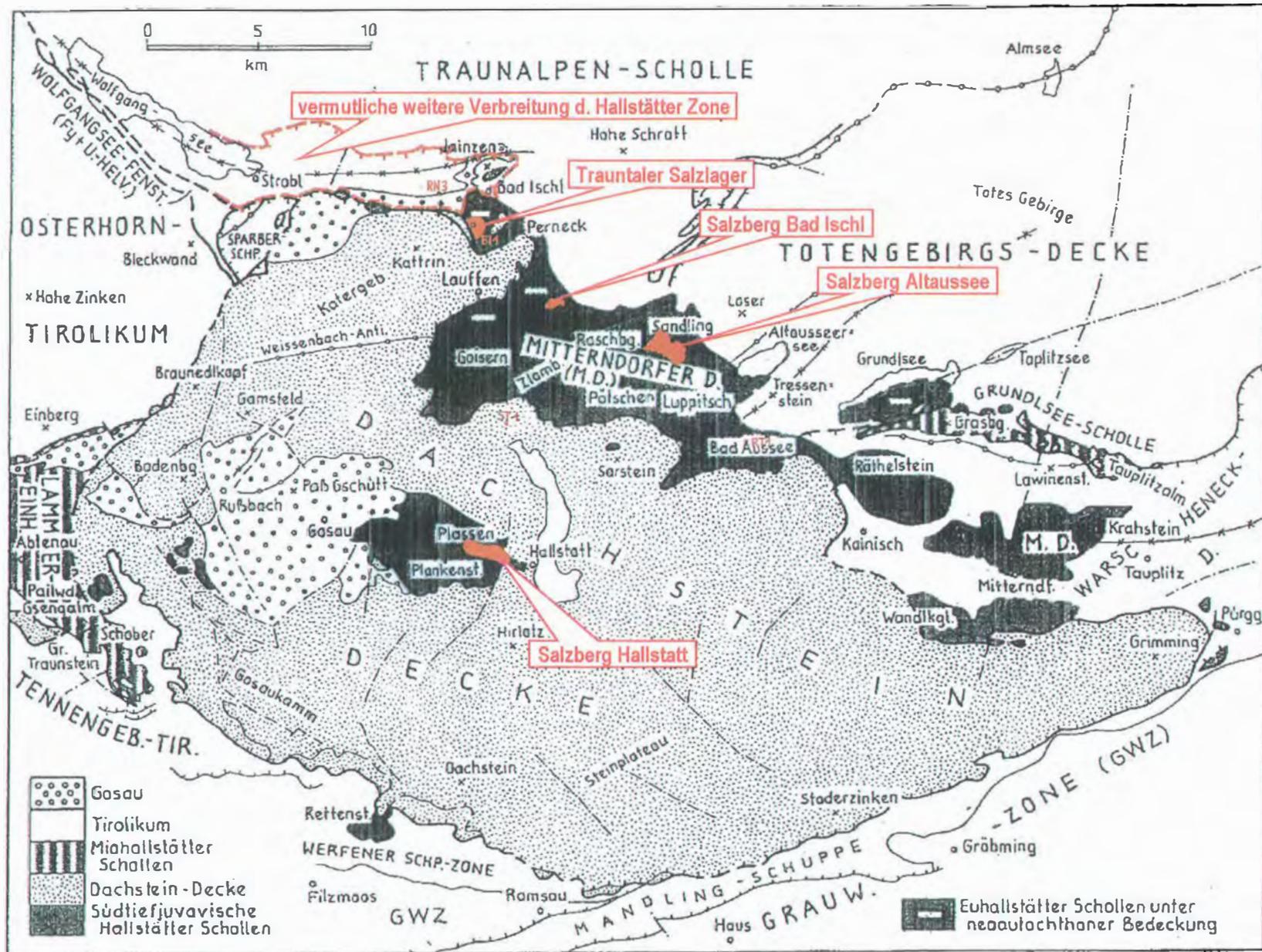
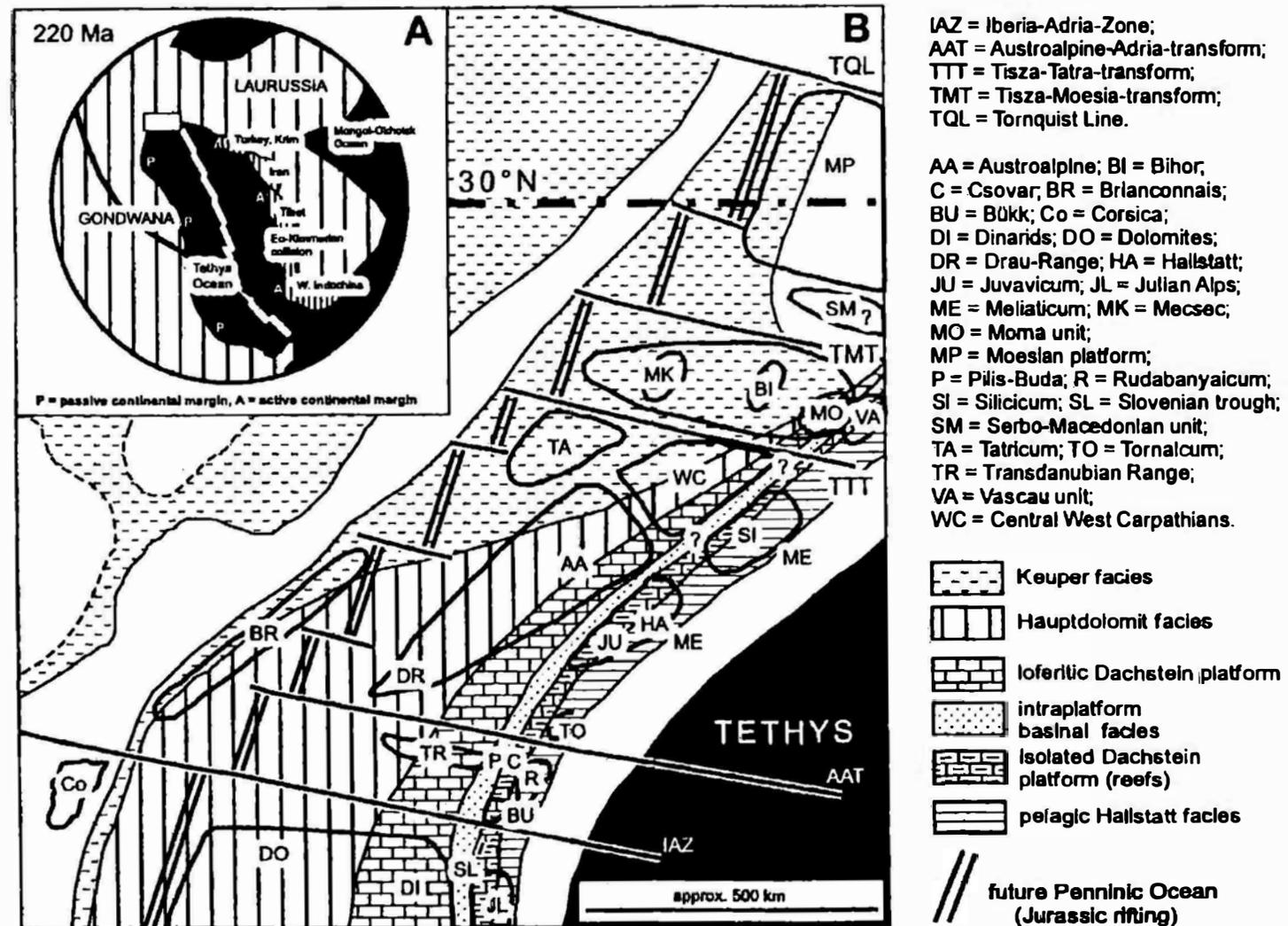


Abb. 104: Tektonische Skizze der Dachsteindecke nach A. TOLLMANN (1976 b, Taf. 3), G. SCHÄFFER (1982, Kt.) und G. MANDI (1982 b, Taf. 13).  
ergänzt: H. MASL, Juli 1998

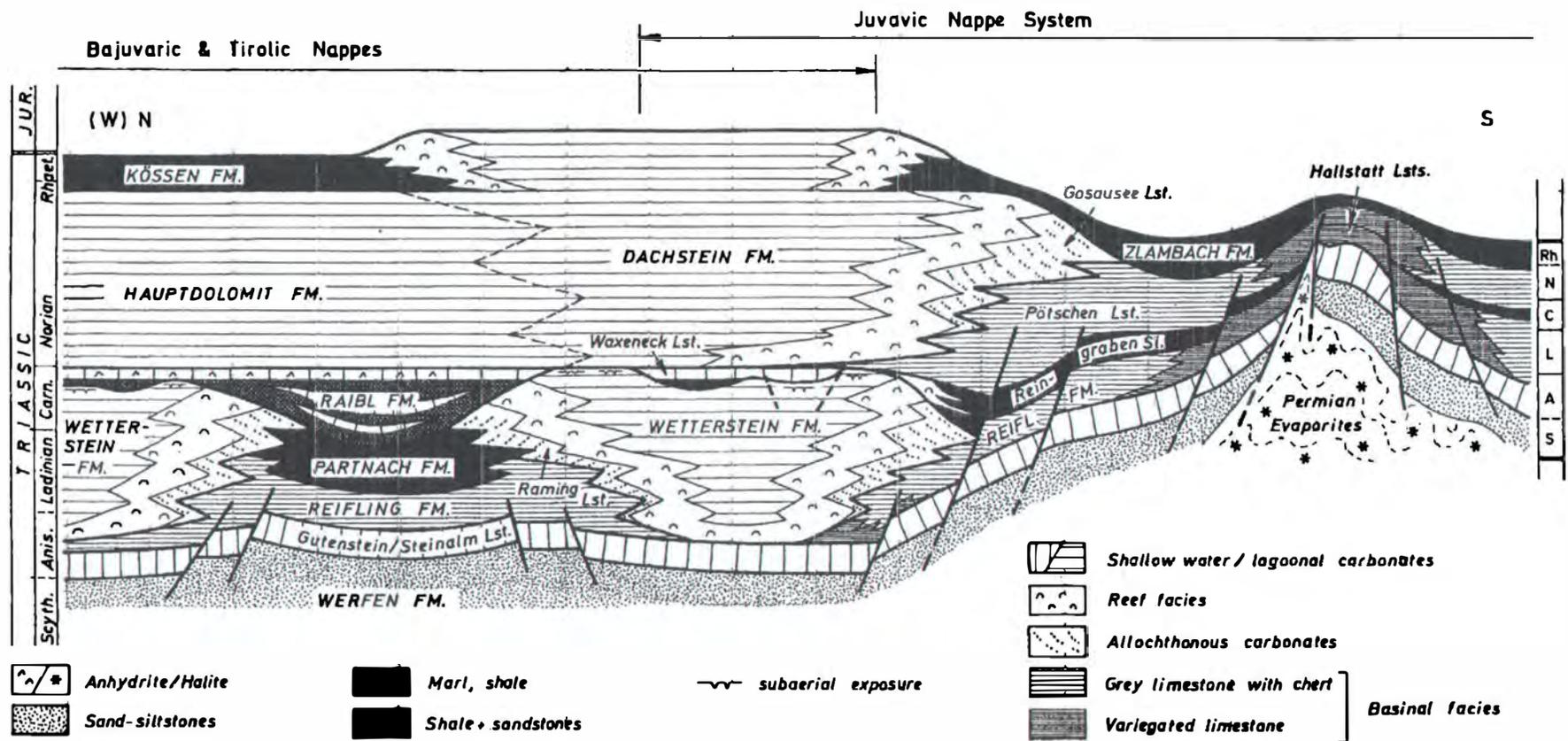
Zitat aus A. TOLLMANN (1985), verändert

# Paläogeographie der Hallstätter Zone



Der alpin-karpathische Abschnitt des triassischen Schelfs der Tethys  
 nach HAAS et al. (1995), modifiziert; aus G. W. MANDL (1999)

# Sedimentation der Hallstätter Zone

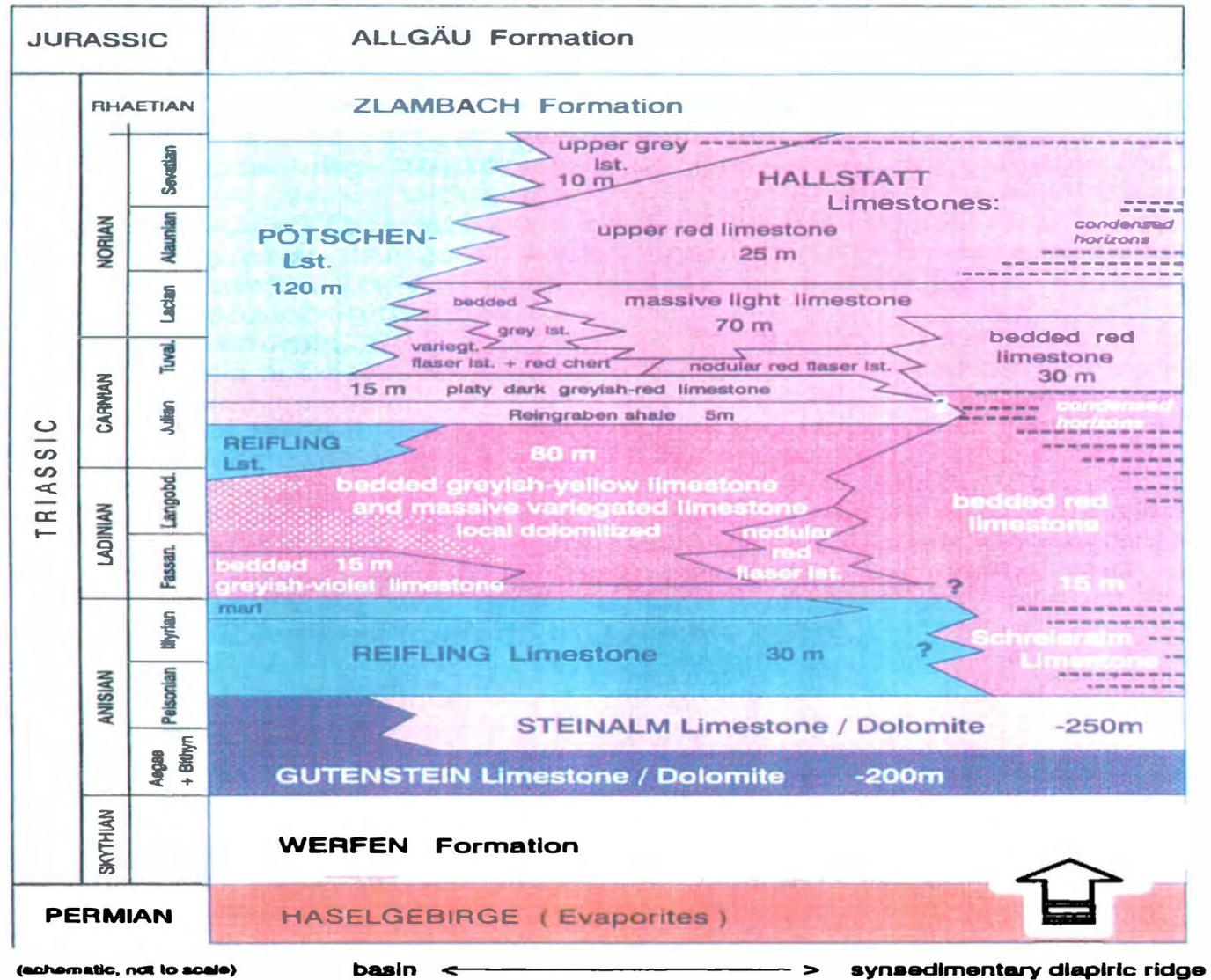


Schematic, not to scale

G.W. MANDL 1994

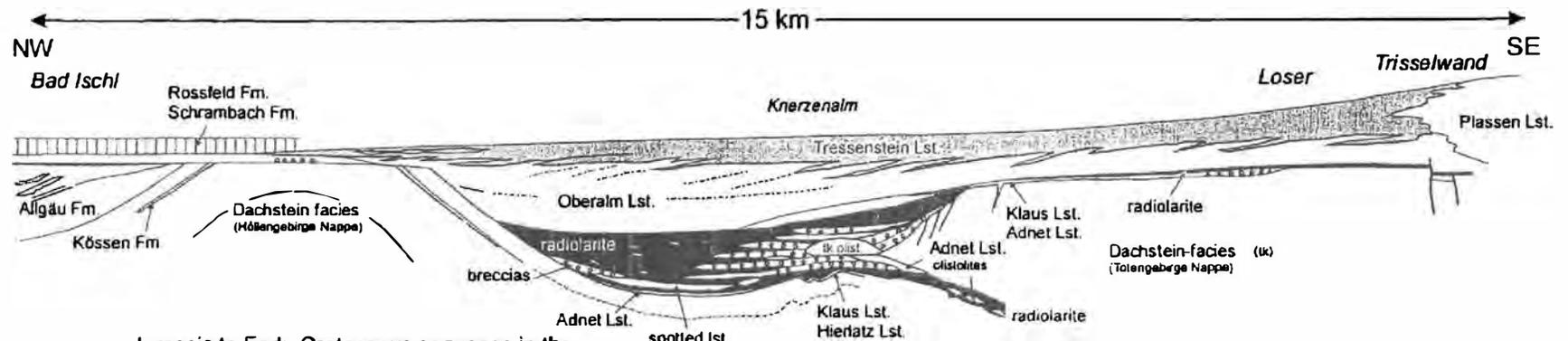
Die triassischen Sedimentationsräume des Mittelabschnittes der Nördlichen Kalkalpen nach G. W. MANDL (1984); aus G. W. MANDL (1999)

# Lithologie der Hallstätter Zone



Nach G. W. MANDL (1984), modifiziert; aus G. W. MANDL (1999)

# Sedimentation in Jura und Kreide im Bereich Ischl-Aussee

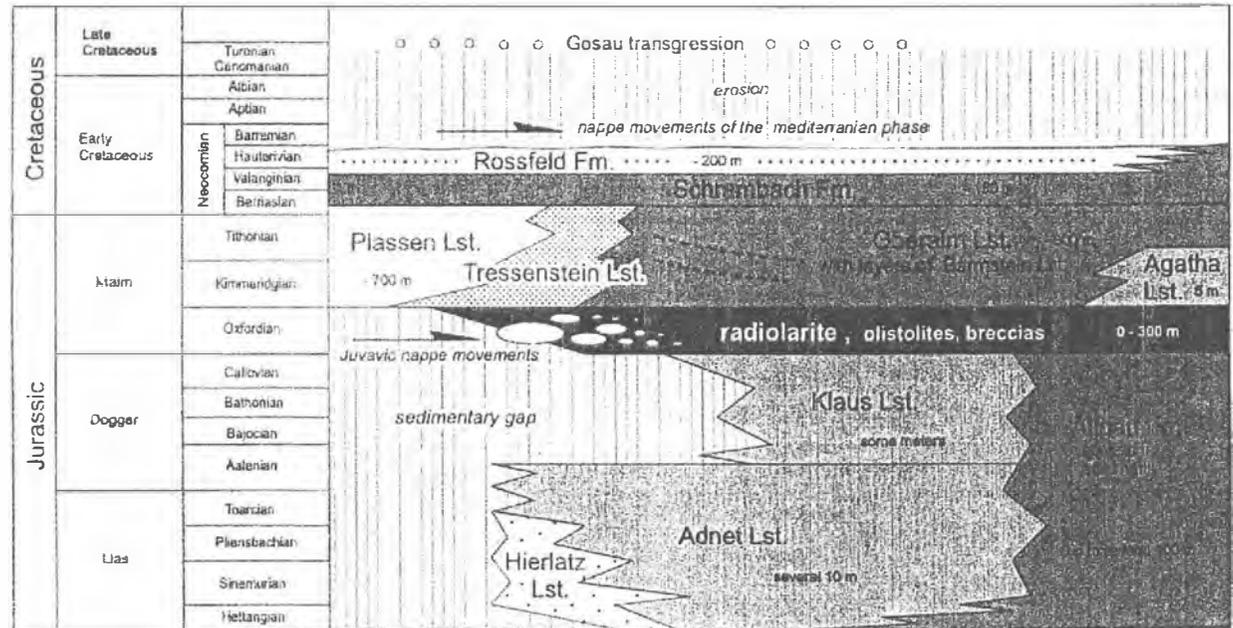


Jurassic to Early Cretaceous sequence in the Salzkammergut region between Bad Ischl and Bad Aussee, according to SCHÄFFER & STEIGER 1986.

### Lithofacies

- siliciclastics
- shallow carbonate platform
- platform debris
- basinal limestone
- radiolarite
- condensed red limestone
- crinoidal limestone

Jurassic to Early Cretaceous stratigraphy of the Salzkammergut Region, after BÖHM 1992, fig.33; modified.

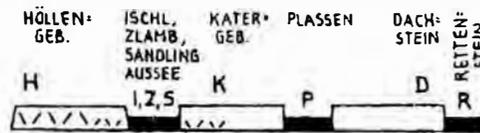


Zitat aus G. W. MANDL (1999)

# paläogeographische und tektonische Modelle für das Salzkammergut

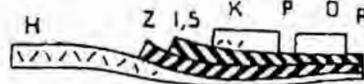
## A) AUTOCHTHONOUS

1. E.V. MOJŠIŠOVIČS 1903, K. LEUCHS 1925, H. ZANKL 1967, W. SCHLAGER 1967



## B) THRUSTED NAPPEs

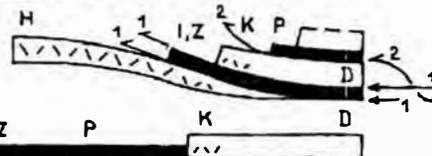
2. E. HAUG 1906, L. KOBER 1912, E. SPENGLER 1912, W. MEDWENITSCH 1949, A. TOLLMANN 1960



3. J. NOWAK 1911, F. HAHN 1913, E. SPENGLER 1914



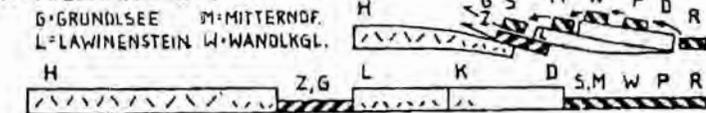
4. R. STAUB 1924



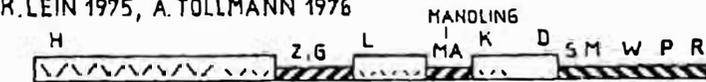
5. F. TRAUTH 1937



6. A. TOLLMANN 1974

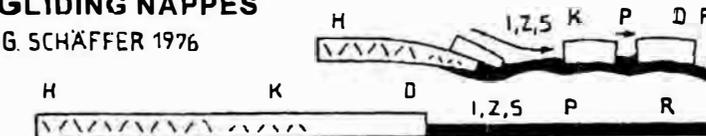


7. R. LEIN 1975, A. TOLLMANN 1976

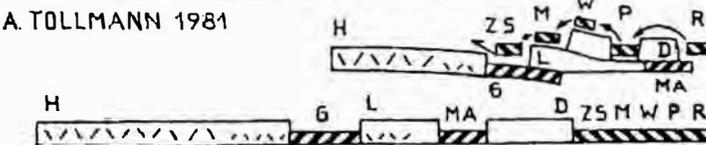


## C) GLIDING NAPPEs

8. G. SCHÄFFER 1976



9. A. TOLLMANN 1981



Schematische Darstellung von verschiedenen Modellen der paläogeographischen und/oder tektonischen Beziehung zwischen triassischen Plattformen und Beckensedimenten im Salzkammergut nach A. TOLLMANN (1981); aus G. W. MANDL (1999)

## Begriffsbestimmungen

Das ostalpine Haselgebirge (Haselgebirge iwS):

Alter österreichischer bergmännischer Ausdruck für ein brekzöses Gemenge aus va. Ton und/oder Tonstein, Gips und/oder Anhydrit und mehr oder weniger Steinsalz; lithologische Einheit an der Basis der Nördlichen Kalkalpen.

Das ostalpine Salinar:

Es umfaßt alle in den Nördlichen Kalkalpen zwischen Innsbruck und Wien auftretenden Vorkommen chloridischer und sulfatischer Salze und die mit Ihnen in genetischem Verband stehenden karbonatischen und pelitischen Sedimente von nicht jüngerem als untertriassischem Alter (nach O. SCHAUBERGER, 1986).

## Semi- & nichtsalinare Bestandteile der ostalpinen Salzgesteine

(nach O. SCHAUBERGER 1986)

### • Semisalinare Bestandteile

- Magnesit  $MgCO_3$
- Breunnerit Fe-hältiger Magnesit
- Talk  $Mg_3[(OH)_2 / Si_4O_{10}]$

### • Nichtsalinare Bestandteile

- Diabas (Melaphyr)
  - im Salzstock von Hallstatt sedimentär im bunten Salztongebirge
  - im Trauntaler Salzlager tektonisch eingeschuppte ehemalige Ozcanbodenbasalte
- nichtsalinare Minerale
  - ged. Schwefel, Realgar, Melnikowit, Pyrit, Markasit, Hämatit, Bleiglanz, Zinkblende, Antimonit, Kupferkies und Kupferglanz

SALINEN AUSTRIA

## Die Salzgesteinstypen des ostalpinen Salinars

(nach O. SCHAUBERGER 1949, 1953, 1955, 1956, 1967, 1986)

- **Steinsalz od. Kernsalz** 90 - 100% NaCl  
kommt zumeist in Zügen vor und weisen zumeist eine Bänderung auf: Bändersalz, Liniensalz
- **Kerngebirge** 70 - 90%  
**NaCl**  
schichtungslöse Steinsalzmassen mit eingestreuten Tonstein- und Anhydritkomponenten
- **Haselgebirge (ieS)** 10 - 70% NaCl  
pseudokonglomeratisches Mischgestein aus Steinsalzmatrix und Komponenten aus v. a. Tonstein
- **Blättersalzgebirge** 10 - 35% NaCl  
Schichtfragmente eines Salztonsteines mit dünnen, weißen Überzügen aus Salz auf Ablöseflächen und mit sekundären Steinsalzfüllungen in Klüften
- **anhydritisches Tonrümmergebirge** 0 - 10% NaCl  
Rissenbrekzie, hervorgegangen aus mächtigen Bänken mit wechsellagernden Anhydrit- und Tonsteinschichten

SALINEN AUSTRIA

## Die Grenzgesteinstypen des ostalpinen Salinars

(zT nach O. SCHAUBERGER 1949)

Die Grenzgesteine des Salinars hüllen die Salzvorkommen ein und schützen sie so vor äußeren Einflüssen, v. a. vor dem Zutritt von Wasser.

- **Grenzgebirge** 0 - 10% NaCl  
salinare Tonsteinbrekzie mit anhydritgefüllten Klüften („Finanzier“) zwischen Salzgebirge und v. a. trockenem Nebengestein; druckentsalztes ehemaliges Salzgebirge
- **Glanzschiefer** 0 - 10%  
**NaCl**  
verschieftes Grenzgebirge mit glänzenden Harmschflächen, zT in feine Schuppen mit glänzender Oberfläche zerlegt
- **Ausgelaugtes** 0 - 10%  
**NaCl**  
aufgeweichtes Salzton sowie gipsige Salztonbrekzie bis massiger Gips, aufgrund einer Laugung durch Grundwasser entsalztes ehemaliges Salzgebirge; es bildet zumeist die erdoberflächennächsten Teile des Salinars

# Die wichtigsten Salzgebirgsarten der ostalpinen Salzgesteine und deren Bestandteile

(zT nach O. SCHAUBERGER 1986)

- **Rotsalzgebirge** ca. 65 % NaCl
    - Stensalz: rötliches Bändersalz, rötlich/graue Salzmatrix des Haselgebirges
    - Begleitsalze: Anhydrit, Polyhalit, Glaubert, Na/Mg-Sulfate (Simonyt)
    - Klastika: schwarzer und roter Salzton, graubrauner Sandstein
  - **Grünes Salztongebirge** ca. 55 % NaCl
    - Stensalz: weißes Liniersalz, weiße Salzmatrix des Haselgebirges
    - Begleitsalze: Muriazit, selten K/Mg/Na-Sulfate
    - Klastika: grüner Salzton, graugrüner Salzsandstein
  - **Buntes Salztongebirge** ca. 60 % NaCl
    - Stensalz: honigbraune Salzmatrix des Haselgebirges und Kerngebirges
    - Begleitsalze: sehr selten Anhydrit und Polyhalit
    - Klastika: schwarzer, grüner, grauer, bunter Salzton, sehr selten Salzsandstein
  - **Grausalzgebirge** ca. 70 % bzw. 55 % NaCl  
(toniges und anhydritisches)
    - Stensalz: grauweißes Kessalz, grau-weiße Salzmatrix des Blättersalzgebirges
    - Begleitsalze: Anhydrit, Kiesel-anhydrit, Dalomitanhydrit
    - Klastika: grauer Salzton
- 

## Die ostalpinen Salzgesteine

Bilddokumentation: rgws-ky=, (au)

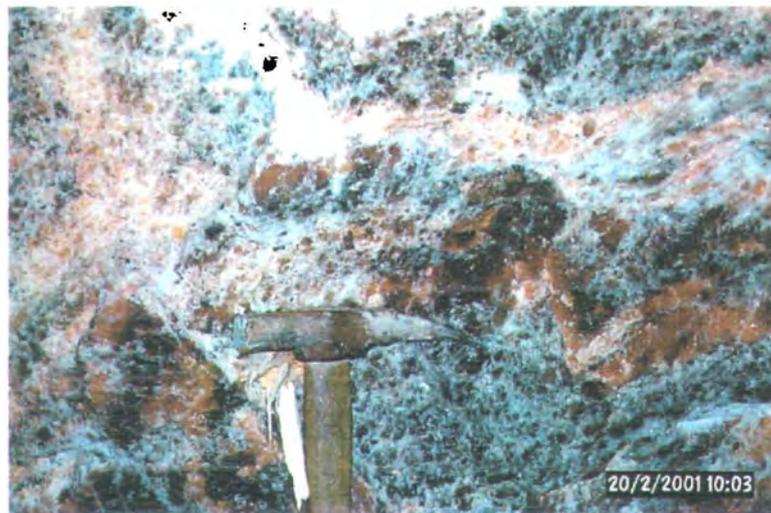


Foto: L. WEBER

# Die ostalpinen Salzgesteine

Bilddokumentation: mts/(h) -+/-

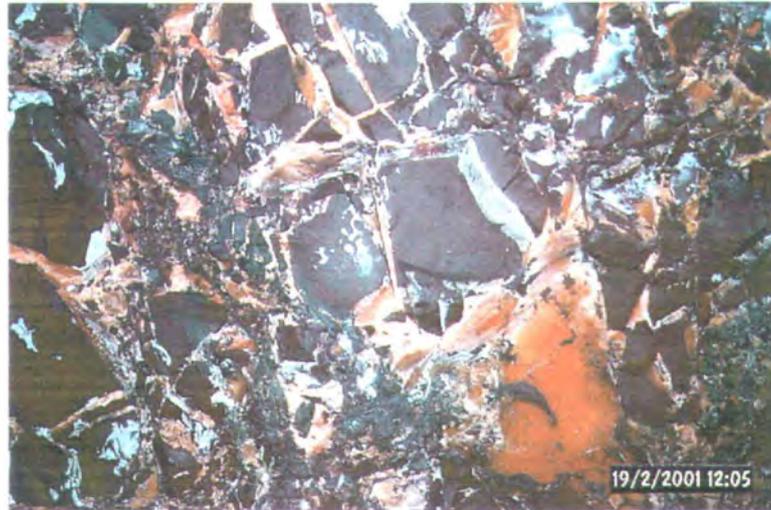


Foto: L. WEBER

# Die ostalpinen Salzgesteine

Bilddokumentation: grts -

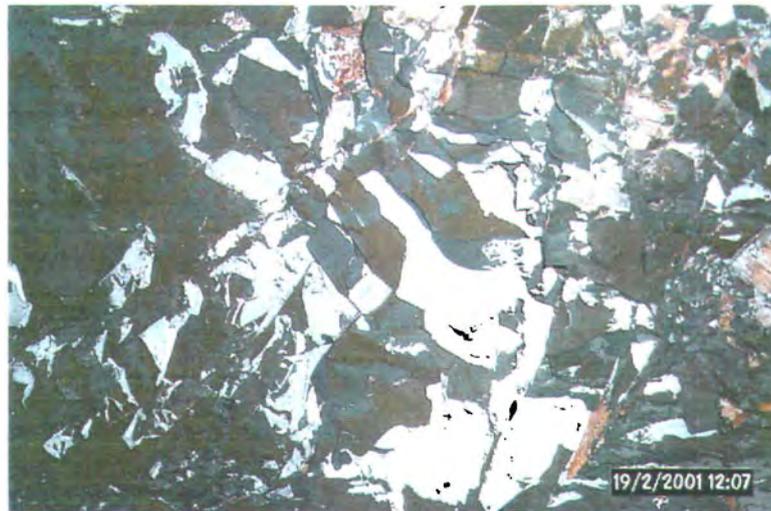


Foto: L. WEBER



# Die ostalpinen Salzgrenzgesteine

Bilddokumentation: wmgf, MK



Foto: L. WEBER

---

## Das Alter der Sedimentation der ostalpinen Salzgesteine

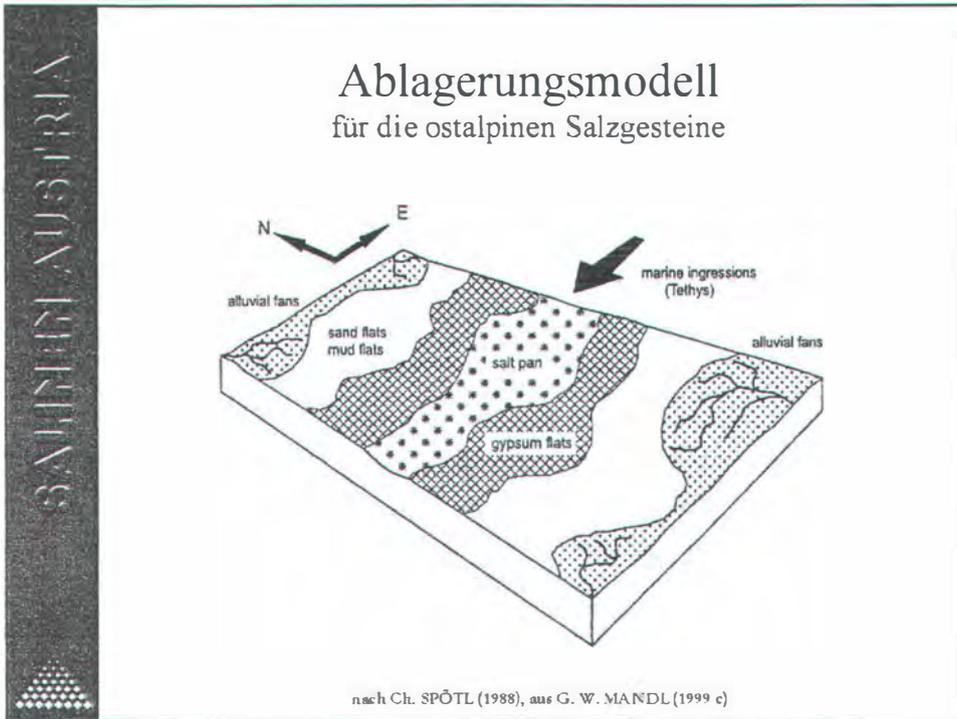
(nach W. KLAUS, 1953, 1974, E. PAK, 1974, 1978, 1982 sowie E. PAK und O. SCHAUBERGER, 1981)

Aufgrund von Schwefelisotopenanalysen und palynologischen Untersuchungen werden die Salzgebirgsarten altersmäßig wie folgt eingestuft:

- Rotsalzgebirge: Oberperm
- Grünes Salztongebirge: Permoskyth
- Buntes Salztongebirge: Mittel- bis Oberskyth
- Grausalzgebirge: Oberskyth/Anis-Basis

In der geologischen Literatur (zB. CH. SPÖTL 1988, 1989) wird auch festgehalten, daß das chloridische Haselgebirge der Nördlichen Kalkalpen aus folgenden zwei Salzhorizonten besteht:

- einem oberpermischen Horizont und
- einem oberskythisch-unteranischem Horizont



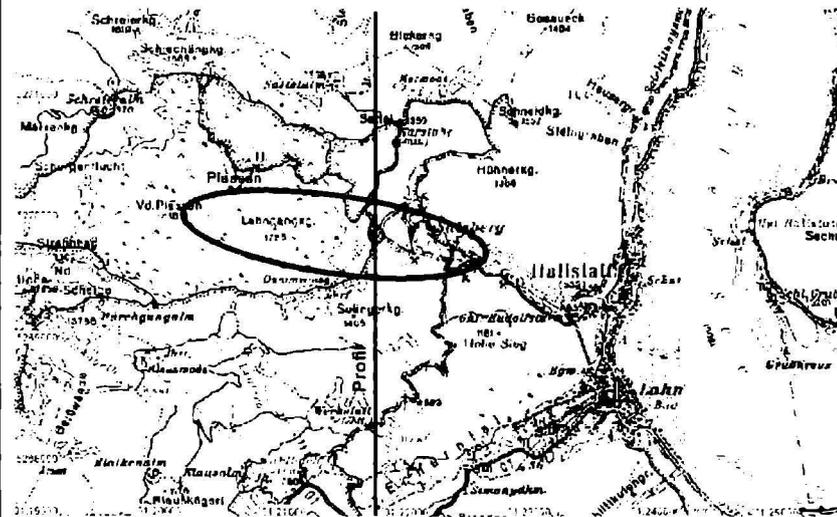
## Die Hallstätter Salzlagerstätte

ausgewählte Daten

Höchster und tiefster Stollen über NN	
höchster:	1.219 m
tiefster:	512 m
Höchste Überlagerung eines Grubengebäudes (ca.):	1.000 m
Mittlere Ausdehnung der Lagerstätte	
mittlere Länge (E-W):	2.100 m
mittlere Breite (N-S):	670 m
Flächeninhalt des größten Betriebshorizontes:	900.000 m <sup>2</sup>
Tiefster Salzgebirgsaufschluß über NN (B-HTNU391):	404 m
(Seespiegel des Hallstätter Sees: ca. 508 m über NN)	
Betriebszeit:	ca. 1200 v. Chr. bis heute
Vorwiegende Gebirgsarten:	buntes Salztongebirge Rotsalzgebirge Grüntongebirge Grausalzgebirge (tonig, ardydnisch, stinkdolomitisch)

## Die Hallstätter Salzlagerstätte

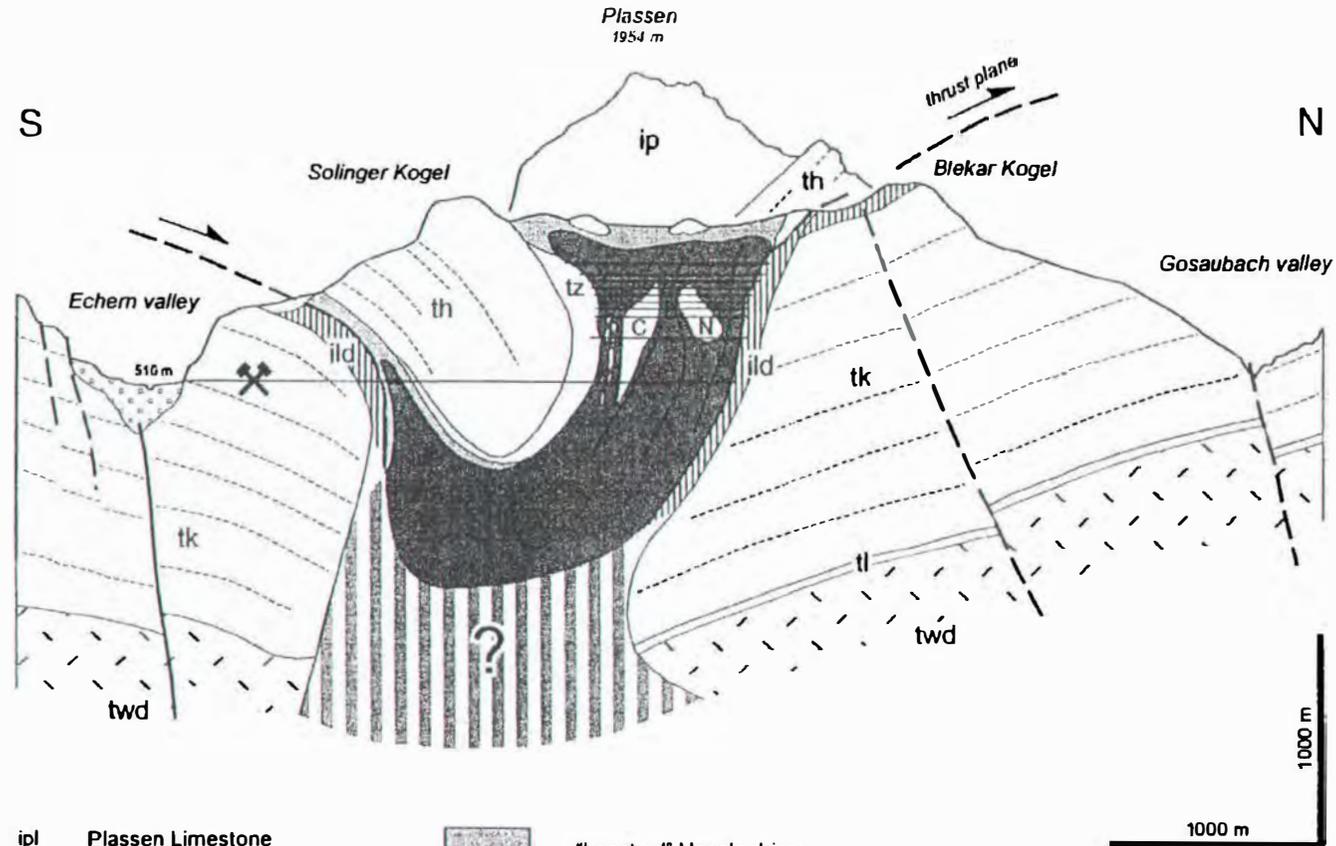
geographische Lage



Kartengrundlage: © BEV - 2003. Vervielfältigt mit Genehmigung des BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien, ZL EB 2003 / 00304

# Die Hallstätter Salzlagerstätte

geologisches Profil

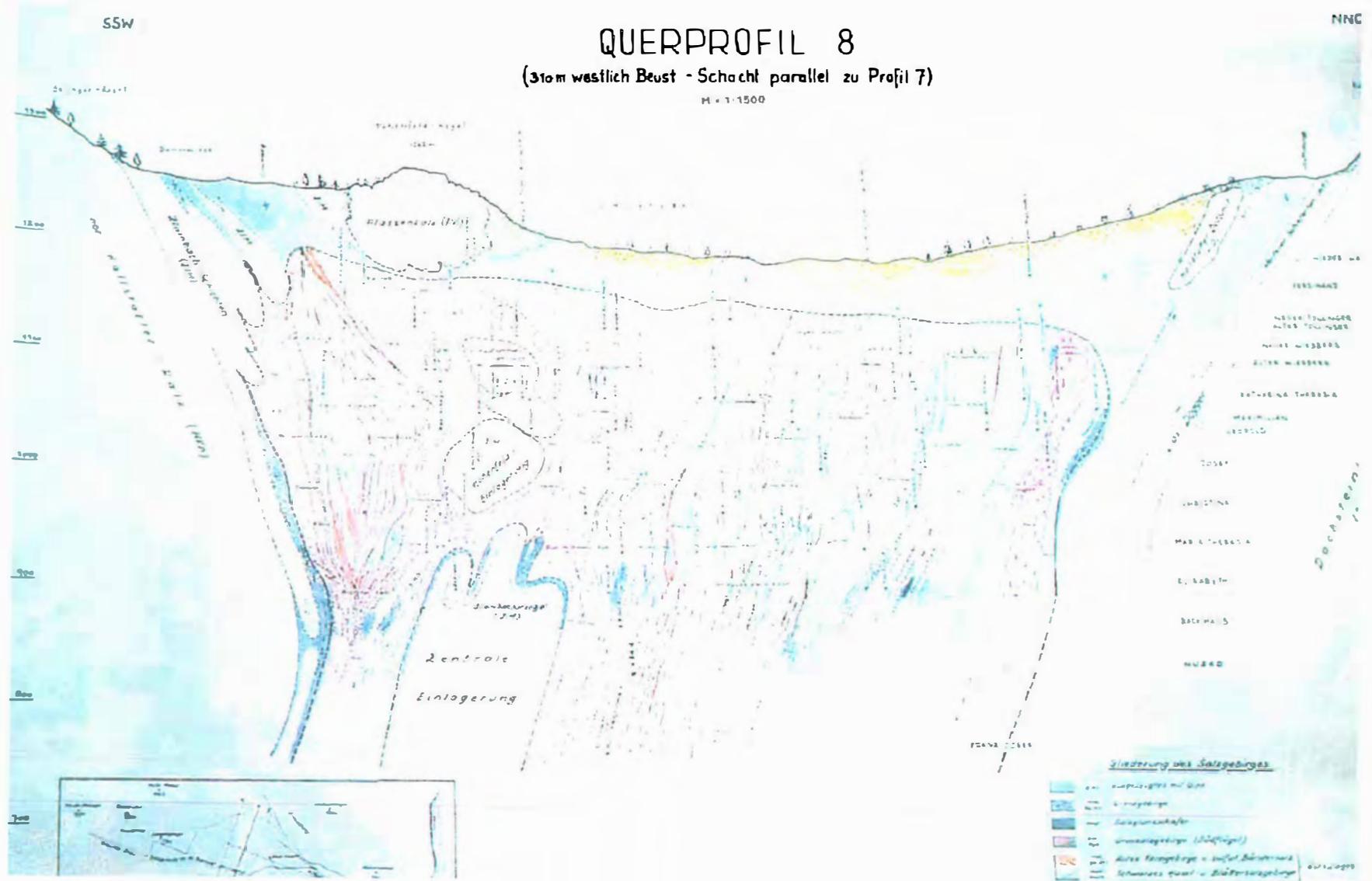


- |     |   |   |  |
|-----|---|---|--|
| ipl | Plassen Limestone   |   | "Leached" Haselgebirge   |
| ild | Lower- & Mid-Jurassic rocks and<br>Oxfordian syntectonic megabreccias |   | Salt rock (Haselgebirge)   |
| tz  | Zlambach Formation  |   | Salt rock, questionable continuation toward<br>depth in the case of a window structure |
| th  | Hallstatt Limestone   | C | "Central Inclusion" ( th, tz )   |
| tk  | Dachstein Limestone   | N | "Northern Inclusion" ( Permian clastics )  |
| tl  | Raibl Group   |   |  |
| twd | Wetterstein Dolomite  |   |  |

nach O. SCHAUBERGER (1955); aus G. W. MANDL (1999 c), verändert

# Die Hallstätter Salzlagerstätte

geologisches Detailprofil



Gez.: SALZBERGBAU HALLSTATT; Foto: L. WEBER



Die Altausseer Salzlagerstätte	
ausgewählte Daten	
Höchster und tiefster Stollen über NN	
höchster:	1.150 m
tiefster:	738 m
Höchste Überlagerung eines Grubengebäudes (ca.):	680 m
Mittlere Ausdehnung der Lagerstätte	
mittlere Länge (SE-NW):	1.450 m
mittlere Breite (NE-SW):	800 m
Flächeninhalt des größten Betriebshorizontes:	1.050.000 m <sup>2</sup>
Tiefster Haselgebirgsaufschluß über NN (B-AASC241):	255 m
(Seespiegel des Altausseer Sees: ca. 712 m über NN)	
Betriebszeit:	ca. 800 bis heute
Vorwiegende Gebirgsarten:	Rotsalzgebirge rot-grünes Übergangsgebirge Grausalzgebirge



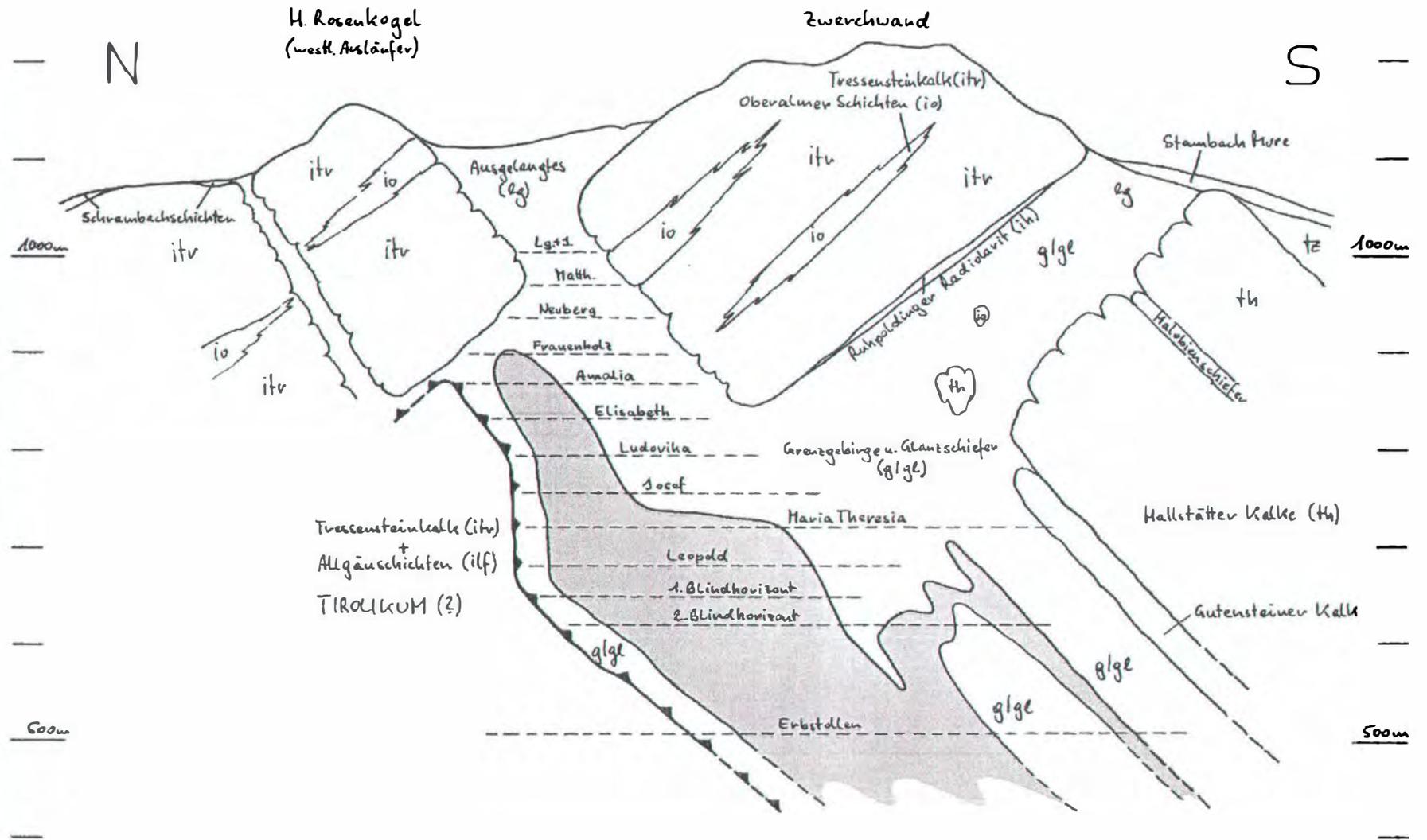


<b>Die Bad Ischler Salzlagerstätte</b>	
ausgewählte Daten	
<b>Höchster und tiefster Stollen über NN</b>	
höchster:	1.003 m
tiefster:	503 m
<b>Höchste Überlagerung eines Grubengebäudes (ca.):</b>	7 10 m
<b>Mittlere Ausdehnung der Lagerstätte</b>	
mittlere Länge (E-W):	1. 100 m
mittlere Breite (N-S):	670 m
<b>Flächenninhalt des größten Betriebshorizontes:</b>	240.000 m <sup>2</sup>
<b>Tiefster Haselgebirgsaufschluß über NN (SUB 03/II):</b>	327 m
(Spiegel der Traun beim Erbstollen: ca. 475 m)	
<b>Betriebszeit:</b>	1563 bis heute
<b>Vorwiegende Gebirgsarten:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rotsalzgebirge</li> <li>rot-grünes Übergangsgebirge</li> <li>buntes Salztongebirge</li> <li>Grüntongebirge</li> <li>anhydritisches Grausalzgebirge</li> </ul>



# Die Bad Ischler Salzlagerstätte

geologisches Profil



Gez.: M. MAYR (2001)



## Das Trauntaler Salzlager

ausgewählte Daten

Höchster Bohransatzpunkt über NN (TN 1):	540 m
Tiefste Bohlochssole über NN (BI 1):	-766 m
Mittlere Ausdehnung der Lagerstätte	
mittlere Länge (N-S):	3.000 m
mittlere Breite (N-S):	1.500 m
Höchster und tiefster Haselgebirgsaufschluß über NN	
höchster in einer Bohrung(E 1):	238 m
höchster im Vorhauptlager Bad Ischl:	505 m
tiefster (BI 14):	-243 m

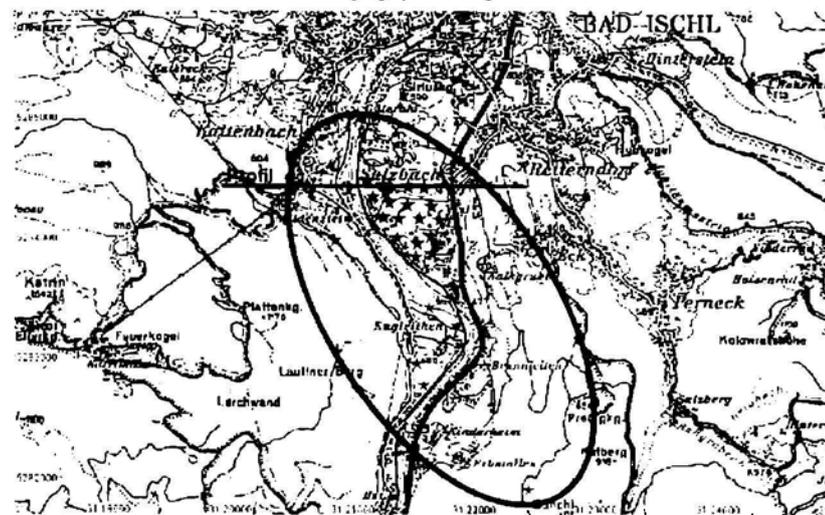
(Spiegel der Traun beim Sondenfeld: ca. 470 m)

Betriebszeit: 1967 bis heute

Vorwiegende Gebirgsarten: anhydritisches Grausalzgebirge  
buntes Salztongebirge  
grünes Salztongebirge  
Rotsalzgebirge

## Das Trauntaler Salzlager

geographische Lage



Kartengrundlage: © BEV - 2003. Vervielfältigt mit Genehmigung des BEV - Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, Zl. EB 2003 / 00304

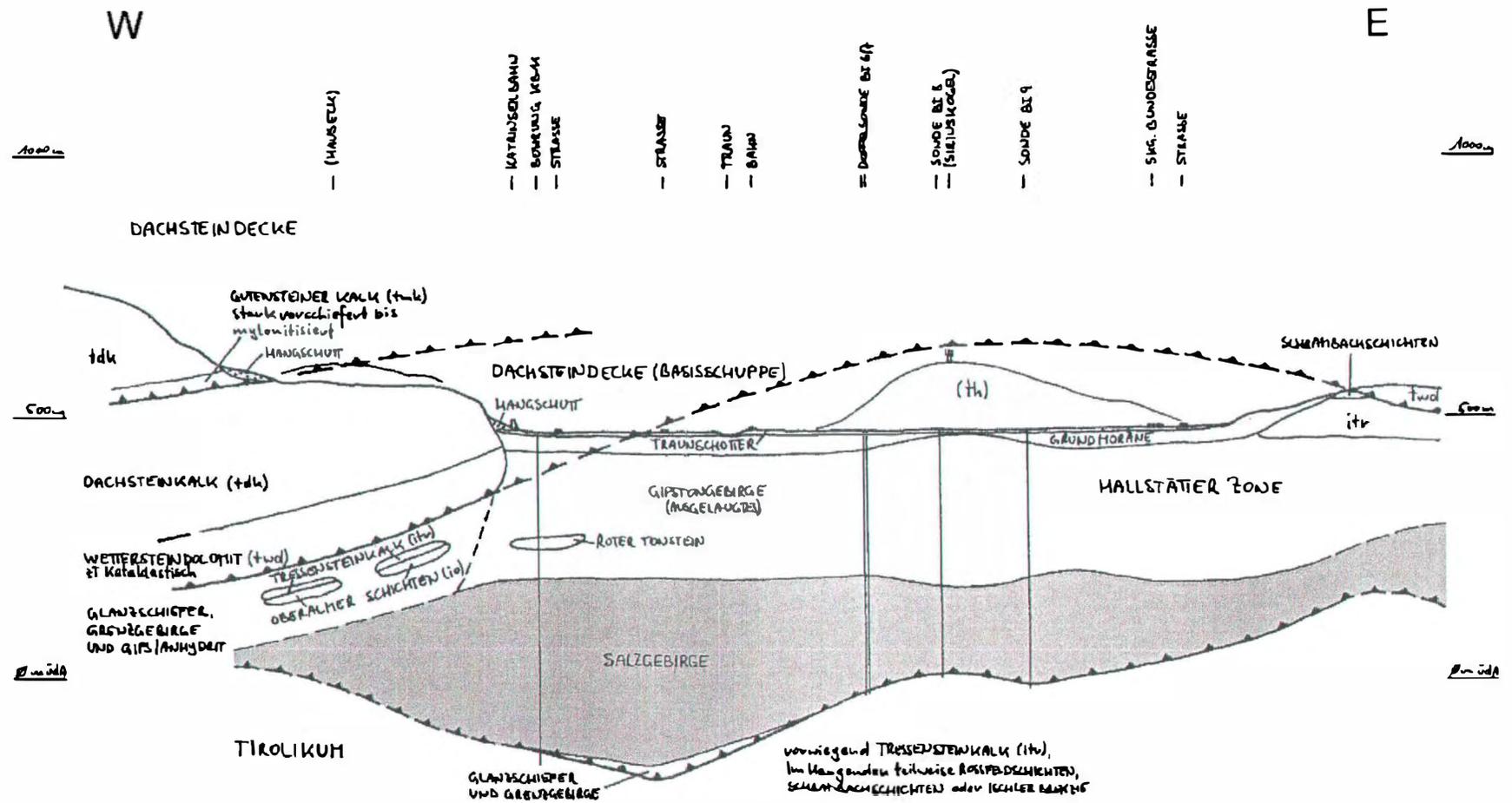
★ Sondenbohrungen

✧ Untersuchungsbohrungen

1 km

# Das Trauntaler Salzlager

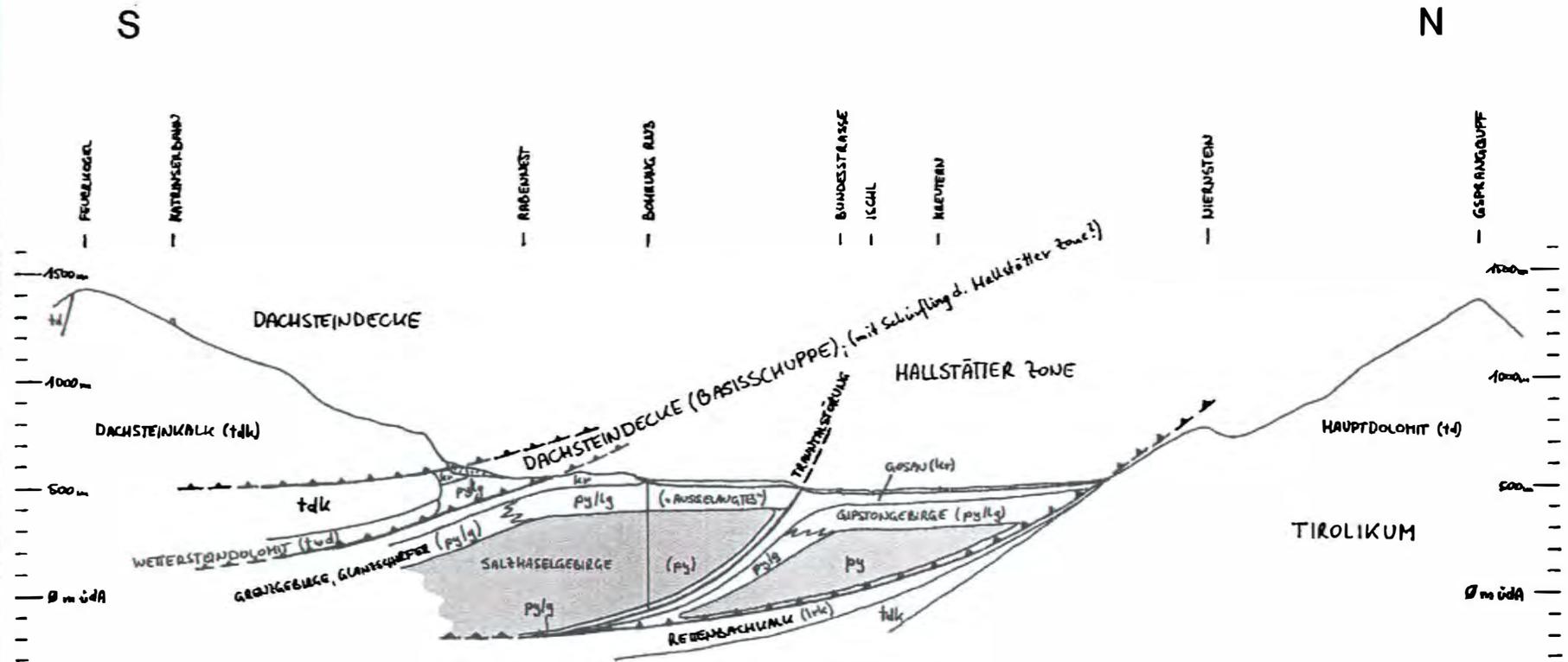
## geologisches Profil



Gez.: M. MAYR (1998)

# Das Ischltaler Salzlager Ostfeld

geologisches Profil



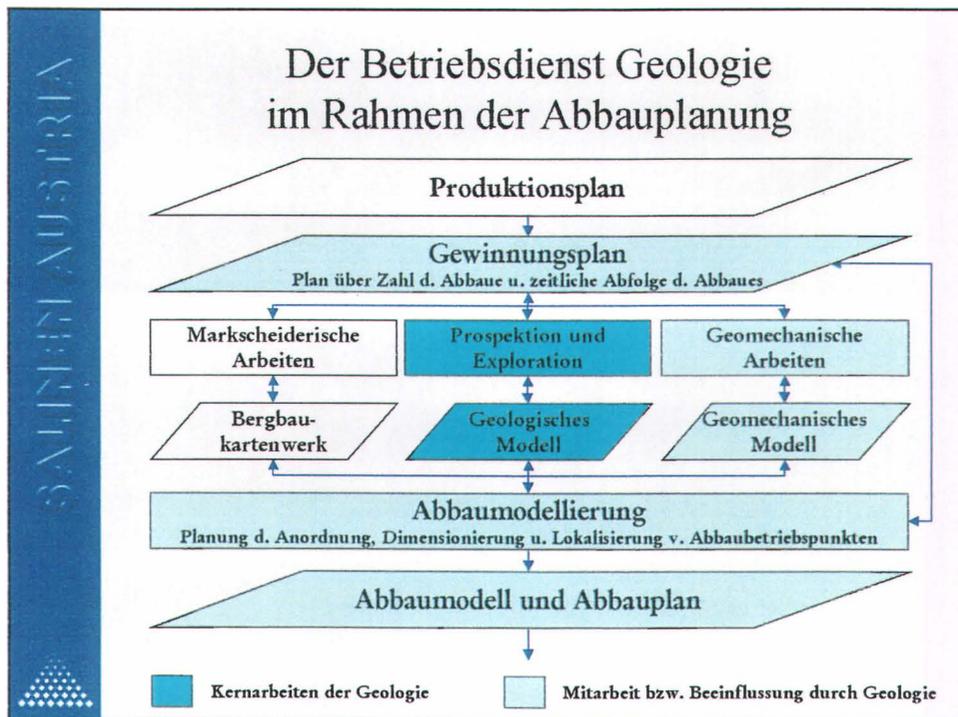
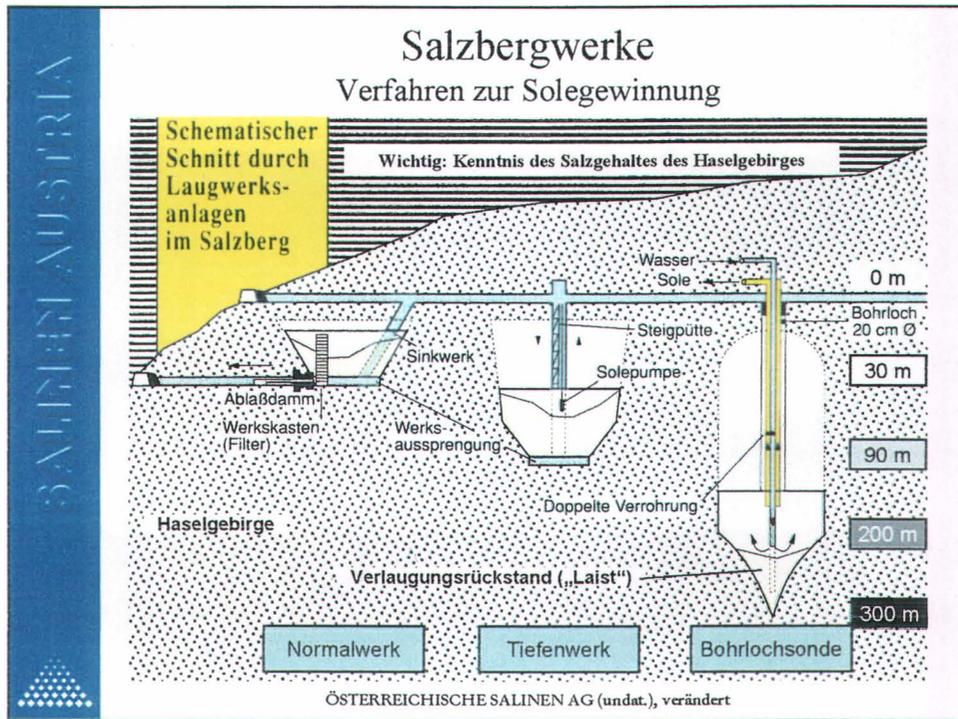
Gez.: M. MAYR (1998)

Das Ischltaler Salzlager Ostfeld	
ausgewählte Daten	
Höchster Bohransatzpunkt über NN (RN 1):	555 m
Tiefste Bohlochosole über NN (RN 3):	-64 m
Mittlere Ausdehnung der Lagerstätte im Ostfeld	
mittlere Länge (E-W):	3.000 m
mittlere Breite (N-S):	1.300 m
Höchster und tiefster Haselgebirgsaufschluß über NN	
höchster (RN 3):	386 m
tiefster (RN 3):	-39 m
(Spiegel der Ischl nächst RN 3: ca. 480 m)	
Betriebszeit:	noch keine
Vorwiegende Gebirgsarten (RN 3):	grünes Salztongebirge grün-buntes Übergangsgebirge anhydritisches Grausalzgebirge



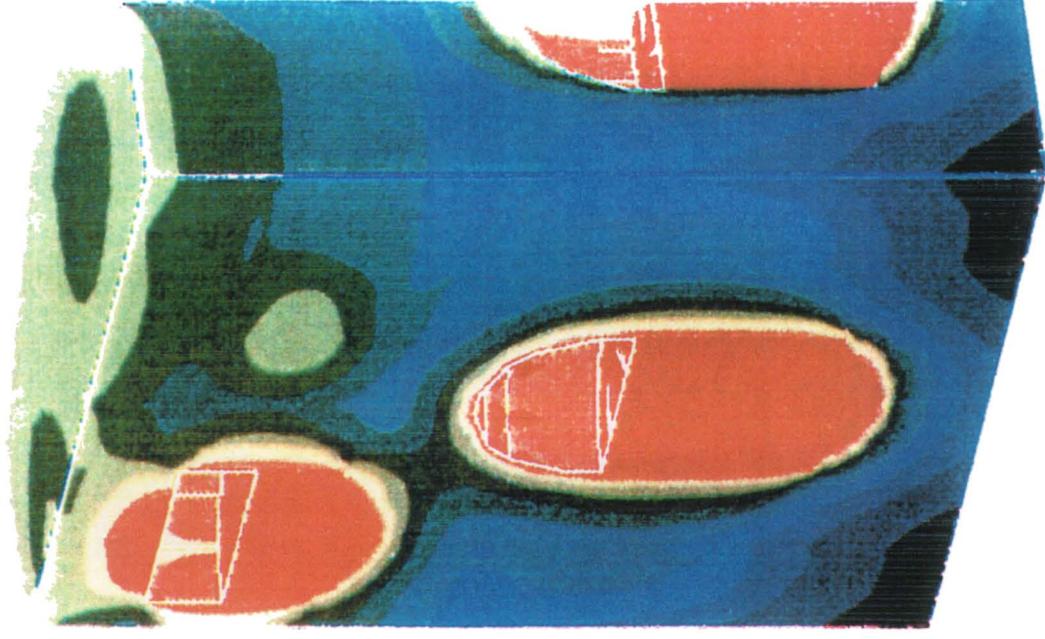
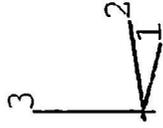
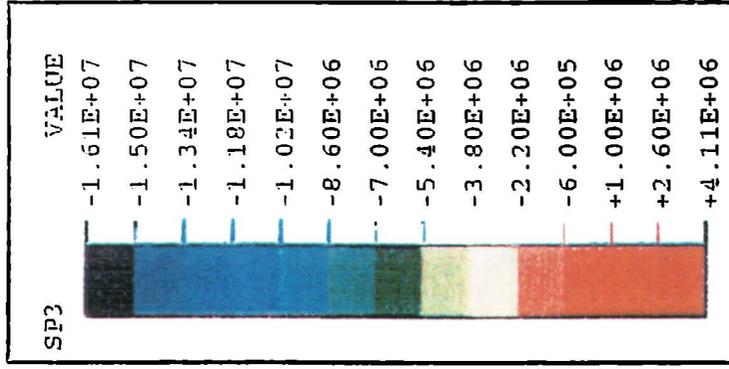


SALZBURG AUSTRIA





# Das Geomechanische Modell ist eine Grundlage der Abbauplanung



## Salzbergbau ALTAUSSEE

Parameterstudie / Schwebe 30m

3. Hauptnormalspannung

Schwebendimensionierung

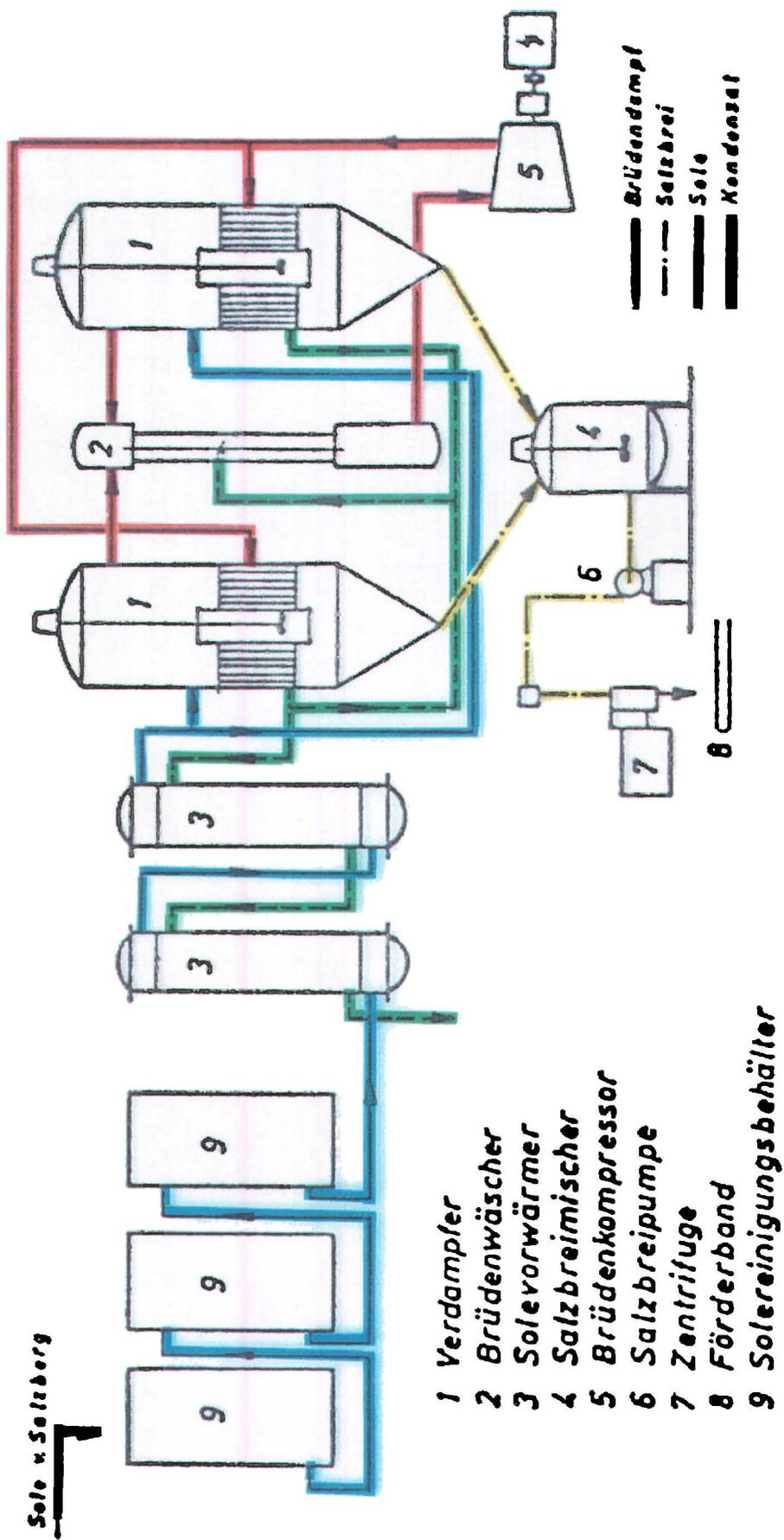
3-dimensional

Zitat aus J. GOLSER & GALLER (1998)



# Saline Ebensee

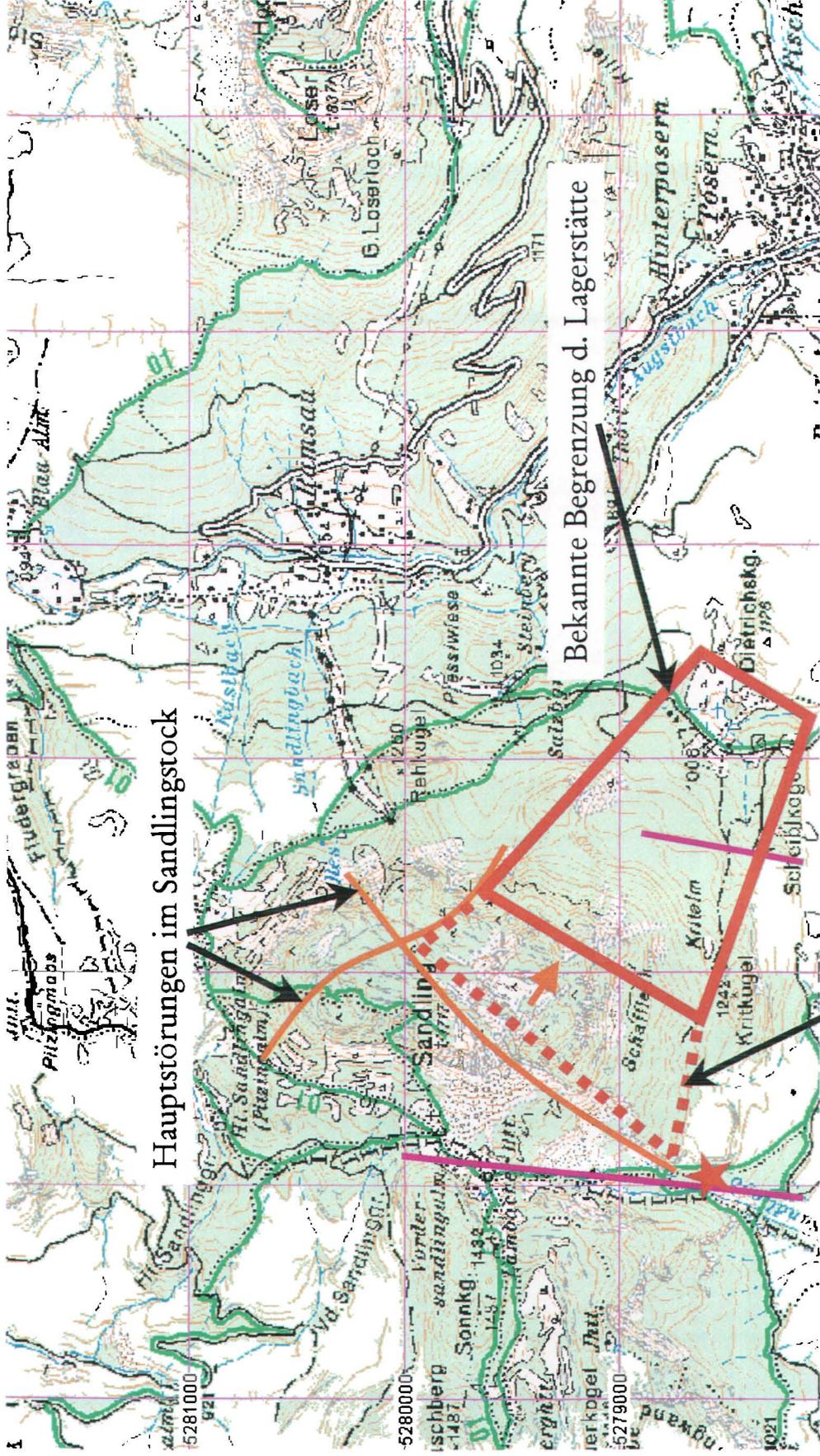
Soleeindampfung mittels Thermokompressionsverfahren



Nach K. THOMANEK (1988), verändert

# Die Altausseer Salzlagerstätte

## Erkundung von Obertage

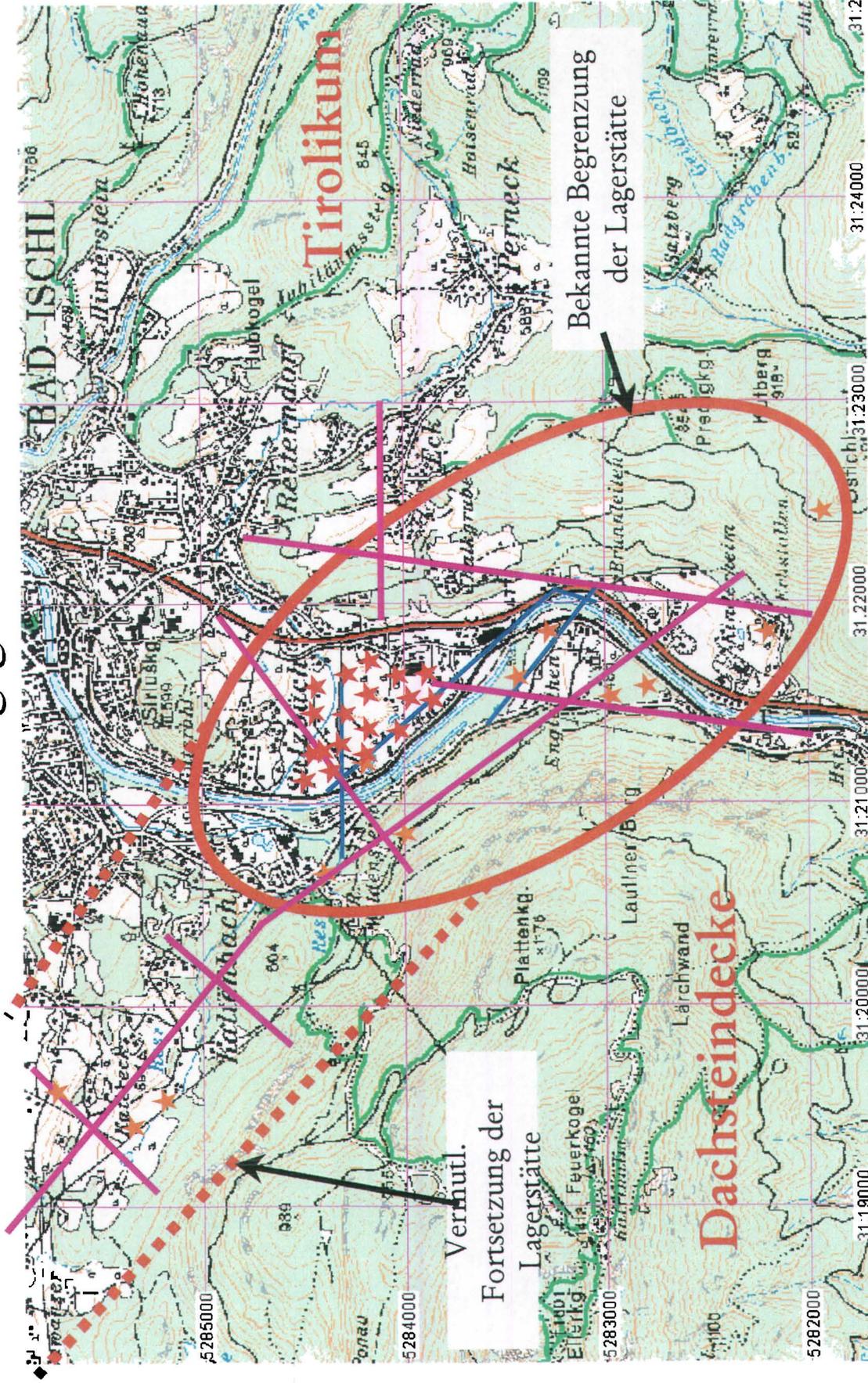


-  Bewegungsrichtung d. süd. Quadranten d. Sandlingstockes (Interpret. d. Ergebnisse v. ABELE et al. 1999)
-  ehemaliger Salzbergbau Michlhallbach / gravimetrische Messprofile



# Das Trauntaler Salzlager

## Erkundungsgeschichte



Kartengrundlage: © BEV - 2003. Vervielfältigt mit Genehmigung des BEV - Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, Zl. EB 2003 / 00304

- ★ Sondenbohrungen (ab 1965)
- ★ Vervielfältigt mit Genehmigung des BEV - Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, Zl. EB 2003 / 00304
- /— Profilinien der Vibroseismik 1965
- /— Untersuchungsbohrungen (ab 1917)
- /— Profilinien der Schusseismik 1994



# Das Ischltaler Salzlager

Prospektion, Arbeitsgebiet für Gravimetrie



Gez.: R. ARNDT, M. MAYR

Kartengrundlage: © BEV - 2003. Vervielfältigt mit Genehmigung des BEV - Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, Zl. EB 2003 / 00304

-  Bohrung Rabennest 3 (RN 3)
-  Salzhaltige Wasseraustritte
-  Bohrung Rabennest 1 & 2
-  Sondensfeld Sulzbach (BI 1)
-  Profillinien der Seismik 1994



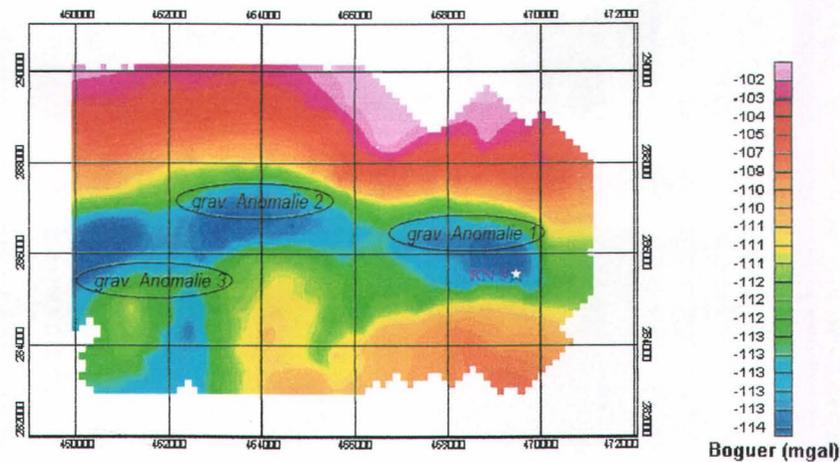
## Das ostapine Haselgebirge für geophysikalische Prospektion wichtige geophysikalische Eigenschaften

Geophysikalische Unterscheidung des Haselgebirges  
von Nebengesteinen:

- Haselgebirge hat geringe Dichte - und
  - hohe seismische Wellengeschwindigkeiten
- daher:
- Feststellung der Dichteverteilung (Schwere):  
Gravimetrie (rasch, billig, flächig)
  - Feststellung der Wellengeschwindigkeiten:  
Seismik (langwieriger, teuer, linear ... wenn flächig: sehr teuer)

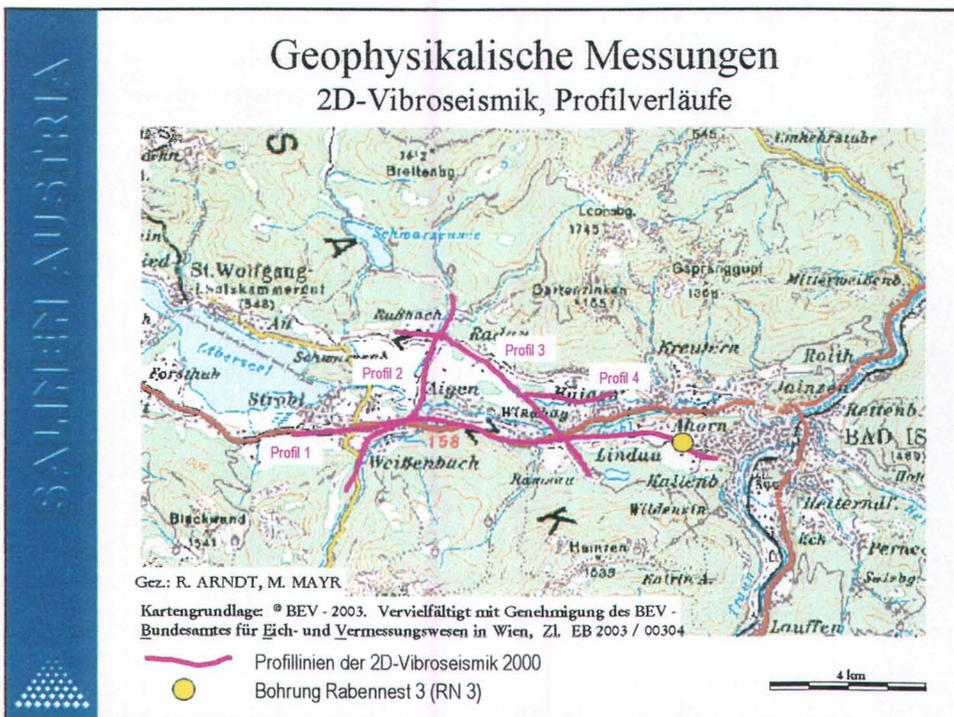
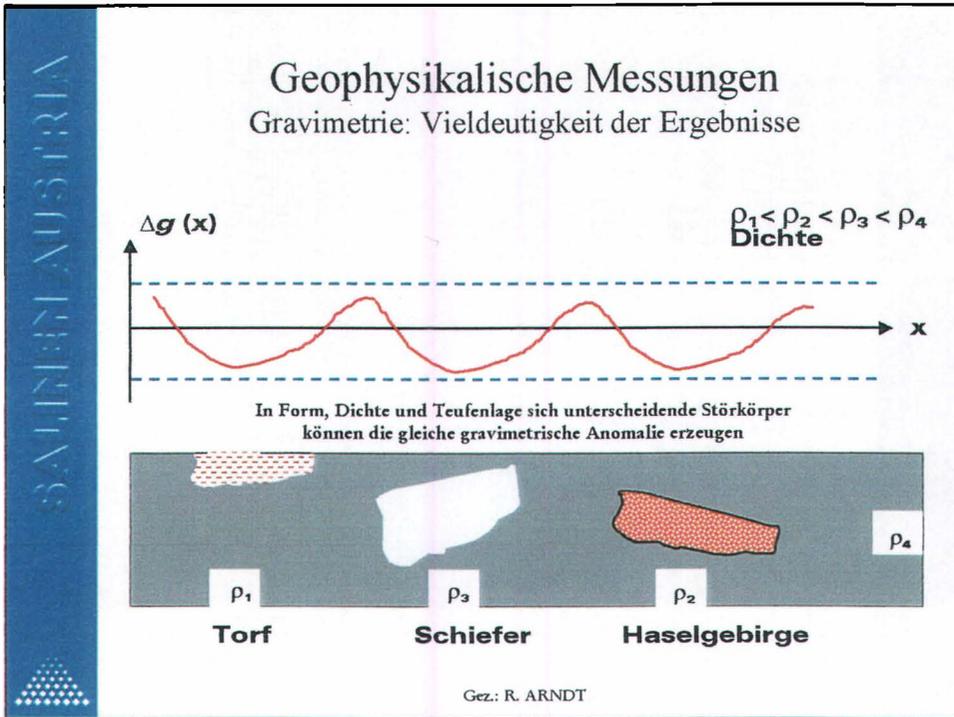


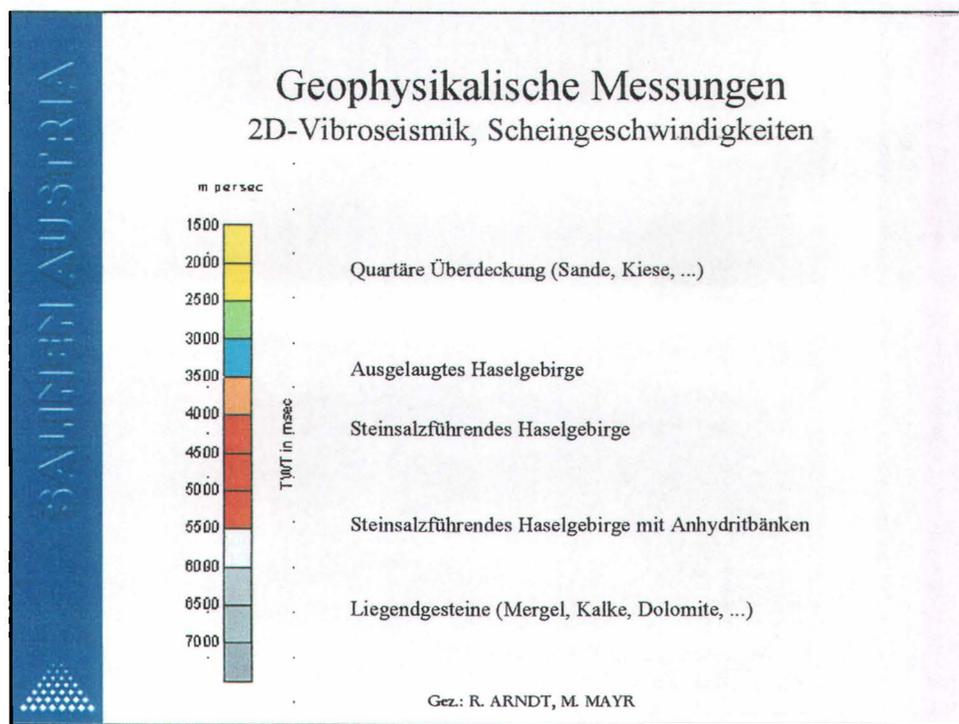
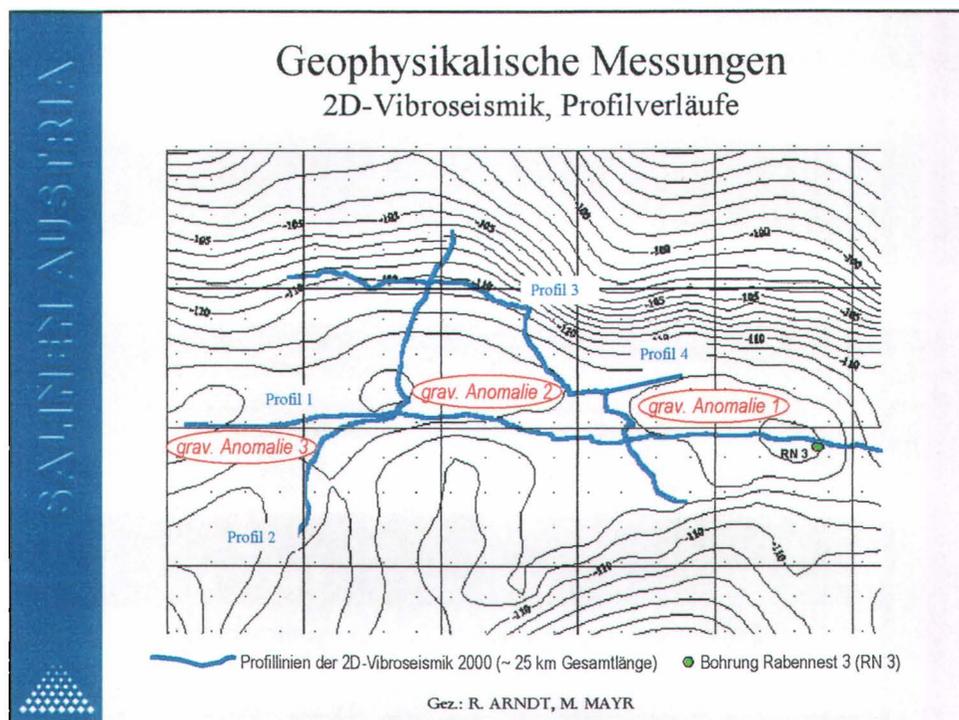
## Geophysikalische Messungen Gravimetrie

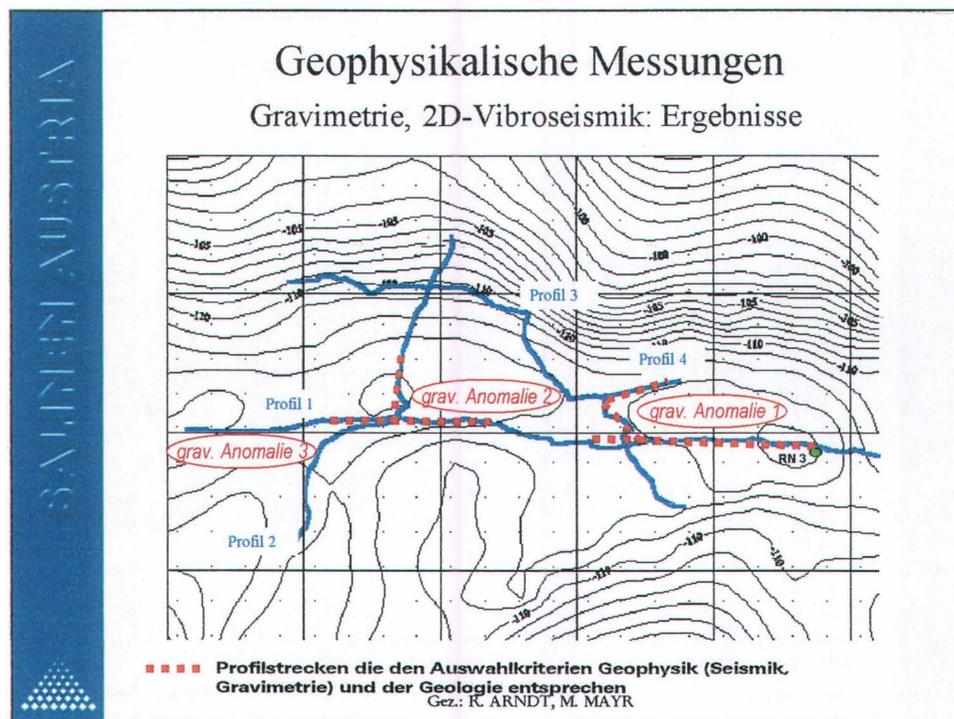
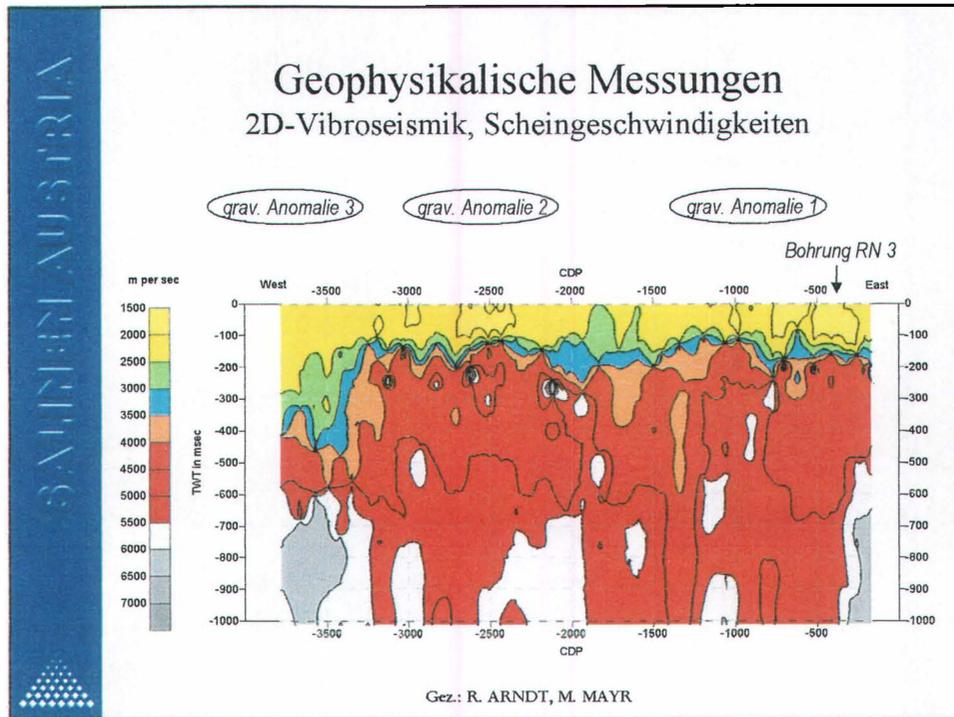


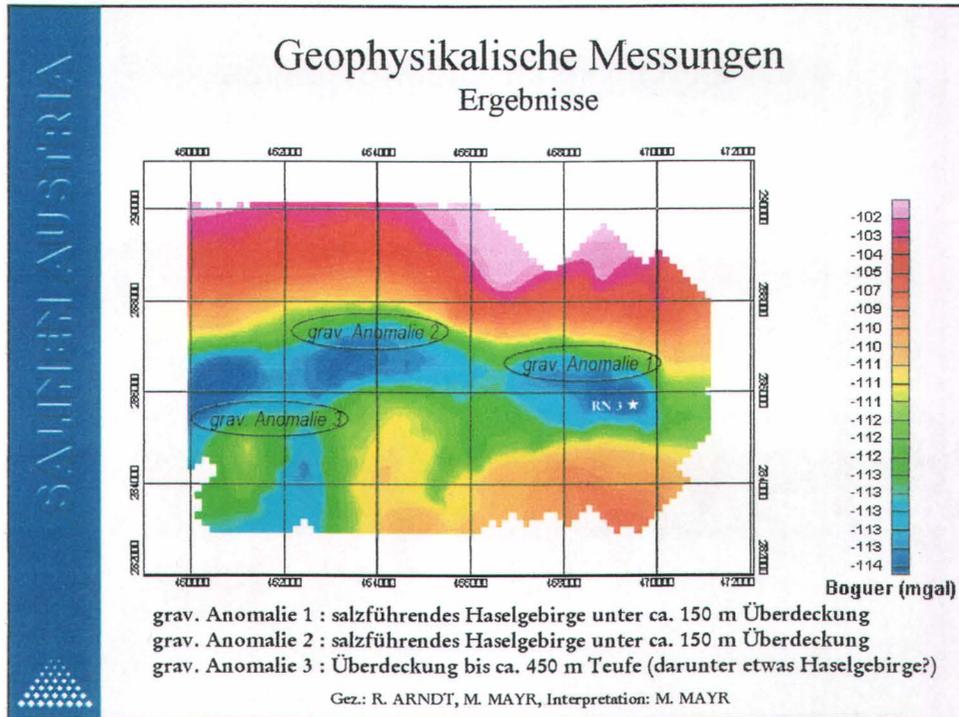
Durchführung Gravimetrie: JOANNEUM RESEACH und UNIVERSITÄT WIEN  
Gez: R. ARNDT, M. MAYR











## Literatur und Unterlagen

- BEV, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien: Austrian Map, Version 1.0, 1999. © BEV – 2003. Vervielfältigt mit Genehmigung des BEV – Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, Zl. EB 2003/00304
- Gawlick, H.-J., unter Mitwirk. v. V. Diersche: Die Radiolaritbecken in den Nördlichen Kalkalpen (hoher Mittel-Jura, Ober-Jura); in: Sediment 2000, Exkursionsführer; Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., Bd. 44, Wien, 2000
- Golser, J & Galler, R.: Gebirgsmechanisches Dimensionierungsmodell, Teilprojekt 2: Pfeiler- und Schwebendimensionierung im Scheibenhorizont des Salzbergbaues Altaussee, Endbericht; unveröff. Gutachten des Institutes für Geomechanik, Tunnelbau und konstruktiven Tiefbau der Montanuniversität Leoben, Leoben, 1998
- Haas, J., Kovacs, S., Krystin, L. & Lein, R.: Significance of Late Permian – Triassic facies zones in terrane reconstruction in the Alpine – North Pannonian domain; Tectonophysics, 242, 1995
- Herold Business Data AG / Geospace Beckel Satellitenbilddaten GmbH: Österreich aus dem All; 1998
- Klaus, W.: Mikrosporen-Stratigraphie der ostalpinen Salzberge; Verh. Geol. B.-A., Wien, 1953
- Klaus, W.: Über die Sporendiagnose des deutschen Zechsteinsalzes und des alpinen Salzgebirges; Z. deutsch. geol. Ges., 105/4 (1953), Hannover, 1955
- Klaus, W.: Sporen aus dem südalpinen Perm, Vergleichsstudie für die Gliederung nordalpiner Salzserien; Jahrb. Geol. B.-A., 106, Wien, 1963
- Klaus, W.: Neue Beiträge zur Datierung von Evaporiten des Oberperm; Carinthia II, 164/89. Jg., Klagenfurt, 1974
- Lotze, F.: Steinsalz und Kalisalze, Geologie; Verlag Gebr. Bornträger, Berlin, 1938
- Mandl, G. W.: Vergleichende Untersuchung der Hallstätter Faziesräume des mittleren Salzkammergutes; unveröff. Diss. Form.- u. naturw. Fak. Univ. Wien, Wien, 1982
- Mandl, G. W.: Zur Trias des Hallstätter Faziesraumes – ein Modell am Beispiel Salzkammergut (Nördliche Kalkalpen, Österreich); Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., Bd. 30/31, Wien, 1984
- Mandl, G. W.: Geology of the central and eastern sector of the Northern Calcareous Alps (NCA); in: Foregs Vienna – Austria '99, Field Trip Guide; Wien (Geol. B.-A.) 1999 a
- Mandl, G. W.: Geological overview of the Juvavic Realm; in: Foregs Vienna – Austria '99, Field Trip Guide; Wien (Geol. B.-A.) 1999 b

- Mandl, G. W.: Short notes on the Hallstatt salt rock – the „Haselgebirge“; in: Foregs Vienna – Austria '99, Field Trip Guide; Wien (Geol. B.-A.) 1999 c
- Ochsenius, C.: Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze; Halle, 1877
- Ochsenius, C.: Beiträge zur Erklärung der Bildung von Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze; Verh. Leopold-Carol. D. Akad. Naturf. 40, Dresden, 1878
- Ochsenius, C.: Über die Bedeutung des orographischen Elementes „Barre“; Zs. prakt. Geol., 1893
- Ormerod: Origin Salt field Cheshire; Manchester Geol. Soc., 1842
- Österreichische Salinen AG (Hrsg.): Glück auf! Altaussee / Bad Ischl, zwei einzigartige Salzbergwerke; Bad Ischl, undatiert
- Pak, E.: Schwefelisotopen-Untersuchungen I. am Institut für Radiumforschung und Kernphysik in Wien; Anz. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., 111, Wien, 1974
- Pak, E.: Schwefelisotopen-Untersuchungen II. am Institut für Radiumforschung und Kernphysik in Wien; Anz. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., 115, Wien, 1978
- Pak, E.: Schwefelisotopen-Untersuchungen III. am Institut für Radiumforschung und Kernphysik in Wien; Anz. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., 118, Wien, 1982
- Pak, E. & Schaubberger, O.: Die geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels Schwefelisotopenuntersuchungen; Verh. Geol. B.-A., Jg. 1981, H. 2, Wien, Dez. 1981
- Richter-Bernburg, G.: Über saline Sedimentation; Z. deutsch. geol. Ges., 105/4 (1953), Hannover, 1955
- Schaffer, F.X. (Hrsg.): Geologie von Österreich; Wien (Deuticke) 1951
- Schäffer, G.: Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50.000, Blatt 96, Bad Ischl, Wien (Geol. B.-A.) 1982
- Schaubberger, O.: Die stratigraphische Aufgliederung des alpinen Salzgebirges; Berg. u. Hüttenm. Mh., 94. Jg., H. 3, März 1949
- Schaubberger, O.: Salzvorkommen in Österreich, unveröff. Karte, erstellt mit Benützung der geol. Übersichtskarte der Alpen aus Schaffer: Geologie von Österreich 1951, gezeichnet von Kefer, L., 1953
- Schaubberger, O.: Zur Genese des alpinen Haselgebirges; Z. deutsch. Geol. Ges., Bd. 105, 1955
- Schaubberger, O.: Über die Gliederung und Entstehung des alpinen Haselgebirges; Mitt. Naturwiss. Arbeitsgem. Haus d. Natur, Salzburg, 1956

- Schauberger, O.: Die geologische Kartierung der alpinen Salzlagerstätten und ihre wirtschaftliche Bedeutung für den Salzsolebergbau; Berg. u. Hüttenm. Mh., 112. Jg., H. 3, 1967
- Schauberger, O.: Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars; Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., Bd. 7, August 1986
- Spötl, Ch.: Sedimentologisch-fazielle Analyse tektonisierter Evaporitserien – eine Fallstudie am Beispiel des alpinen Haselgebirges (Permoskyth, Nördliche Kalkalpen); Geol. Paläontol. Mitt., Innsbruck, 1988
- Spötl, Ch.: The Alpine Haselgebirge Formation, Northern Calcareous Alps (Austria); Permo-Scythian evaporites in an alpine thrust system; Sedimentary Geology, 65, 1989
- Thomanek, K.: Der technische Fortschritt der Österreichischen Salinen AG seit 1975 – dargestellt anhand ausgewählter Investitionsprojekte; Berg. u. Hüttenm. Mh., 133. Jg., H. 10, 1988
- Tollmann, A.: Der Bau der nördlichen Kalkalpen. – Monogr. d. Nördl. Kalkalpen; Bd. 3, X, Wien (Deuticke) 1976
- Tollmann, A.: Oberjurassische Gleittektonik als Hauptformungsprozess der Hallstätter Region und neue Daten zur Gesamttektonik der Nördlichen Kalkalpen in den Ostalpen; Mitt. Österr. Geol. Ges., Bd. 74/75 (1981/82), Wien, 1981
- Tollmann, A.: Geologie von Österreich, Bd. 2, außerzentralalpiner Anteil, Wien (Deuticke) 1985
- Walther, J.: Lithogenesis der Gegenwart; III, 1894
- Walther, J.: Das Gesetz der Wüstenbildung; Berlin, 1900, 4. Aufl. 1924
- Walther, J.: Entstehung von Salz und Gips durch topographische und klimatische Ursachen; Centralbl. F. Min., 211, 1903
- Walther, J.: Entstehung der Kalisalzlagerstätten; Zs. angew. Chemie, 21, Leipzig, 1908
- Walther, J.: Geologie Deutschlands; Leipzig, 1910



## The Dust Generation of Soils/Sediments in the Southern Aral Sea Basin, Uzbekistan

A. Singer<sup>1</sup>, T. Zobeck<sup>2</sup>, L. Poberezsky<sup>3</sup> and E. Argaman<sup>1</sup>

### Introduction

The Aral Sea, at an altitude of 53 m.a.s.l., is located in the Central Asian Republics of Uzbekistan and Kazakhstan, with the southern section located in the Autonomous Republic of Karakalpakstan. Due to its location in the center of a vast mainland far from oceans, the Aral Sea maintains a continental climate. Temperatures in the region attain 40°C in the summer and in winter temperatures drop to -20°C. Average precipitation, principally in the form of rain, is below 200 mm.yr<sup>-1</sup>. The Aral Sea is fed by two rivers, the Amu Darya that flows northwest from sources in the Pamirs and enters the Sea in the south, and the Syr Darya that flows west from sources in eastern Uzbekistan and enters the Sea in the north-east (Fig. 1).



Fig. 1: Aral Sea

As a result of intensive irrigation along the two rivers feeding the Aral Sea, the volume of water reaching the sea to replace the enormous evaporation losses (~60 km<sup>3</sup>.yr<sup>-1</sup>) has decreased drastically. Once the fourth largest lake on earth, the Aral Sea has been drying up over the last four decades. By 1994, the Sea had lost 2/3 of its original water volume of 1,090 km<sup>3</sup>, and its surface of 66,900 km<sup>2</sup> had shrunk by more than half (Fig. 2). 42,000 km<sup>2</sup> of the former sea bottom are now exposed. Water level in this period fell by 17 m. The shore line had receded in places (the southern part) by 150 km. Salinity of the water had risen from 1% in 1960 to 3.5% in 1994.

<sup>1</sup> Seagram Center for Soil and Water Sciences, Hebrew University of Jerusalem, Rehovot 76100. Israel.

<sup>2</sup> USDA, Agricultural Research Service, Wind Erosion and Water Conservation Research Unit, Lubbock, Texas.

<sup>3</sup> Scientific Research Association "Vodproject", V. Malaysov Str. 3, Tashkent 70000, Uzbekistan.

<sup>4</sup> According to the FAO Soil Classification System. The USDA classification equivalents are Orthids.

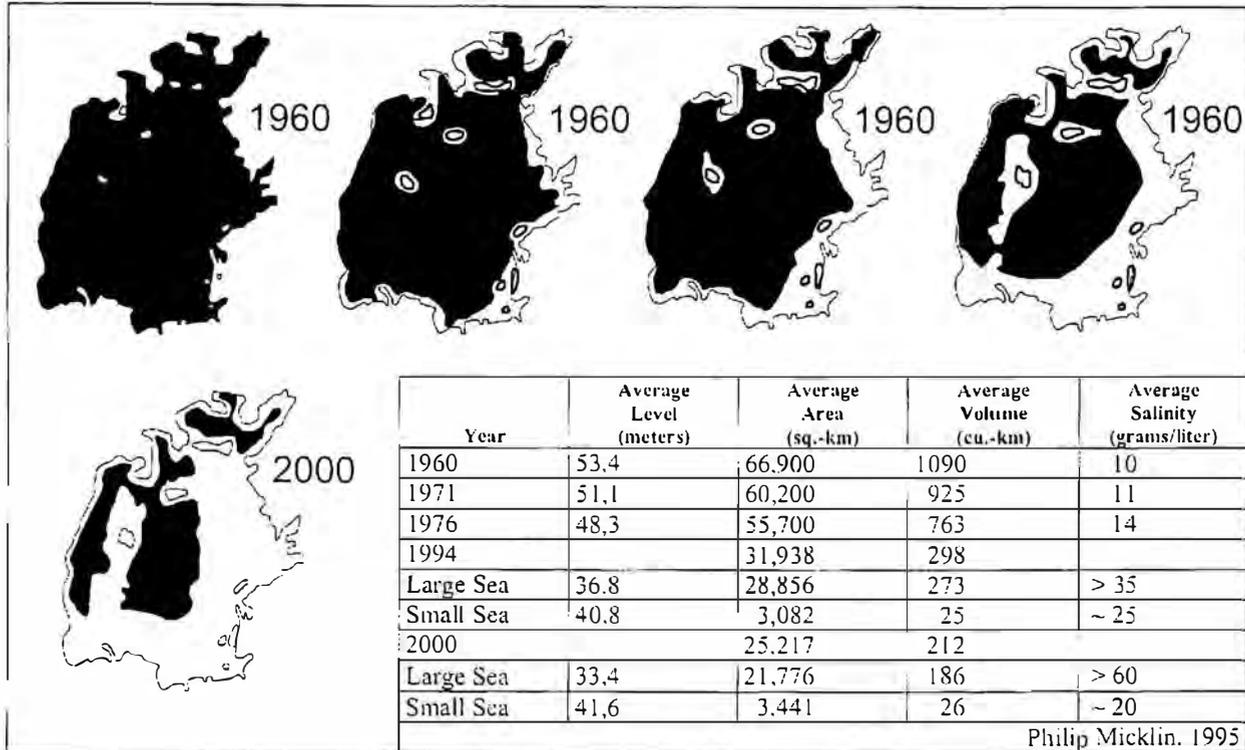


Fig. 2: Shrinkage of the Aral Sea (after Micklin, 1996).

The lowering of the sea level of the Aral Sea is still continuing. The water level in 1999 was about 33.8 m m.a.s.l. and the surface area of the sea was about 24,400 km<sup>2</sup>. It is envisaged that by continuous drying out, the sea will soon be separated into 2 water bodies, into the deeper Western Aral Sea and the shallower Eastern Aral Sea.

Caused by the drying out of the eastern part of the Eastern Aral Sea, the formation of another huge open salt desert has taken place. While the dry sea floor on the areas desiccated during the 1960s and the 1970s have a low salinity, with a sparse plant cover, the areas from the 1980s and the 1990s have already turned into salt deserts (the Aralkum desert) with isolated plants. As a result of the increase in salt desert areas, salt and dust storms have become frequent.

Since the 1980s, on the dry sea floor almost exclusively Solonchak deserts have formed. The open dry sea floor Solonchak desert is a huge salt flat and a source of salt dust. The Solonchaks<sup>4</sup> have developed on sediments of variable texture, deposited from the Aral Sea water after being introduced by the two major river systems. These are young soils with undeveloped profiles and slight organic matter accumulation. Their most distinct characteristic is salt accumulation, frequently in the form of a salt crust on the soil surface. An increasing drying of the sea floor will create even more and greater saline flats, and thus an increased potential for salt dust storms in the near future. This is a threat to the agricultural areas adjacent and beyond the southern and eastern former coastline. Thus, salt desertification is spreading throughout the whole Aralkum and surrounding areas (Breckle et al., 2001; Rafikov, 1999).

Different earth materials (soils, sediments) have been shown to emit different amounts of PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> as related to wind speed (Zobeck et al., 1999). Emission has been shown to be related to source sediment texture, moisture content, surface

roughness and local factors such as soil crusts. Field studies of aeolian dust produced at or near the source of intense dust storms are difficult to conduct. As a result of efforts to develop methods for the study of PM<sub>10</sub> generation of earth materials under controlled laboratory conditions, a new system has been proposed by Zobeck and Amante-Orozco (2001). This equipment has been used for the examination of 8 earth materials from the Southern Aral Sea Basin (SASB), with the purpose of determining the PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> dust generation potential of these materials, that represent a large proportion of the surfaces in the area. The objective of this study was to assess the contribution of the major soil/sediment surfaces in the Southern Aral Sea Basin (SASB) to the dust generation potential of the area.

**Table 1.** *Development of the environmental crisis in the Aral Sea Basin (from: <http://www.grida.no/aral/aralsea/english/arsea/arsea.htm>)*

	1966	1976	1996	2000
Exposed dried sea bed (km <sup>2</sup> )		13,200	38,000	42,000
Mass of potential dust/salt (10 <sup>6</sup> ton)		550	2300	3300
Area affected by dust storms (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )		100–150	250–300	400–450
Dust transported (kg ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )		100–200	500–700	700–1100
Population in the area affected (10 <sup>3</sup> )		500–600	3000–3500	3500–4000

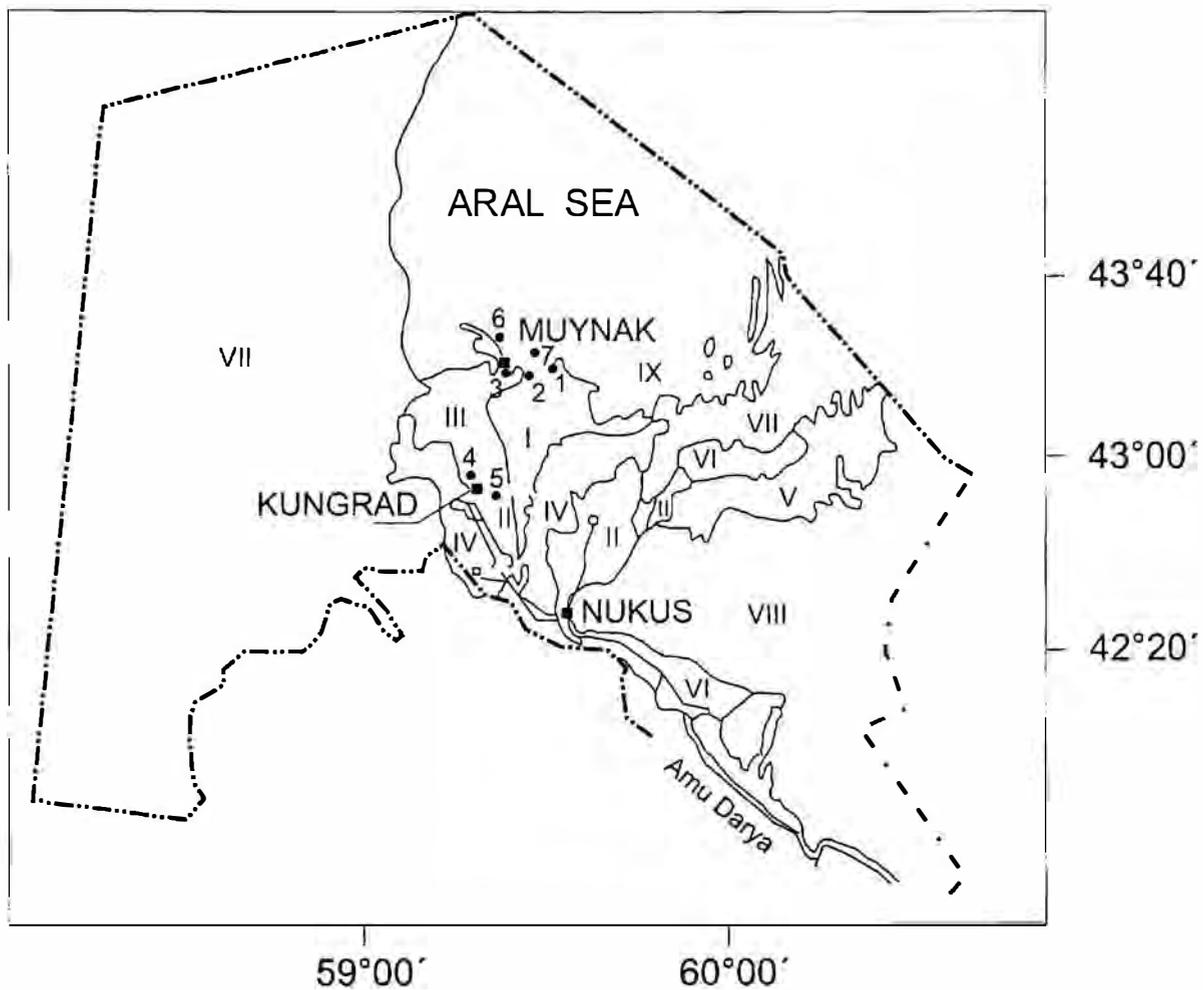
*Source:* Aral Sea Crisis. Communique on the results of the international technical meeting on the Aral Sea Basin problems, Tashkent, 1997.

### **Soils and the desiccated Aral Sea bed**

Most of the soils of the Amu Darya River Delta (ADRD) had formed on river alluvium, that is frequently layered and with variable texture, close to the present (or former) river bed. Some, on more elevated areas, removed from the river bed, had formed on eroded Tertiary and Early Quaternary rocks.

The soils can roughly be divided into soils associated with and affected by the floodplain (former and present) of the river. These include wetlands consisting of hydromorphic meadow and bog soils with a relatively high clay content, that are slightly to moderately saline (Fig. 3).

These soils, that were closest to the river and form most of the river delta to the north, were subjected to annual spring flooding and were therefore only in limited agricultural use; their extent is approximately 800,000 ha. Other soils, south-east of Nukus, in a narrow strip along the river, are hydromorphic meadow and bog soils formed on alluvium, that are non-saline or only slightly saline. Being fertile, they have been under agricultural use (with irrigation) for a very long time; their extent is about 148,000 ha. Finally, to this group of soils also belong hydromorphic meadow soils that are mildly to strongly saline and can therefore be termed Solonchaks; many of these soils are covered by a 1-2 cm thick salt crust; their extent is over 460,000 ha.



**Figure 3.:** Schematic soil map of the southern Aral Sea Basin (after Soviet Soil Survey Staff, 1969). Sampling sites are marked by numbers 1-7: I. Hydromorphic meadow soils (Aquepts, Fluvents) with a well-developed upper Ap horizon, developed on alluvium. Only slightly saline, highly fertile soils, that have been under cultivation for a long time. II. Slightly hydromorphic meadow soils (Aquepts, Arents, Fluvents) developed on alluvium, transition to Solonchaks. Moderately to highly saline. With light to moderate drainage. Partly cultivated; delta of the Amu Darya river. III. Hydromorphic, low-lying bog and meadow soils with a clay texture, with poor drainage. Prone to flooding, slightly saline; mostly uncultivated. IV. Fine-grained Takyr soils (cambic gypsiorthids) slightly to moderately saline, transitional to Solonchaks (Salorthids). V. Takyr soils, in complex with Solonchaks and sands (Psamments). Ancient floodplain of Amu Darya river; in patches irrigated, mostly pasture. VI. Grayish-brown soils, sandy to loamy, slightly sodic; moderately saline, stony, on hilly topography; mostly pasture. VII. Usturt Plateau, grayish-brown soils, in complexes with Takyr soils, Solonchaks and sand fields; mostly shallow, occasionally gravelly, with gypsic horizons (Gypsids); not suitable for irrigation; mostly pasture. VIII. Kizyl Kum desert, sand fields, in complexes with desert soils and Solonchaks; low-grade pasture. IX. Water.

A second group of soils, more removed from the riverbed or even the floodplain, are Takyr<sup>5</sup> soils. Takyr soils are soils of the desert zone of Central Asia, distinguished by their hard, polygonally-cracked surface. They exhibit a light-gray, 1-2 cm thick surface crust, compact on its upper surface, highly porous on its lower surface that had formed as a result of high sodicity in the surface layer from which salts had been partly leached. The crust is very hard when dry, sticky when wet, slightly to moderately calcareous, does not curl upon drying. The Amu Darya Takyr soils are mildly to moderately saline, and also partly sodic<sup>6</sup>. Their extent is over 1 million ha; associated with them are gray-brown, sandy to loamy soils that are slightly saline; their extent is 306,000 ha. Finally, more removed from the river bed and on more elevated terrain to the west, on the Usturt plateau, are shallow, stony soils that are saline to varying degrees, from slightly saline when they are sandy, to more developed gypsic soils; their extent is 740,000 ha (Soviet Soil Survey Staff, 1969).

This distribution of the ADRD suggests that with time and development, the river sediments develop either into strongly saline Solonchak types of soils, or into less saline Takyr types of soils (Singer et al., 2001). The most salient features of most Solonchaks and Takyr soils are their crusts.

### **Dust generation and transport in the Southern Aral Sea Basin**

The desiccation of the Aral Sea has resulted in a dramatic increase in wind erosion processes. The number of dust storms has increased considerably. Up to 10 major dust storms are now registered annually in the region. In the past, the original large sea water surface, with the associated wet sea atmosphere, reduced the strong northerly and north-easterly wind activity (Fig. 4).

With the drastic reduction in the sea surface, this protective action has now been reduced significantly. Together with the strong reduction in plant cover, resulting from salinization and anthropogenic activities, this has led to deflation of huge dimensions in some areas, deposition of deflated materials in others.

There are differing estimates of the volume of material removed, transported and deposited. The average rate of removal from the dried sea floor has been calculated at 2 mm.yr<sup>-1</sup>. This has been corroborated by measurements which showed that during the past 3 decades, a 6-9 cm thick layer of soil/sediments has been removed by wind from the newly dry surfaces (Semenov, 1990). According to Razakov and Kosnazarov (1996) however, the removal rate during 1982-1989 was much higher, 40-135 mm.yr<sup>-1</sup>. The Institute of Geology and Geophysics of the Academy of Uzbekistan give a removal rate of 22.8 ton.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>, and a total figure for the years 1960-1983 of 43 million tons (Razakov and Kosnazarov, 1996). The dust includes large concentrations of salt.

There are differing estimates of the volume of material deposited. According to some calculations, in the Amu Darya Delta region, on an area of 10,000 km<sup>2</sup>, on the average 90,000-100,000 tons of material are deposited annually (90-100 kg.ha<sup>-1</sup>). On 13,000 km<sup>2</sup> of the Usturt Plateau, about 40,000-50,000 tons (31-39 kg ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>) have been deposited (Orlovsky et al., 2001). Though, as mentioned before, some

<sup>5</sup> According to the Russian Soil Classification System (Kovda, 1973; Egorov et al., 1987). A "takyric soil horizon" is also recognized in the FAO 1998 World Reference Base for Soil Resources (FAO, 1998).

<sup>6</sup> Saline soils: Soils that contain large amounts of soluble salts, appreciably more soluble than calcium sulfate (Singer and Munns, 1999).

deposition occurs in the Aral Sea bed (particularly in the portions that are not yet dried up), the overall balance is that of deflation and the desiccated and exposed sea bottom is considered as one of the major dust sources.

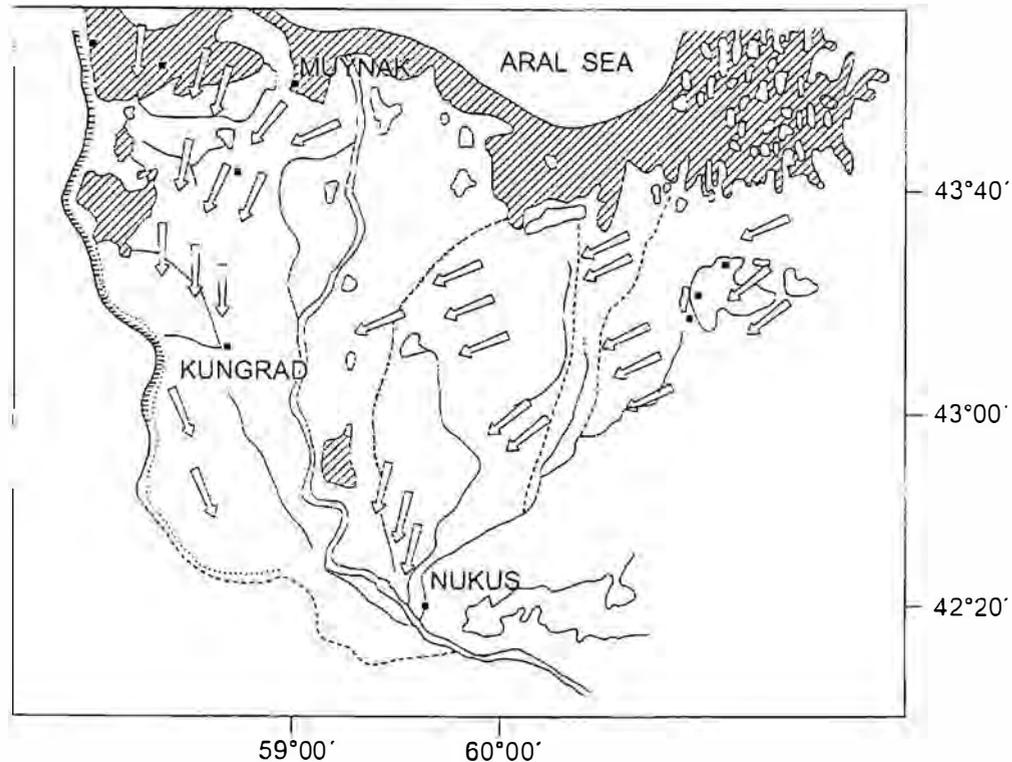


Fig. 4: Average wind direction distribution in the Southern Aral Sea Basin (after Razakov and Kosnazarov, 1991).

The gravest ecological consequence of the dust transfer in the southern Aral Sea Basin is the salinization of lands. The dust includes large concentrations of salt. In summer, the salt content in the dust is in the range of 30-40%, but in winter it may pass 90% (Hydrometeorological Center of Uzbekistan). As a result, huge amounts of salt are transferred from the dust source areas (principally the dried Aral Sea bottom) and distributed over the soils of the Amu Darya River Delta (Fig. 5). The principal sources for saline dusts are the Solonchak soil areas. Between 12-20 ton ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup> of salt are deflated from Solonchak soils (Kosnazarov, 1985). This figure indicates that up to nearly 300 kg.ha<sup>-1</sup> of salt were deposited in some areas of the delta during 1986 (Tolkacheva, 1995). According to Tsitasov (1990), from 0.2 to 5 ton ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup> of salt are deposited in some places in the Amu Darya river delta by atmospheric deposition. Values vary between 111-802 kg.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup> for the exposed Aral Sea bottom and 41-384. kg.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup> for Amu Darya River delta soils. Some of the atmospherically transported salt reaches the intensively irrigated and cultivated soils far to the south, hundreds of kilometers from the source areas.

### **Methods of Examination**

Crust samples were collected manually, soil samples using a shovel. The micro-morphology and chemical composition of crust materials was examined using a model JSM-5410LV scanning electron microscope to which an energy-dispersive x-ray spectrometer (EDSA) was attached. Particle size distribution was determined by

the sedimentation method, supplemented by wet sieving and also by a Malvern Mastersizer Laser. Aggregate size material and measuring the amount of  $\text{CO}_2$  evolved (Bundy and Bremner, 1972). Organic C was determined using a CNS analyzer. Soluble salts were extracted and analyzed by ICP and ion chromatography.

Suspended dust produced during a wind storm is mainly caused by abrasion of soil aggregates and crust by saltating particles (Gillette, 1977). Abrasion studies have shown that the mass lost per impact is directly proportional to the kinetic energy of the impacting particle (Greeley and Iversen, 1985). The USDA, Agricultural Research Service, Wind Erosion and Water Conservation Research Unit in Lubbock, Texas developed the Lubbock Dust Generation, Analysis and Sampling System (LDGASS) to simulate dust emissions generated by applying kinetic energy to a dust source sample (Gill et al., 1999).

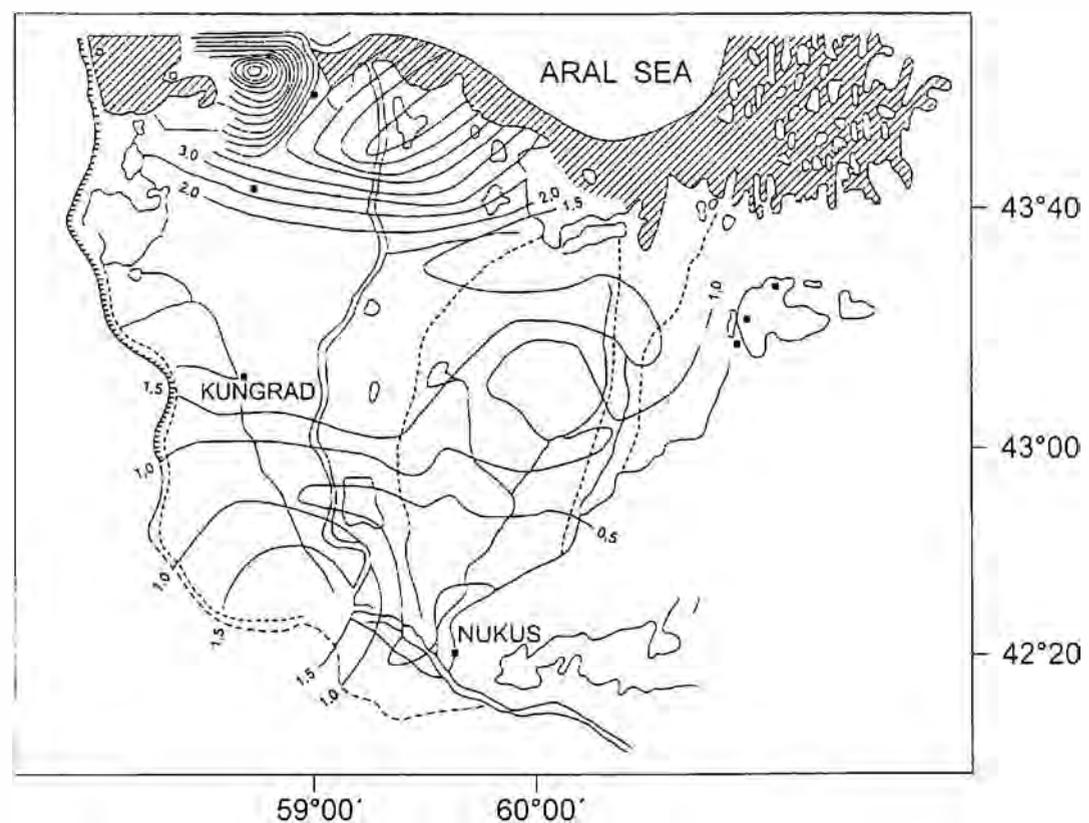


Fig. 5: Distribution of dry aerosol deposits in the Southern Aral Sea Basin for 1986, in  $\text{tons ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  (after Razakov and Kosnazarov, 1991). Sea shore line is for 1986; shaded areas are low-lying marshes.

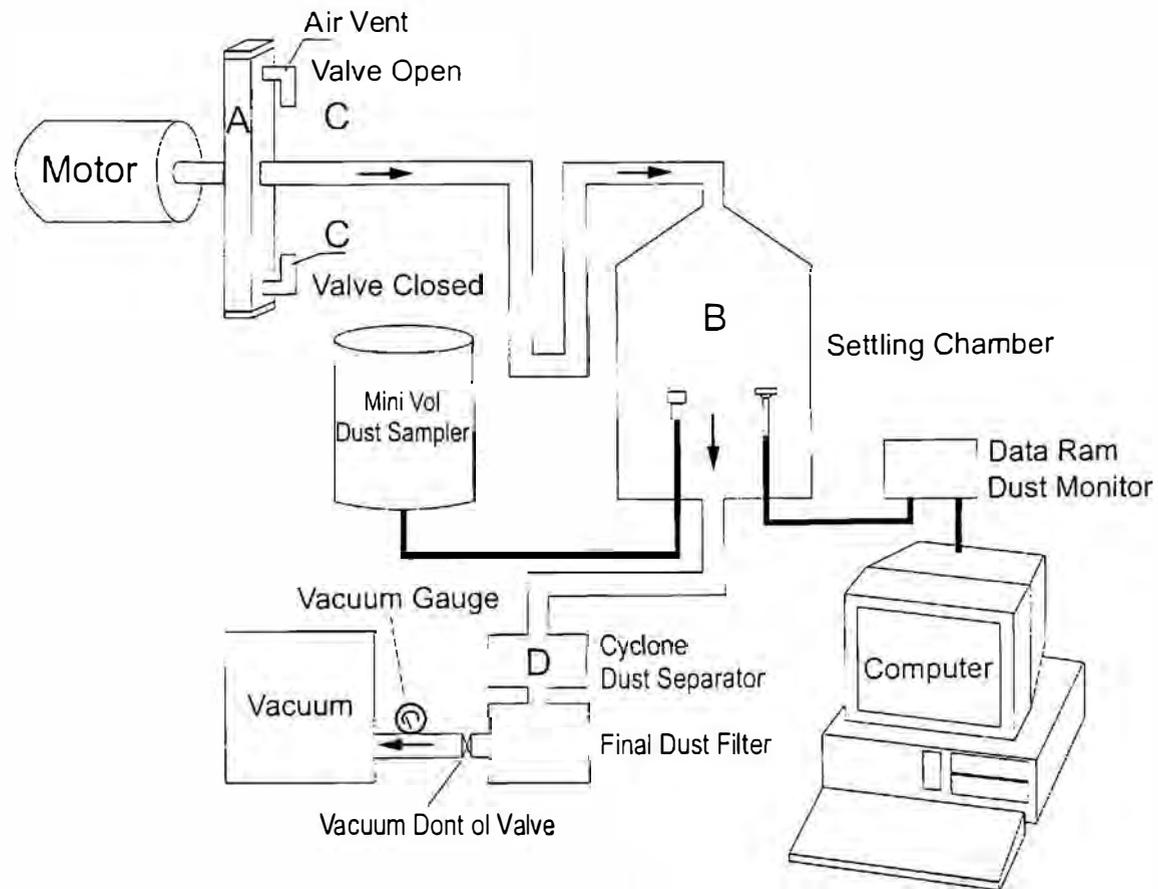


Fig. 6: The Lubbock Dust Generation, Analysis and Sampling System (LDGASS).

## **RESULTS**

### **Soil/sediment and crust characteristics**

#### **Particle-size distribution**

The salt-free particle-size distribution of the soil sediment and salt crust are given in Table 2. Fine sand dominates in all materials except the desiccated sea bottom crust. Coarse sand is negligible; medium sand is present in minor quantities only. The Takyr crust from Site 2 contains a sizable silt fraction. The Takyr-like soil at Site 3 has a similar grain-size distribution. The sub-crust at Site 1 below the salt crust has a grain-size distribution similar to that of the salt crust. In the Solonchak soils from Sites 4 and 5, fine sand and silt dominate. The amounts of clay and coarse sand are very low.

Aggregate size distribution is shown in Table 3. The Takyr crust from Site 2 had the highest proportion of very fine aggregates, the salt crusts from Sites 1, 4, 6 and 7, the highest proportions of very coarse aggregates.

Table 2

**Table 2. Some physical and chemical characteristics of soil crusts and surface soil sediments in the Southern Aral Sea Basin**

Site	Particle size distribution (%)					Organic C %	CaCO <sub>3</sub> %	Salts %
	Clay < 0.002 mm	Silt 0.002-0.05 mm	Fine sand 0.05-0.20mm	Medium sand 0.20-0.5 mm	Coarse sand 0.5-2.00 mm			
1	0	4.5	80.1	14.3	1.1	0.8	8.8	42.0
Sub-crust	0	0.6	80.0	18.4	1.0	0.3	16.1	3.1
2	12.9	32.8	52.4	0.8	1.1	1.6	8.0	5.7
3	5.4	26.5	66.8	1.1	0.3	1.0	14.2	0.3
4	9.1	31.8	55.7	1.6	1.8	1.6	10.2	12.7
5	3.6	16.4	76.4	2.7	0.9	0.9	10.6	6.1
6	1.7	50.7	38.9	2.0	6.7	0.4	7.4	59.3
7	0.2	48.9	42.9	1.8	6.2	0.8	10.0	44.4

\*On a salt-free basis.

Table 3

**Table 3. Composition of salts from soil crusts and surface soil sediments in the Southern Aral Sea Basin.**

Site	Sediment source	Salts (%)	Na <sup>+</sup> (%)	Mg <sup>2+</sup> (%)	K <sup>+</sup> (%)	Ca <sup>2+</sup> (%)	Sr <sup>+</sup> (p.p.m.)	Cl <sup>-</sup> (%)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)	F <sup>-</sup> (p.p.m.)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (p.p.m.)
1	Salt crust	42.0	8.4	0.5	0.1	7.3	1.540	4.9	20.9	0.04	246	—
	Sub-crust	3.1	0.24	0.1	0.1	0.56	—	0.9	1.2	—	—	—
2	Takyr crust	5.7	0.81	0.1	0.015	0.78	—	2.5	1.46	0.016	—	—
3	Takyr-like soil	0.3	0.02	0.1	0.006	0.08	—	0.013	0.171	0.006	—	—
4	Hydromorphic Solonchak	12.7	3.1	0.8	0.1	1.9	550	3.1	3.5	0.12	240	1780
5	Solonchak	6.1	0.9	0.2	0.1	1.8	150	1.0	2.0	0.15	120	—
6	Desiccated sea bottom crust	59.3	16.0	2.6	0.4	4.1	610	12.2	24.0	0.07	1650	—
7	Desiccated sea bottom crust	44.4	10.9	3.0	0.4	3.3	650	10.8	15.8	—	1874	—

Fig. 7 A presents the salt-free particle size distribution of the salt crust from Site 1 as determined by laser. Particles of 100  $\mu\text{m}$  equivalent diameter absolutely dominate. Coarse and medium sand and clay are negligible; silt is present in minor quantities only. SEM observations however showed that the size of the salt crystallites varied between 5-10  $\mu\text{m}$ . They were arranged in one dense, interlocking matrix (Singer et al., 2001). A second generation of smaller, apparently less crystalline particles was sometimes located on top.

The soil below the crust from Site 1 and the Takyr-like soil from Site 3 have similar particle size distributions. In the Takyr crust from Site 2, on the other hand, the maxima had shifted to lower sizes, with a major peak at about 65  $\mu\text{m}$  and a smaller peak at 8  $\mu\text{m}$ . This corresponds to finer sand and a sizeable silt fraction.

The laser particle size distribution curves of the Solonchaks from Sites 4 and 5 (Kungrad area) and of the Aral Sea bottom sediments (Sites 6 and 7) is shown in Fig. 7 B.

In the Aral Sea bottom sediments,  $\sim 20 \mu\text{m}$  particles dominate, in distinct contrast to the salt crust from Site 1, where  $100 \mu\text{m}$  particles dominate. In the Kungrad Solonchak soils from Sites 4 and 5, peaks at  $60\text{-}80 \mu\text{m}$  indicate the dominance of fine sand.

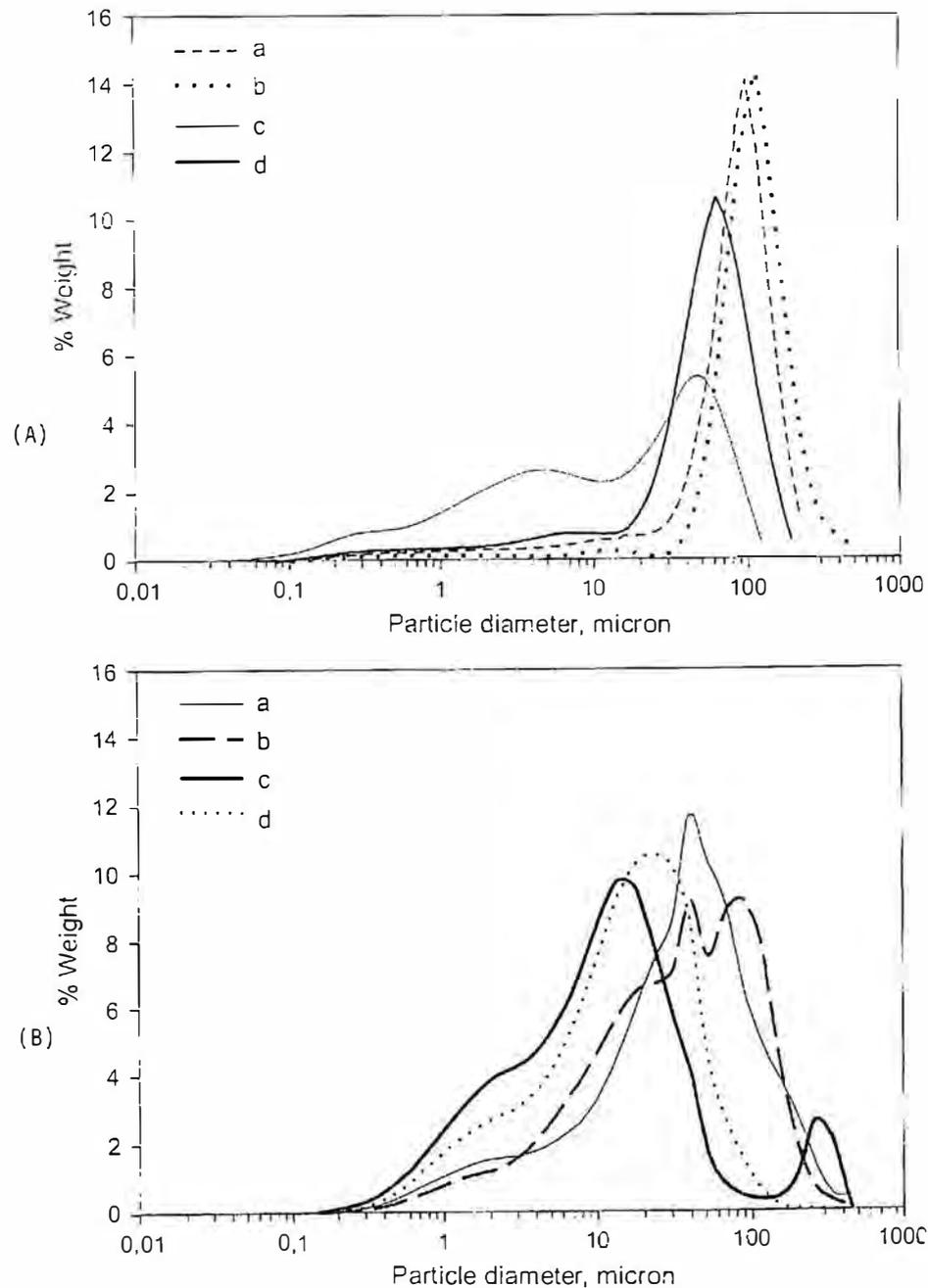


Fig. 7: Particle size distribution (salt free) as determined by Malvern Mastersizer Laser of materials from **(A)** Sites 1-3 (after Singer et al., 2001): a-1, salt crust; b-1, 1-25 cm; c-2, Takyr crust; d-3, 0-25 cm soil. **(B)** Sites 4-7: a-4, hydromorphic Solonchak; b-5, Solonchak; c-6, desiccated sea bottom crust; d-7, desiccated sea bottom crust.

All materials contain moderate amounts of carbonates (Table 2). The sub-crust below the salt crust of Site 1 contains the highest amount of carbonates, the dried sea bottom crust from Site 6, the lowest (7.45%). The only carbonate present is calcite, except in the Solonchak from Site 4, where some dolomite is present too.

Organic carbon is present in all materials in low amounts only (Table 2). The highest amount (1.62% org. C) was found in the hydromorphic Solonchak of Site 4, the lowest amount (0.28% org. C) in the sub-crust of Site 1.

All soils contain salts (Table 2). The highest amounts (59.3 and 44.4%) are present in the salt crusts of the dried sea bottom soils from Sites 6 and 7. The salt crust of the Solonchak soil from Site 1 contains 42.0% salt. The lowest amounts were determined in the Takyr-like soil of Site 3. In the hydromorphic Solonchak from Site 4 and in the Takyr-like soil from Site 3, sulfates dominate over chlorides (Table 4). In all other materials, chlorides and sulfates are represented in about equal proportions. Nitrates in very minor amounts were identified in the Takyr crust from Site 2, in the salt crusts from the dried sea bottom and in the hydromorphic Solonchak from Site 4. Trace to minor amounts of fluorides were identified in the materials from Sites 4-7. The dried sea bottom salt crusts also contained traces of bromine. Among the cations, calcium dominated, except in the crusts, where sodium was the dominant cation. Potassium in significant amounts was present in the soil below the salt crust of Site 1. Sodium is the dominant cation in the soils/sediments of Sites 5-7. It is followed by magnesium in the salt crusts of Sites 6 and 7, and by calcium in the Solonchak soils of Sites 5 and 6. Significant amounts of potassium were present in the salt crusts too. Minor amounts of strontium were identified in the extracts of all materials. For the mineralogy of some of the soils/sediments see Singer et al. (2001).

**Table 4.** *PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> dust generation by the Lubbock dust generator from the South Aral Sea Basin soils/sediments*

Site	Dust (PM <sub>10</sub> ) conc. (mg m <sup>-3</sup> )	Dust (PM <sub>2.5</sub> ) conc. (mg m <sup>-3</sup> )	Relative PM <sub>2.5</sub> conc. (%)
1	39.6	19.1	48.2
Sub-crust	81.6	16.5	20.2
2	579.3	261.1	45.1
3	379.5	135.0	34.0
4	115.3	25.6	22.2
5	520.5	167.7	32.2
6	252.3	85.1	33.7
7	111.6	25.4	22.8

Fig. 8 shows the particle size distribution curve (PDC) of the generated PM<sub>10</sub> dust. Only very little PM<sub>10</sub> dust (39.6 mg.m<sup>-3</sup>) had been produced by the salt crust of Site 1, but a relatively large proportion of that dust, 48.2% is PM<sub>2.5</sub> (Table 5). The dust produced from the salt crust on Site 1 has a distinctly bimodal distribution curve, with one major maximum at about 1.5 μm and a second at 5 μm (Fig. 8 A). Since there is no aluminosilicate clay and very little silt (Table 2) in the crust, most of this dust must have been composed by salt particles. Also very little PM<sub>10</sub> dust (81.6 mg.m<sup>-3</sup>) was produced by the subcrust soil from Site 1. About 1/5 of that dust was PM<sub>2.5</sub>. The dust produced from that soil has a nearly uni-modal distribution, peaking at 9 μm.

Table 5

Table 5. Aggregate size distribution of the Southern Aral Sea Basin samples

Sieve (mm)	Site 1		Site 2		Site 3		Site 4		Site 5		Site 6		Site 7	
	Salt crust	Sub-crust	Takyr crust	Takyr-like 0-25 cm	Hydromorphic Solonchak	Dry Solonchak	Desiccated sea bottom	Desiccated sea bottom						
>1-400	16.44%	0.04%	3.14%	3.30%	24.51%	2.24%	25.52%	26.84%						
1-400-1-000	4.02%	0.09%	2.51%	2.62%	8.96%	1.85%	7.31%	11.29%						
1-000-0.850	3.36%	0.11%	3.05%	1.68%	6.66%	1.56%	5.36%	8.78%						
0-850-0.500	11.30%	0.97%	9.72%	5.59%	15.56%	5.03%	17.75%	18.84%						
0-500-0.250	14.76%	3.04%	16.84%	6.64%	13.13%	7.13%	19.08%	15.17%						
0-250-0.140	20.54%	22.36%	12.47%	8.54%	10.68%	10.92%	10.68%	7.53%						
0-140-0.071	22.69%	69.17%	18.36%	47.57%	14.46%	54.36%	8.35%	6.62%						
0-071-0.025	6.85%	4.15%	32.99%	23.97%	6.01%	16.87%	5.93%	4.92%						
<0.025	0.04%	0.07%	0.93%	0.08%	0.02%	0.05%	0.03%	0.00%						

In strong contrast to the salt crust, the Takyr crust generated a very large amount of  $PM_{10}$  dust ( $579.3 \text{ mg.m}^{-3}$ ), about 14 times more. The proportion of  $PM_{2.5}$  in this dust, however, was similar to that in the salt crust (45.1%). The distribution curve obtained from this  $PM_{10}$  dust was distinctly uni-modal, peaking at  $3 \mu\text{m}$  (Fig. 8 B). It should be noted that the Takyr crust contains relatively large amounts of silt (Table 2).

The amount of  $PM_{10}$  dust generated from the Takyr-like soil at Site 3 was, with  $379.5 \text{ mg.m}^{-3}$ , still large but smaller than from the Takyr soil crust. The  $PM_{2.5}$  proportion in this dust was also smaller than in the dust from the Takyr soil crust, 34%. The PDC from this soil was also uni-modal, but displayed two bulges, one in the clay sized particle range, the other at about  $15 \mu\text{m}$ . The peak of the curve was at  $4 \mu\text{m}$  (Fig. 8 C).

From the Solonchak from Site 4, little  $PM_{10}$  dust was generated, only  $115.3 \text{ mg.m}^{-3}$ , and only about one-fifth of that dust was  $PM_{2.5}$  (22.2%). Very much larger ( $520.5 \text{ mg.m}^{-3}$ ) amounts of  $PM_{10}$  were produced from the Solonchak at Site 5, and a larger proportion (32.2%) of that dust was  $PM_{2.5}$ . The PDC curves of Solonchaks 4 and 5 dust were distinctly uni-modal, with the maxima at  $6 \mu\text{m}$  for Site 4 and  $3 \mu\text{m}$  for Site 5.

Different amounts of  $PM_{10}$  dust were generated from the Aral Sea bottom crusts. From one crust (Site 6), the amount of dust obtained was  $252.3 \text{ mg.m}^{-3}$ , from the other crust (Site 7) it was much lower,  $111.6 \text{ mg.m}^{-3}$ .

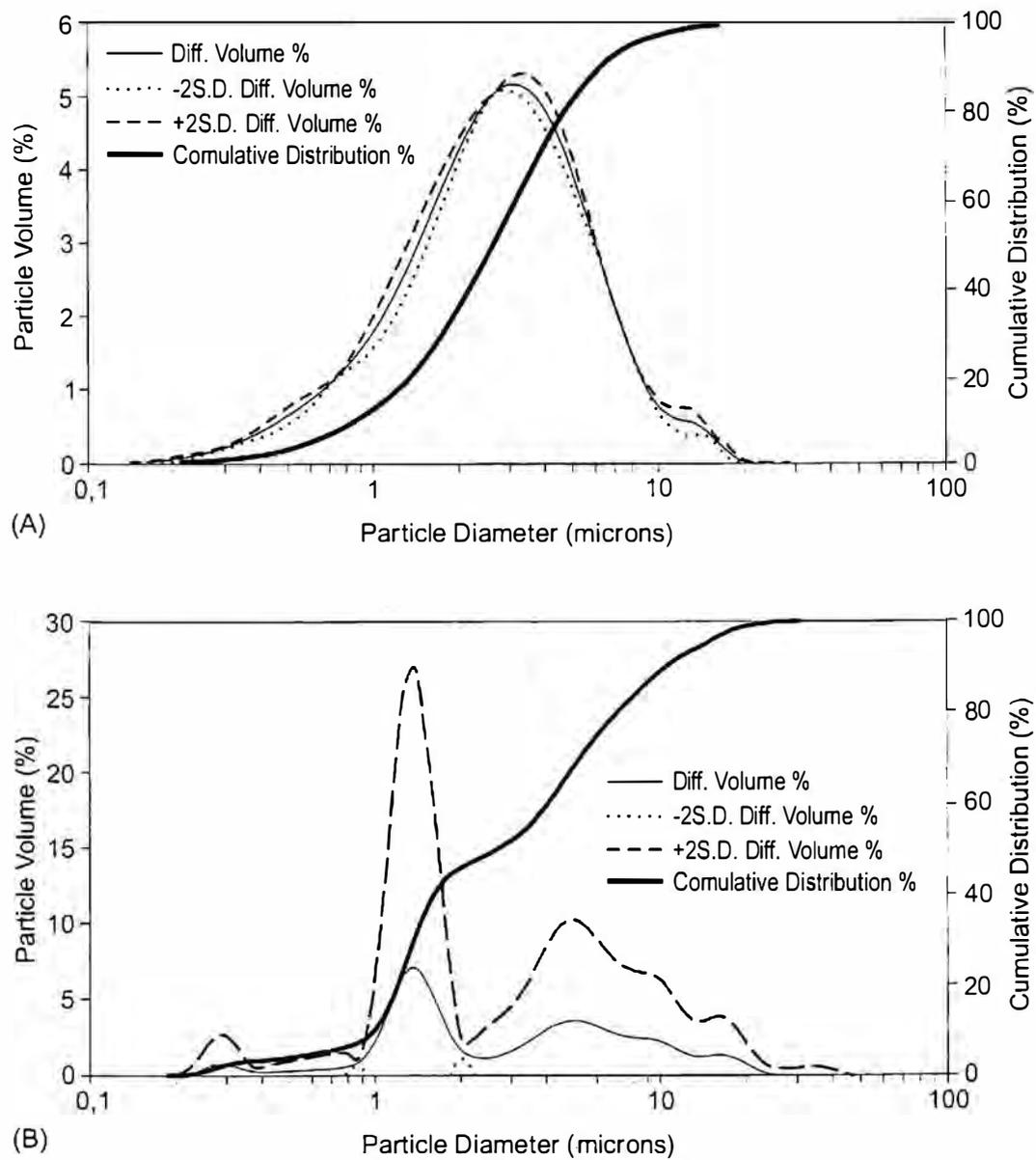


Fig. 8: Particle size distribution curves of PM10 dust generated by the Lubbock dust generator southern Aral Sea basin soils / sediments.

(A) Site 2, Takyr crust; (B) Site 1, salt crust; (C) site 3, Takyr-like soil; (D) Site 6, desiccated sea bottom crust.

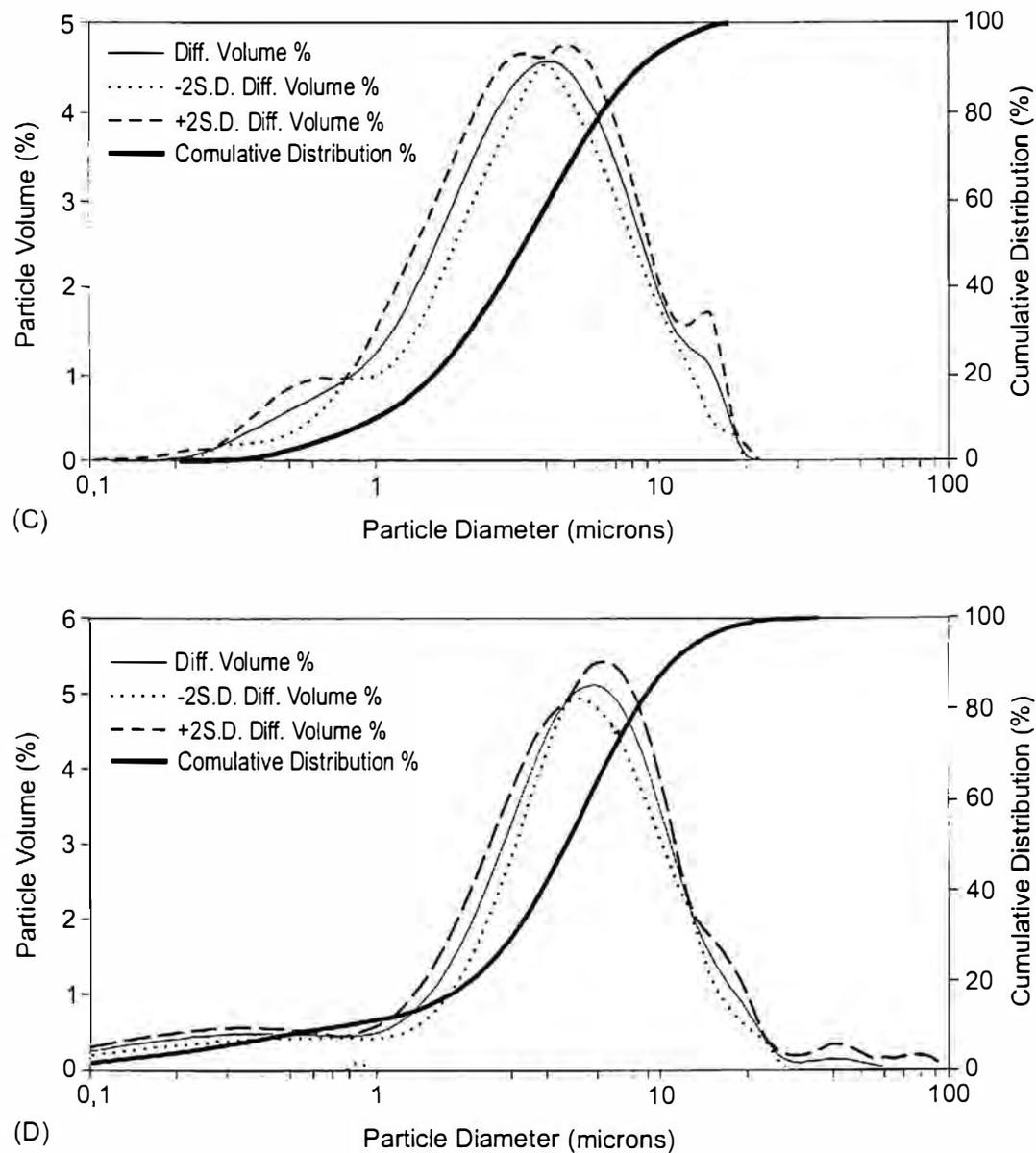


Fig. 8 (continued)

## DISCUSSION

The highest amount of PM<sub>10</sub> dust was generated by the Takyr crust from Site 2. This suggests that Takyr crust material potentially has a very high PM<sub>10</sub> dust generation capability. The PM<sub>2.5</sub> dust generation of this material too is very high, 45.1% of the PM<sub>10</sub> dust (Table 5). This material contains relatively large amounts of clay and silt, and is only mildly saline and calcareous. Noteworthy is the dominant proportion of very fine aggregates (<71 μm).

Zobeck et al. (1999) found for a large group of soils from Lubbock, Texas, that  $PM_{10}$  concentration by texture group varied from  $35 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  for clay soils to  $500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  for sandy clay soils. In general,  $PM_{10}$  concentration increased with increasing clay content with the exception of the clay soil samples.

The mean  $PM_{10}$  concentration for two fine sandy loam soils from west Texas, measured by the same procedure as that in this study, was  $84.7 \text{ mg m}^{-3}$  (Zobeck et al., 2000). For the examination of the effects of texture on dust emission, the technique of particle size determination, i.e. dry sieving or dispersed particle sizing is important. Chandler et al. (1998) found strong trends between the soil dustiness index (D) and both clay and silt contents in soils analyzed by mechanical sieves and aerodynamic sizing. Similar trends did not exist between D and soil texture classes as determined by dispersed particle sizing. This intuitively suggests that dust generation of soils is a measure of the dust freely available in a natural-aggregated condition. This is confirmed by the SASB soils and sediments, where the highest  $PM_{10}$  dust concentrations were generated by the Takyr soil crust material which also had the highest proportion of fine aggregates ( $<71 \mu\text{m}$ ) (Table 3).

In contrast,  $PM_{10}$  dust generated by the hydromorphic Solonchak from Site 4, which also has a fairly high clay and silt content, was much lower. This should be explained by the fact that this material had a much lower proportion of fine aggregates. On the other hand, the Solonchak from Site 5, which had low amounts of clay and silt, but large amounts of fine aggregates, generated large amounts of  $PM_{10}$ . The subcrust material from Site 1 (1-15 cm), with only a very low amount of fine aggregates, generated only very low concentrations of  $PM_{10}$  dust. The Takyr-like soil from Site 3, with a sizeable amount of fine aggregates, generated relatively large amounts of  $PM_{10}$  dust. The Aral Sea bottom sediments from Sites 6 and 7, with low amounts of fine aggregates, produced only low amounts of  $PM_{10}$  dust. The trends in  $PM_{2.5}$  dust production were similar.

Particularly low  $PM_{10}$  dust emissions are from soils with high salt contents. The salt crust from Site 1 had the lowest  $PM_{10}$  dust emission. The materials from the desiccated sea bottom (Sites 6 and 7), that were covered with salt crusts, emitted relatively low  $PM_{10}$  dust concentrations. Also the hydromorphic Solonchak from Site 4, that contained nearly 20% salts, had a very low  $PM_{10}$  dust emission.

Apparently salts diminish  $PM_{10}$  dust generation. The materials from the Sites with the highest dust generation (Sites 2, 3, and 5) had also the lowest salt contents. The differences in dust generation between the Solonchak materials from Sites 4 and 5 and between the desiccated sea floor materials from Sites 6 and 7 are associated with differences in salt content. Most salt crust crystallites are in the size group of fine silt,  $5\text{-}10 \mu\text{m}$  (Singer et al., 2001). This size-group should be susceptible to suspension as dust. But apparently these salt crystallites are aggregated into much larger units, which appear to be stable. In the salt crust from Site 1, the crystallites can be seen to have formed a tightly interfitting mosaic (Singer et al., 2001).

From Table 3, the salt crust materials can be seen to have disintegrated into a high proportion of large ( $>1,400 \mu\text{m}$ ) aggregates, and into a low proportion of small ( $<140 \mu\text{m}$ ) aggregates. In contrast, the materials with the lowest contents in salts, have low proportions of very large aggregates. It must be concluded that high salt contents (of evaporitic origin) in surface crusts of soils/sediments induce the formation of large, stable aggregates, that do not generate much  $PM_{10}$  dust. Salt crusts from the SASB, examined in a wind tunnel, had very high threshold shear velocities (Argaman et al., 2002, personal communication).

Yet according to Razakov and Kosnazarov (1996), the salt crust in sandy and sandy-loam soils from the exposed bed of the Aral Sea, was destroyed and removed by even light winds (velocity of 2.5-5.0 m.sec<sup>-1</sup>). On loam and clay soils, the salt crust was destroyed by winds exceeding a velocity of 7 m.sec<sup>-1</sup>. This suggests a high susceptibility of the salt crusts to wind erosion. The very high salt contents in atmospheric dusts collected from over the SASB also suggest salt crusts as potential sources for dust generation.

## **CONCLUSIONS**

From their high PM<sub>10</sub> dust generating capability, it can be concluded that the Takyr and Takyr-like soils from the SASB constitute the surfaces with the highest potential for being the source for the severe dust storms of the area. These are the fine-grained, slightly to moderately saline Takyr soils (cambic gypsiorthids) on the left and right hand of the Amu Darya river bed, somewhat removed from the bed (Fig. 5). Their extent is over 0.5 million ha. Some Takyr soils are in association with solonchaks and sands. The extent of their soil association, to the east and even more removed from the river bed, is over 600,000 ha. On the Usturt Plateau, to the west of the Amu Darya River Delta, are soil associations that include Takyr and Takyr-like soils too. This indicates that huge areas, of over 1 million ha, have a prime potential for generating PM<sub>10</sub> dust. In addition to the Takyr soils, Solonchak soils too have a PM<sub>10</sub> dust generating capability, some directly, as shown in this study for the Solonchak from Site V, and others if the abrading action of saltating sand grains is taken into account. Including the Solonchak soils as potential sources for PM<sub>10</sub> dust, would add at least 1 million ha in the Amu Darya River Delta, as well as a sizeable portion of the 4 million ha of desiccated Aral Sea bed.

The implication is that left in their present state, large areas in the SASB will continue under the impact of prevailing strong winds, to generate huge amounts of dust with all its negative ecological consequences. Probably the most efficient measure to counteract this is a massive program of phytomelioration for the conservation of the natural vegetation and by complementary revegetation by suitable plants (Wucherer and Breckle, 2001).

## **References**

- Amante-Orozco, A. (2000) Fine particulate matter generation under controlled laboratory and wind tunnel conditions. Ph.D. Dissertation. Texas Tech. University, Lubbock, TX 198 p.
- Breckle, S., Scheffer A. & Wucherer, W. (2001) Halophytes on the dry sea floor of the Aral Sea. p. 139-146. In: W. Breckle, M. Veste and W. Wucherer (Eds.) Sustainable Land Use in Deserts. Springer.
- Bundy, L.G. & Bremner, J.M. (1972) A simple titrimetric method for determination of inorganic carbon in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36:273-275.
- Chandler, D.G., Horning, L., Stetler, L. & Saxton, E. (1998) Relating empirical parameters of a dust emission model to loess soil properties. p. 42-44. In: Dust Aerosols, Loess Soils and Global Change (A. Busacca, ed.). Washington State University, Publication No. MISCO 190.
- Egorov, N., Fridland, A., Ivanova, I. & Rogov, I. (1987) Classification and diagnostics of the soils of the USSR. Translation from Russian, Balkema Press, Rotterdam. 385 pp.
- FAO (1998) World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports No. 84.

- Gill, T.E., Zobeck, T.M., Stout, J.E. & Gregory, J.M. (1999) Fugitive dust generation in the laboratory. Proceedings of the Wind Erosion International Symposium-Workshop USDA-ARS, Wind Erosion Research Unit, Kansas State University, Manhattan, KS 6 p.
- Gillette, D.A. (1977) Fine particulate emissions due to wind erosion. *Trans Amer. Soc. Agric. Engin.* 20(5): 890-897.
- Glantz, M.H. (1999) Sustainable development and creeping environmental problems in the Aral Sea region. p. 1-25. In: M.H. Glantz (Ed.) *Creeping Environmental Problems and Sustainable Development in the Aral Sea Basin*. Cambridge University Press, Cambridge. 291 pp.
- Gordian, M.E., Ozkaynak, H., Xue, J. Morris, S.S. & Spengler, J.D. (1996) Particulate air pollution and respiratory disease in Anchorage, Alaska. *Env. Health Perspectives* 104:290-297.
- Greeley, R. & Iversen, J.D. (1985) *Wind as a Geological Process on Earth, Mars, Venus and Titan*. Cambridge Planetary Sci. Series No. 4. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 333 p.
- Grigoryev, A. (1991) Ecological lessons of the past and present. Nauka, Leningrad, 251 pp. Cited in: Orlovsky, N., Glantz, M., Orlovsky, L., 2001. Irrigation and Land Degradation in the Aral Sea Basin. p. 115-125. In: W. Breckle, M. Veste and W. Wucherer (eds.) *Sustainable Land Use in Deserts*. Springer Verlag, 463 p.
- Homolya, J. (1999) Particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) Speciation Guidance Document. January 21, 1999. DRAFT 131 U.S. EPA.
- Hunser, C. & Nickling, W. (2001) The emission and vertical flux of particulate matter <10 µm from a disturbed clay-crust surface. *Sedimentology* 48:255-267.
- Ivanov, N., Chub, E., Subbotina, O., Tolkacheva, G. & Toryannikova, R. (1996) Review of the Scientific and Environmental Issues of the Aral Sea Basin. p. 9-21. In: *The Aral Sea Basin* (P. Micklin and W. Williams (Eds.)). Nato Asi Series 2, Environment – Vol. 12. Springer Verlag. 187 pp.
- Kosnazarov, K.A. (1985) Study of wind transport of dust and salt from dry bottom of the Aral Sea. Report on scientific research work, SANIIRI, Tashkent, p. 2-45.
- Kovda, V.A. (1973) Soils in relation to salinity, irrigation and drainage. In: *Irrigation, Drainage and Salinity – An International Source Book*. FAO/UNESCO, p. 55-79. Hutchinson, London.
- Micklin, P. (1988) Desiccation of the Aral Sea, a water management disaster in the Soviet Union. *Science* (4870) 241:1170-1176.
- Micklin, P. (1996) Introductory remarks on the Aral issue. p. 3-8. In: *The Aral Sea Basin* (P. Micklin and W. Williams (Eds.)). Nato Asi Series 2, Environment – Vol. 12. Springer Verlag. 187 pp.
- Orlovsky, N., Glantz, M. & Orlovsky, L. (2001) Irrigation and land degradation in the Aral Sea Basin. p. 115-125. In: W. Breckle, M. Veste and W. Wucherer (Eds.) *Sustainable Land Use in Deserts*. Springer Verlag. 463 pp.
- Pope, C.A.III, Bates, D.V. & Raizenne, M.E. (1996) Health effects of particulate air pollution: time for reassessment? *Env. Health Perspectives* 103:472-480.
- Rafikov, A. (1999) Regional desertification in the Aral Sea Basin. In: M.H. Glantz (Ed.) *Creeping Environmental Problems and Sustainable Development in the Aral Sea Basin*. Cambridge University Press, Cambridge. 291 pp.
- Razakov, R. & Kosnazarov, K. (1991) The processes of salt formation and aeolian transfer in the Aral Sea zone. FAN, Nucus, 190 p. (in Russian).
- Razakov, R. & Kosnazarov, K. (1996) Dust and salt transfer from the exposed bed of the Aral Sea and measures to decrease its environmental impact. p. 95-102. In: *The Aral Sea Basin* (P. Micklin and W. Williams (Eds.)). Nato Asi Series 2, Environment – Vol. 12. Springer Verlag. 187 pp.
- Semenov, O. (1990) Assessment of the amounts of salt and sand transfer from the draining area of a dune In: *Gidrometeorologicheskie problemy Priaralya* (Hydrometeorological problems of Ural region). Gidrometizdat, Leningrad, pp. 200-216 (in Russian).
- Singer, M. & Munns, D. (1999) *Soils, an Introduction*. Fourth Edition. Prentice Hall. 527 pp.
- Singer, A., Banin, A., Poberezsky, L. & Gilenko, M. (2001) Soil crusts in the Amudarya River Delta: Properties and formation. p. 103-114. In: W. Breckle, M. Veste and W. Wucherer (Eds.) *Sustainable Land Use in Deserts*. Springer Verlag. 463 pp.

- Soil Survey Staff. (1996) Keys to Soil Taxonomy. 7<sup>th</sup> Edition, USDA. Natural Resources Conservation Service, Washington. 644 pp.
- Soviet Soil Survey Staff (Antizatorova et al.) (1969) Soil Map of the Karakalpak Autonomous Region. Ministry of Interior, Nukus.
- Tegen, I., Lacis, A.A. & Fung, I. (1996) The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils. *Nature* 380:419-422.
- Tolkacheva, G.A. (1995) On the assessment of the possible extent of salt transport carried along by wind from the dried coast and sea bottom part and water surface of Aral Sea. Proceeding of SANIGMI, Tashkent, p. 13-18.
- Tolkacheva, G.A., Kovalevskaya, J.I., Askenova, L.A., & Gorelkin, N.E. (1995) Study of the chemical composition of the Aral Sea area soils and their contribution to the processes of aerosol formation. Proceeding of SANIGMI, Tashkent, p. 55-64.
- Tsitsasov, G.N. (ed.) (1990) Hydrometeorological problems of the Aral region. *Gidrometeozdat*. Leningrad. 277 pp.
- Tsoar, H. & Pye, K. (1987) Dust transport and the question of desert loess formation. *Sedimentology* 34:139-153.
- Wucherer, W. & Breckle, S.W. (2001) Vegetation dynamics on the dry sea floor of the Aral Sea. p. 53-68. In: W. Breckle, M. Veste and W. Wucherer (Eds.) *Sustainable Land Use in Deserts*. Springer Verlag.
- Zobeck, T.M., Gill, T. & Popham, T. (1999) A two-parameter Weibull function to describe airborne dust particle size distributions. *Earth Surf. Process. Landforms* 24:943-955.
- Zobeck, T.M., Upchurch, D.R. & Rhoton, F.E. (2000) Ferrihydrite influence on soil aggregate stability: Effect on dustiness. *ASA/CSSA/SSSA Annual Meetings Abstracts*, American Society of Agronomy, Madison, WI. p. 315.
- Zobeck, T.M. & Amante-Orozco, A. (2001) Effect of Dust Source Clay and Carbonate Content on Fugitive Dust Emissions. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Emission Inventory Conference*, Denver, CO.

**Acknowledgements.** This research was supported in part under Grant No. CA16-013 US-Israel Cooperative Development Research Program, Economic Growth, US Agency for International Development. Mr. Dean Holder from the USDA-Agricultural Research Service is thanked for his devoted sample and data processing work.

# Erfassungs- und Bewertungskriterien für die nachhaltige Tiefengrundwasserbewirtschaftung unter besonderer Berücksichtigung des Gallneukirchner Beckens (Kurzfassung der Dissertation)

M. FERSTL<sup>1</sup>

Tiefengrundwässer spielen weltweit eine große Rolle. Aufgrund des durch nahezu undurchlässige Deckschichten und hohe Verweilzeiten gegebenen natürlichen Schutzes stellen diese Wässer für die Wasserwirtschaft eine qualitativ hochwertige Ressource dar; die balneologischen und thermischen Nutzungsmöglichkeiten gewinnen immer mehr an Bedeutung.

Auch zur Absicherung einer Trinkwassernotversorgung für den Fall einer flächenhaften Verseuchung oder Verunreinigung seichterer Aquifere bieten gut geschützte, tiefliegende Grundwasservorkommen die beste Alternative. Da Tiefengrundwässer nur in begrenzter Menge verfügbar sind, ist die nachhaltige Bewirtschaftung besonders wichtig.

Die Dissertation beschäftigt sich zunächst mit den Eigenschaften und Besonderheiten von Tiefengrundwasser und geht auf die Grundlagen der Grundwassermodellierung und der Erstellung von numerischen Modellen ein. Beispiele für Tiefengrundwasservorkommen in Europa schließen den theoretischen Teil ab.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird ein Überblick über das Gallneukirchner Becken, in dem Tiefengrundwässer auffindbar sind, gegeben.



Abb. 1: Die Lage des Gallneukirchner Beckens

Das Gallneukirchner Becken liegt in Form einer Randbucht des tertiären Molassemeeres am Südrand des Kristallins der Böhmisches Masse. Es handelt sich dabei um ein asymmetrisches Becken entlang einer sehr markanten, NW-SE streichenden Störung mit dextralem Schersinn, die das Becken am SW-Rand begrenzt. Entlang dieser Schwächezone wurde die SW-Scholle gegenüber der NE-Scholle deutlich herausgehoben.

<sup>1</sup> Mag.Dr. Michael FERSTL, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz, michael.ferstl@stmk.gv.at

Über dem kristallinen Basement lagern vom Liegenden ins Hangende die tertiären Schichtfolgen des Pielacher Tegels, der den Aquifer bildenden Linzer Sande und des Älteren Schliers, der im Südteil noch von quartären Lössablagerungen überdeckt wird. Die Grundwässer sind (teils artesisch) gespannt und weisen großteils die Merkmale von Tiefengrundwässern auf. Obwohl dieser geologische Aufbau nahezu im gesamten Becken gültig ist, unterscheiden sich die Gesteinsserien doch hinsichtlich ihrer hydrogeologischen und hydrochemischen Merkmale, weshalb eine Unterteilung in drei Beckenabschnitte sinnvoll erscheint:

**Der nördliche Beckenbereich**, der von der Großen Gusen durchflossen wird, variiert sehr stark in seinen Eigenschaften. Die Schlierüberdeckung steigt von Nordost nach Südwest an, die Aquifer-Mächtigkeiten sind im Vergleich zu den anderen Beckenabschnitten gering. Die Linzer Sande sind nicht über die gesamte Beckenbreite anzutreffen. Das Grundwasser kann laut Nomenklatur nicht als reines Tiefengrundwasser bezeichnet werden, da signifikante Tritiumwerte vorliegen. Dies wird durch einen verstärkten Grundwasserzufluss von den Seitenrändern hervorgerufen, wodurch Mischwässer erzeugt werden. Durch die Sauerstoff-18 Analysen kann für den nördlichsten Teil ein höher gelegenes Einzugsgebiet als für die restlichen Bereiche nachgewiesen werden, da offensichtlich Wasser von der Großen Gusen in den Untergrund infiltrieren.

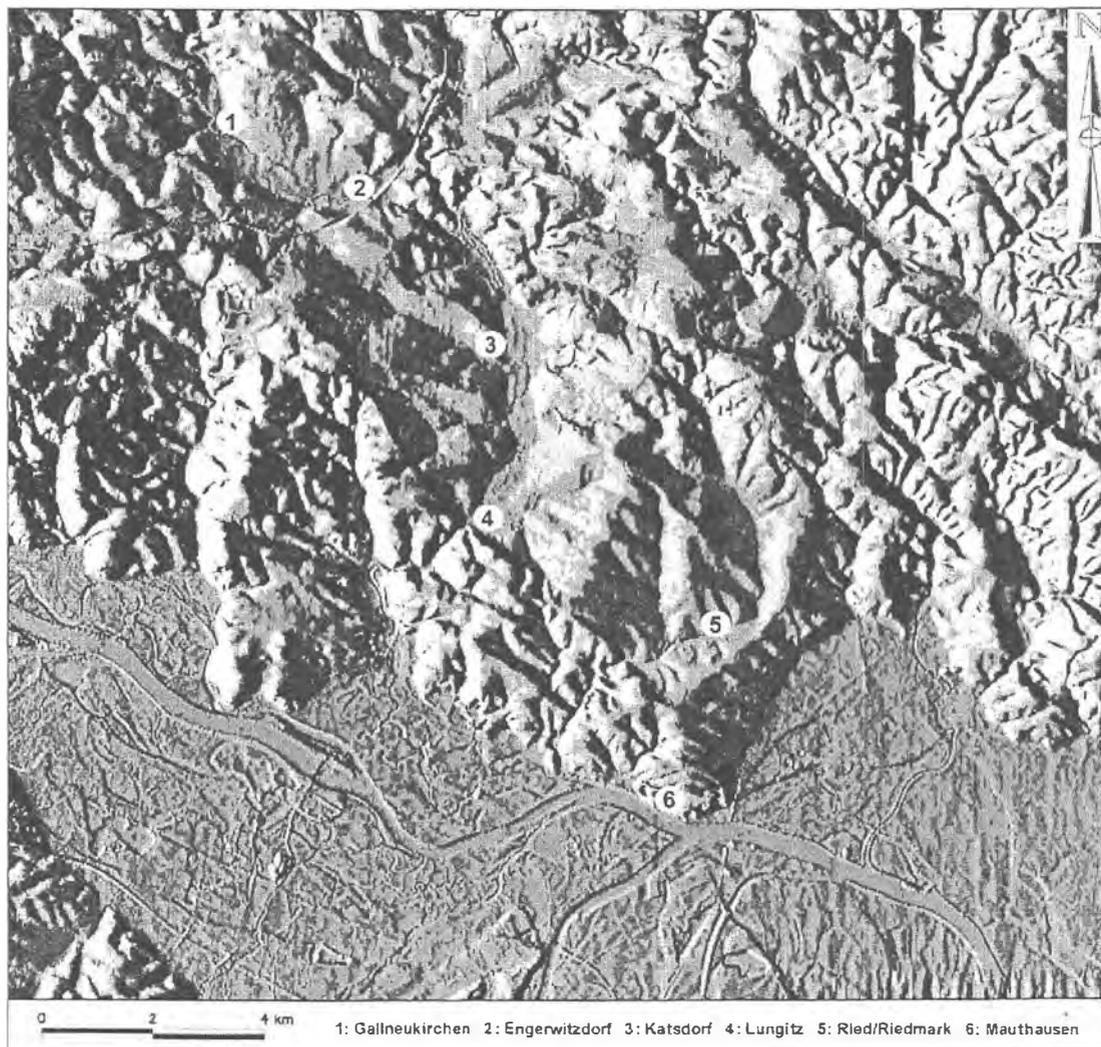


Abb. 2: Darstellung des von Südwesten beleuchteten digitalen Höhenmodells

Auch die Hydrochemie variiert sehr stark. Während im Norden überwiegend Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> (-SO<sub>4</sub>)-Wässer mit Leitfähigkeiten von 300-500 µS/cm auftreten, ist der südlichere Bereich von im Vergleich extrem hohen Ionenkonzentrationen geprägt, die auf ein Schliereinzugsgebiet hindeuten. Hier ergeben Messungen der Leitfähigkeit Werte bis zu 1500 µS/cm. Diese Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>-Wässer scheiden aufgrund ihrer erhöhten Werte für die Trinkwasserversorgung aus. Die Grundwassertemperaturen liegen recht einheitlich zwischen 11 und 12 °C.

Grundwasserbelastungen durch Nitrit, Nitrat und Ammonium sind nicht gegeben. Die Phosphatwerte beim Klaus-Brunnen sind jedoch anthropogen bedingt leicht erhöht. Die Pestizidgehalte liegen unterhalb der zulässigen Grenzwerte.

Fast alle Pumpversuche bestätigten vorhandene Grundwasserkapazitäten und Nutzungsmöglichkeiten, nur bei den zwei Grundwassersonden, bei denen eine Grundwasserführung im Pielacher Tegel auftritt, konnte kein Beharrungszustand erreicht werden.

In Anbetracht dessen, dass beim Linzer Brunnen ca. 1.300 m<sup>3</sup>/Tag, beim Klaus Brunnen ca. 1.300 m<sup>3</sup>/Tag und beim Brunnen Engerwitzdorf ca. 600 m<sup>3</sup>/Tag gefördert werden, fällt der nördlichste Beckenbereich für weitere größere Grundwasserentnahmen aus.

**Der zentrale Beckenbereich** wird in seiner Mitte von der Gusen geteilt, die hier als Vorfluter fungiert. Sie durchbricht südwestlich von Lungitz die kristalline Hangflanke und verlässt das Becken. Das leicht hügelige Gelände zeigt eine erosionsbedingte Eintiefung entlang des Flusslaufes der Gusen. Deswegen und auch aufgrund einer in diesem Bereich verlaufenden Störung ist die Deckschicht-Mächtigkeit sehr gering. Diese Störung wird im Norden und im Süden von dextral orientierten Scherzonen begrenzt. Es handelt sich dabei also um einen großen Riedel, um eine Schwächezone, innerhalb der größere Durchlässigkeiten und „aufgelockertes“ Gestein zu erwarten sind.

Der Aquifer der Linzer Sande weist in diesem Teil seine größten Mächtigkeiten auf.

Das Grundwasser ist tritiumfrei, Kohlenstoff-14 Messungen bei der Grundwassersonde Schörgendorf II weisen ein Wasseralter von ungefähr 6.500 Jahren aus. In diesem Beckenabschnitt sammeln sich auch Teile der Grundwässer des nördlichen und des südlichen Beckenbereichs. Sie exfiltrieren entlang der Störung parallel zur Gusen.

In erster Linie treten Grundwässer des Ca-(Na-)Mg-HCO<sub>3</sub> Typs auf, die Hauptionenkonzentrationen sind konstant, die Leitfähigkeit beträgt ungefähr 500 µS/cm. Nur im Nordwesten sind höhere Ionenkonzentrationen gegeben, da diese Grundwässer sich mit den Wässern aus dem nördlichen Beckenabschnitt mischen, die ein reines Schliereinzugsgebiet aufweisen. Grundwasserbelastungen durch Nitrit, Nitrat, Ammonium, Phosphat oder Pestizide treten nicht auf. Die Grundwassertemperaturen schwanken zwischen 11 und 13 °C.

Die Infiltration findet vor allem an den Beckenrändern und an den westlich von Katsdorf an der Geländeoberkante ausstreichenden Linzer Sanden statt.

Pumpversuche und Pumpversuchssimulationen lassen große Grundwasserkapazitäten erwarten. Vor allem im Gebiet zwischen Oberthal, Katsdorf, Standort und Schörgendorf dürften Entnahmemengen von bis zu 30 l/s möglich sein. Dies resultiert daraus, dass sich südöstlich von Lungitz der Beckenauslass befindet und Grundwässer von allen Seiten zufließen. Außerdem weist der Aquifer beträchtliche Mächtigkeiten auf.

In diesem Beckenabschnitt befindet sich kein öffentlicher Brunnen außer einem stillgelegten in Katsdorf. Obwohl sich die Grundwässer hinsichtlich Qualität und Ergiebigkeit bestens für eine Wasserversorgung eignen und sich der Aquifer in nicht allzu großer Tiefe befindet, werden die Grundwasserressourcen nicht genützt.

Der südliche Beckenbereich wird zu einem Großteil vom Rieder Bach entwässert, der nördlich von Marbach das Becken verlässt. Über dem Schlier sind über weite Teile noch Lössablagerungen anzutreffen. Diese aus diesen beiden Schichtgliedern gebildete

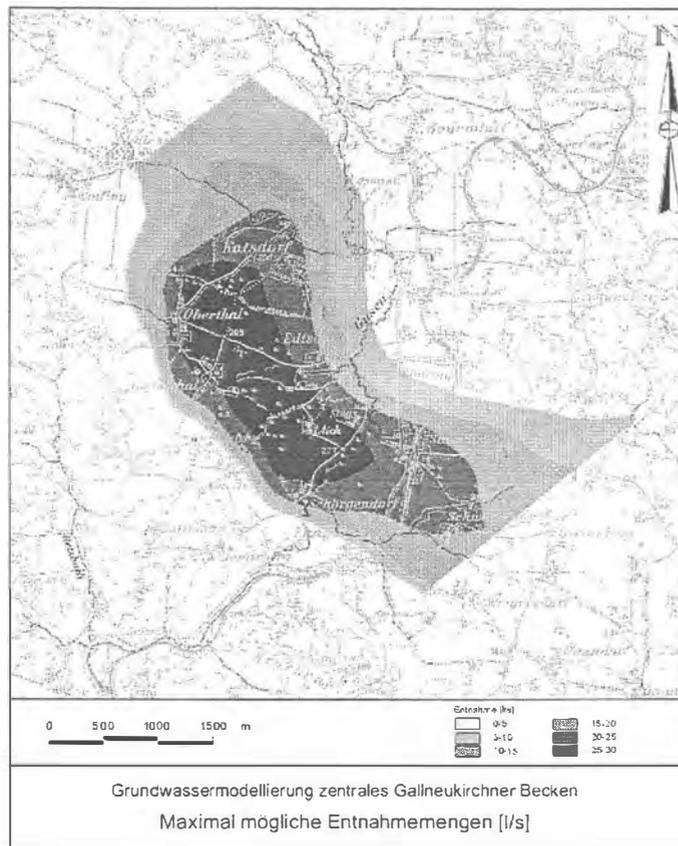


Abb. 3: Maximal mögliche Entnahmemengen im zentralen Gallneukirchner Becken aufgrund der mit dem Computerprogramm „Visual Modflow“ durchgeführten Grundwassermodellierung

Deckschicht ist nirgends im Becken so mächtig wie im südlichen Abschnitt. Auch der Aquifer weist beträchtliche Mächtigkeiten auf, die aber doch geringer als jene im zentralen Beckenbereich sind. Die Grundwässer sind im Allgemeinen tritiumfrei und können somit als Tiefengrundwässer bezeichnet werden. Nur die Grundwassersonde Edt weist leicht erhöhte Tritiumwerte auf, was auf einen verstärkten Zufluss von den östlich von Katsdorf an der Geländeoberkante austreichenden Sanden zurückzuführen ist.

Trotz der mächtigen Schlierüberlagerung weisen die Hauptionenkonzentrationen dieser Ca-(Na-)Mg-HCO<sub>3</sub>-Wässer im Vergleich zum restlichen Becken durchschnittliche Werte mit Leitfähigkeiten zwischen 300 und 500 µS/cm auf, eine Grundwasserbelastung ist nicht erkennbar. Offensichtlich liegt das Einzugsgebiet für diesen Aquiferabschnitt ausschließlich an den Beckenrändern.

Pumpversuche und die durchgeführte Grundwassermodellierung weisen diesen Bereich als sehr strömungsarm aus. Dass hier nur eine geringe Grundwasserdynamik herrscht, wird auch durch die erhöhten Wassertemperaturen bis zu 17 °C ganz im Süden unterstrichen.

Am Ostrand befindet sich der Wasserversorgungsbrunnen Loitzenberg, dem etwa 200 m<sup>3</sup>/Tag entnommen werden. Dieser Brunnen nimmt in vielerlei Hinsicht eine Sonderstellung ein. Ein ausreichender Zustrom aus dem Kristallin sichert den Wasserzufluss, von der Hydrochemie her sind diese Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Wässer jenen der Wasserversorgungsbrunnen im Norden des Gallneukirchner Beckens sehr ähnlich. Pumpversuche belegen, dass dieser Aquiferteil nicht mit den umliegenden kommuniziert.

Generell gesehen sind im südlichen Beckenbereich die Voraussetzungen für eine dauerhafte Wassernutzung nicht gegeben.

# UDEC-application to the rock slope of “Sant’ Andrea di Cadore” (Veneto Region, Italy)

(Kurzfassung der Diplomarbeit)

**A. OBERHAUSER<sup>1</sup>**

## Abstract

In times of increasing risks and damages caused by natural disasters it has become necessary to observe the traffic routes which are passing through the Alpine range. Also historic traffic routes have to be assessed with new scientific methods.

The applicability of rock mass classification systems to high rock slopes will be investigated. Therefore the rock slope of “Sant’ Andrea di Cadore”, situated in the Piave valley along the railway line Treviso – Calalzo, with an average height of 100 metres is taken as an example. The results will be confirmed by modelling and simulating the behaviour of the rock slope with the means of the Distinct Element Method (UDEC 3.1).

## Zusammenfassung

In Zeiten von steigenden Risiken und Zerstörungen, die von Naturkatastrophen verursacht werden, wird es zusehends notwendig, die bestehenden Alpentransversalen erneut zu überprüfen und ständig zu beobachten. Auch historisch bestehende Verkehrswege müssen mit neuen wissenschaftlichen Methoden untersucht und beurteilt werden.

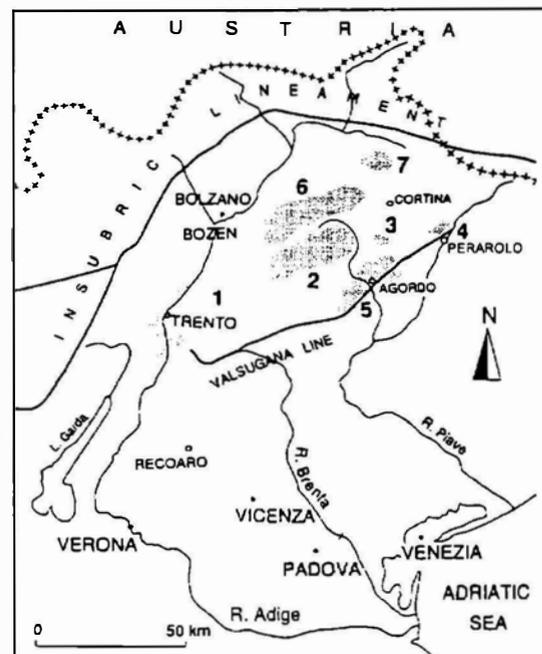
Die Anwendbarkeit und Eignung verschiedener Felsklassifikationssysteme auch für hohe Felsböschungen soll untersucht werden.

Hierfür wurde die Felsböschung „Sant’ Andrea di Cadore“, im Piavetal oberhalb der Eisenbahnlinie Treviso – Calalzo liegend, als Beispiel herangezogen. Die Felsböschung hat eine durchschnittliche Höhe von 100 m. Die Ergebnisse werden an Hand einer Simulation nach der Diskreten Element Methode (UDEC 3.1) verifiziert.

## 1 GEOLOGICAL SETTING

**Fig. 1 – Scheme of the Dolomite Region; DE ZANCHE et al. (1993) Legend: 1, Adige Valley; 2, SW Dolomites; 3, W Cadore; 4, eastern-central Cadore; 5, Agordo and Zoldo area; 6, NW Dolomites; 7, Braies area**

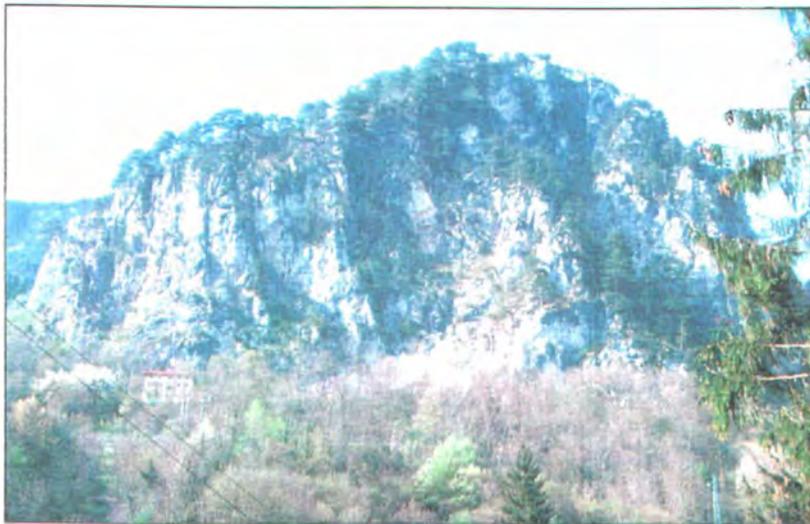
The area of this thesis submitted for a diploma is situated in the Eastern Dolomites at the confluence of the River Piave and the River Boite. The slope is exposed at S to WSW direction. The route of the railway line Belluno – Calalzo di Cadore and the old SS (Strada Statale) 51 “Alemagna”, connecting Belluno, Longarone and Cortina d’Ampezzo are passing right through the landslide area. Above the railway line, at km 122+905,62 a rock slope of an average height of 100m menaces the line itself as well as the road and several houses (Case di St. Andrea).



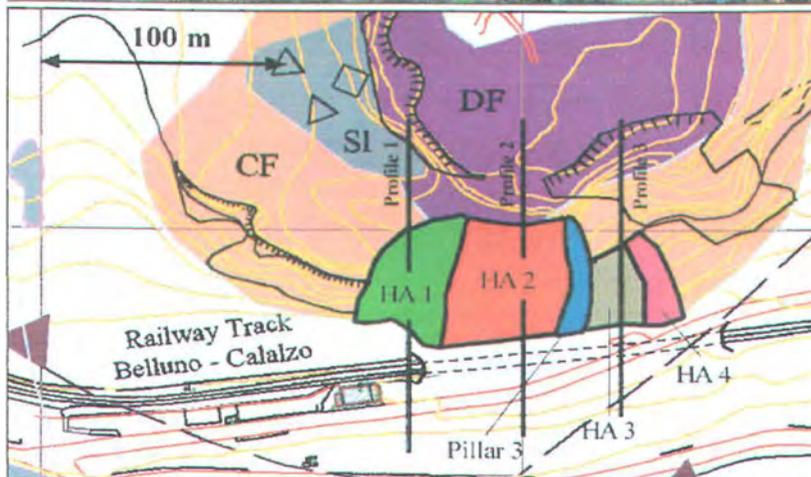
<sup>1</sup> Dipl.Ing. Andreas OBERHAUSER, 1030 Wien, obi1@gmx.at

The rock slope consists in the lower part of the Cassian Formation (Carnian depositional sequence 2, DE ZANCHE, 1993) and in the upper part it is formed by the Dürrenstein Formation (Carnian depositional sequence 3). For about 100m along the railway line in direction Belluno, there is another endangered area. Placed in the Quaternary of the Valle del Boite (Boite Valley) a debris flow took place right underneath the railroad track. It occurred in December of the year 2000 after a heavy rainfall in the Cadore region. The debris flow phenomenon is situated in down slid big blocks of the Raibl Formation consisting of gypsum, red marls and gravel. Into this area during the past decades several boreholes were drilled to obtain more precise information on the debris flow. Thus, these two traffic lines, together with the village Perarolo di Cadore, are endangered by possible further slope movements.

According to stratigraphic units, the area is situated at the Lower Carnian age (Julian), consisting of the sequences Car 2 and Car 3. The Upper Carnian depositional sequence (Car 4) corresponds to the Raibl Formation. The Lower Norian depositional sequence (No 1) mainly consists of Dolomia Principale (DE ZANCHE, 1993). This landslide area is situated inside the Valsugana line, south of the main thrust outcrops. The Valsugana line is one of the main tectonical thrusts in the Dolomites. South of the Valsugana line, an escorting minor thrust plane may separate the dolomites of the Cassian Formation from underlying Raibl beds with gypsum. These circumstances make the rock mass extremely disordered and faulted.



**Fig. 2** – The rock slope of “Sant’ Andrea di Cadore”.  
Picture taken from the opposite side of the Boite valley



**Fig. 3** – Sketch of the rock slope and the “Homogeneous Areas” inside (HA1 – HA4).

The profiles indicated are the three assumed profiles for UDEC-calculation.

**Lithology:**

**CF** Cassian Formation  
**DF** Dürrenstein Formation  
**SI** (Rockslide)

## 2 THE SURVEY

The aim of the survey was to develop a Distinct-Element model of the rock slope, using the program UDEC 3.1 (Itasca, 2000). A Distinct-element model requires several input parameters, which are derived either by the means of field survey or by laboratory testing.

These input parameters are:

(using the Coulomb-Slip model)

- Joint normal stiffness
- Joint shear stiffness
- Friction angle
- Cohesion
- Tensile strength
- Dilation angle
- and, of course
- Joint Orientation

It is, however, very difficult to obtain an appropriate number of undisturbed rock specimen for testing. Furthermore, tests are expensive and usually they take a lot of time.

Therefore the Rock Mass Classification Systems have been developed. These classification systems try to derive the parameters for calculation by a statistical approach. To create these systems, numerous rock slopes and debris flows all around the world were investigated, the failure mechanisms studied and the obtained data put into a classification system.

It is now possible to derive the required input parameters for distinct-element calculation from a visual survey of a rock slope, combined with the help of field tools like Clar's compass, the Point-Load-Test tool and the Schmidt-Hammer.

The classification systems used in the survey were:

- Rock Mass Rating *RMR* (BIENIAWSKI, 1973, 1979, 1984, 1989)
- Slope Mass Rating *SMR* (ROMANA, 1985)
- Landslide Hazard Zonation *LHZ* (GUPTA and ANBALAGAN, 1995)
- Geological Strength Index *GSI* (HOEK, 1999)
- Slope Stability Probability Classification *SSPC* (HACK, 1998)

Parameters derived with the help of field tools:

- Discontinuity orientation (Clar's compass)
- Joint Roughness Coefficient (JRC)
- Joint Compression Strength (JCS)
- Compressive Strength  $\beta_c$ , Friction Angle  $\varphi$  (Schmidt Hammer Index Test)
- Compressive and Tensile Strength  $\beta_c, \beta_t$  (Point Load Test)

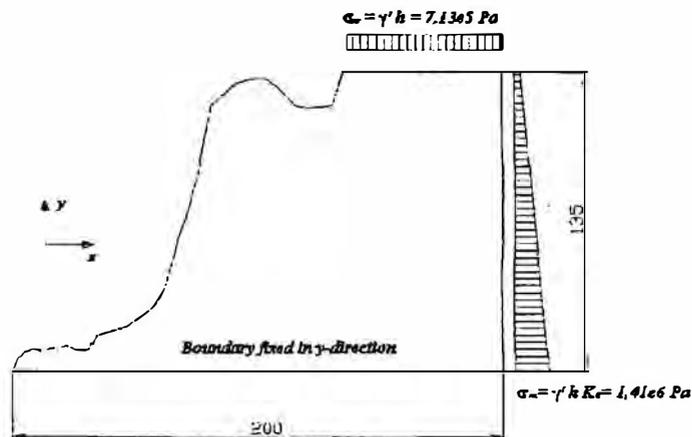
All the 5 classification systems mentioned have been taken into consideration for the survey of the slope. The values are presented in the following chapter.

Joint orientations were measured by two means. On the one hand with the classical method of the Clar's compass, and on the other hand by photogrammetric survey of the slope (with the ZEISS UMK 10/1318).

### 3 PERFORMANCE OF ANALYSIS OF THE ROCK SLOPE “SANT’ ANDREA DI CADORE” USING UDEC 3.10

The following analysis of the rock slope was performed, taking account of the proposed solution scheme presented by the Itasca Consulting Group.

Load assumptions were applied due to the following scheme.



**Fig. 4** – Load assumption for Profile 1; Load assumption for Profile 2 is analogous to Profile 1

Measure in metres

The rock parameters for the simulation were taken from Table 1.

SUMMARY OF PARAMETERS – TRIASSIC DOLOMITE (CASSIAN F.)		
Rock Parameters	Derived by classifications (Rock Mass Values)	by laboratory testing (Solid Rock Values)
Unit Weigth [kg/m <sup>3</sup> ]		2850 kg/m <sup>3</sup>
Young's Modulus $E$ [MPa]	$14 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$
Bulk Modulus $K$ [MPa]	$15 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$
Shear Modulus $G$ [MPa]	$5 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$
Friction Angle $\varphi$ [°]		60
Cohesion $c$ [MPa]		15
Uniaxial Tensile Strength $\sigma_t$ [MPa]		5
Dilation Angle $\psi$ [°]		0
Joint Parameters		
Friction Angle $\varphi$ [°]	24 – 35	45
Cohesion $c$ [MPa]	2	0,2
Uniaxial Tensile Strength $\sigma_t$ [MPa]		0
$jkn$ [Mpa/m]	$19 \cdot 10^3$	$6 - 18 \cdot 10^3$
$jks$ [Mpa/m]	Senseless values	$9 - 30 \cdot 10^3$
Rock Mass Parameters		
$E_d$ (for RMR<50) after Serafim+Pereira (1983) [MPa]	$5 \cdot 10^3$	
$E_d$ (for RMR<50) after HOEK (1997) [MPa]	$4 \cdot 10^3$	
$E_d$ (by GSI) after HOEK (1999) [MPa]	$4 \cdot 10^3$	

**Table 1** – Summary of parameters assumed for each model run. Parameters taken from field survey and derived from classification systems

**Assemble problem specific data, prepare detailed model runs**

Material values for the blocks were taken from Table 1, according to the laboratory values for dolomite. As material model for the blocks was chosen the **Mohr-Coulomb model** ( $cons=3$ ), for the joint system the **joint area contact** ( $jcons=2$ ) model. These are the standard models assumed in stability calculation for rock slopes.

At the areas close to the right boundary of the system, the joint friction angle was set from  $45^\circ$  to  $60^\circ$  in order to assume a valid representation of undisturbed rock mass inside the slope. This higher friction angle was changed for a range up to 50m left of the right border.

Close to the surface of the slope a lower friction angle of  $25 - 35^\circ$  was applied. These values were obtained by the means of the classifications. It shall represent weakening and weathering of joints next to the surface.

These sudden changes of friction angles will cause discontinuities in the stress picture of the system. Therefore, the model was chosen big enough. As a rule of thumb it can be said, that a model should be 5 times as large as the survey area in order to avoid disturbances from the borders.

**Perform the model calculations**

First of all, after applying boundary conditions and gravitational loads, the models were calculated into a primary equilibrium stage. This is necessary to be able to continue with further load application and calculation.

16 model runs have been performed, assuming different orientations of failure planes. By observing the resulting movements of the system, the most realistic failure plane can be determined, or, by further variation of joint parameters, the most realistic model can be found.

**Profile 1**

A discontinuity system with a dip of  $20^\circ$  with the slope and  $45^\circ$  against the slope was chosen to be the most realistic. The model was brought to initial equilibrium and afterwards stresses were applied.

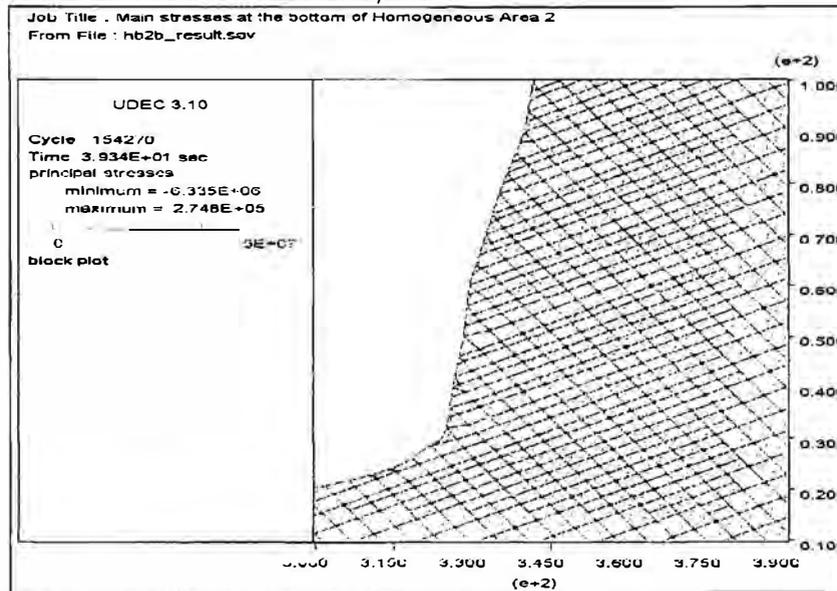
In a second stage of the simulation, **dynamic loading** was simulated. The assumed velocity of oscillation was  $v_x=5cm/s$  in the x-direction. As a result, the slope becomes unstable and UDEC stops the calculation due to contact overlap. This indicates that highly weathered parts of the wall could fail due to an earthquake.

**Profile 2**

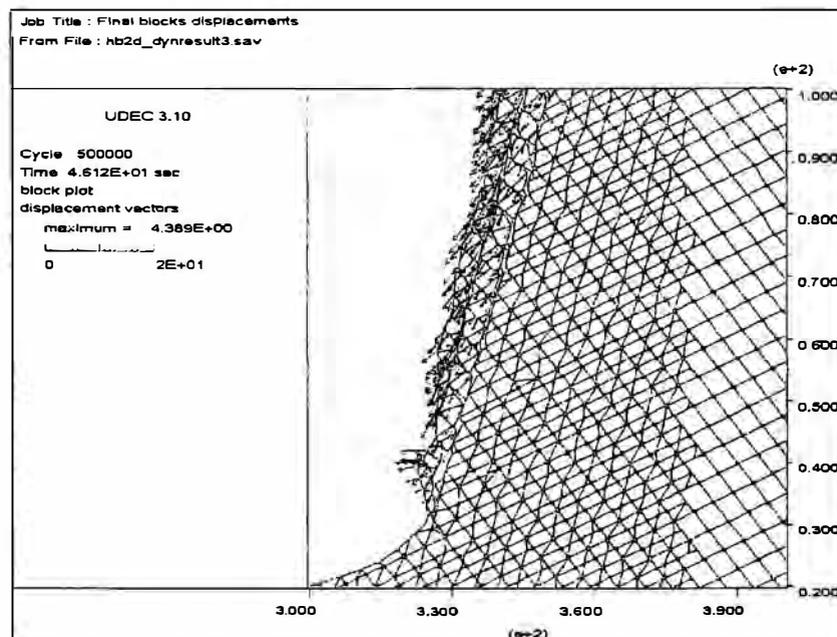
The same discontinuity sets as in Profile 1 were chosen, only the set with the dip angle of  $70^\circ$  was skipped. After bringing the model into initial equilibrium, static stresses were applied (*Fig.5*). The values for cohesion and friction angle were determined by conceptual models with big block size (about 30 m). These are  $\varphi=35^\circ$  and  $c=0,2MPa$ , because Area 2 seems less weathered. For this detailed calculation, a block size of 2-4m was assumed inside the slope and a block size of approximately 2m at the surface. During the stress calculation small block failure occurred in the upper part of the slope. This is a realistic result for the zone and corresponds to the observations made during the field survey.

The **dynamic response** of the system was stable. A velocity of oscillation of  $v_x=5cm/s$  in the x-direction was applied. Only a simple dynamic analysis was performed and viscous boundaries were applied at the borders.

The result for the assumed values is satisfying. Being subject to dynamic loading, the slope remains stable at a friction angle of  $\phi=35^\circ$  and a cohesion of  $c=200000\text{Pa}$ . Displacements remain in the order of 0,2mm.



**Fig. 5** – Main stresses in Profile 2, they follow the usual distribution of stresses inside a rock slope



**Fig. 6** – Slope failure as a result of strong weathering and application of a critical discontinuity plane. Displacements are in the range of 4m now. This situation does not correspond to reality.

### **Result and comment on stability**

The rock slope can be assumed stable in most of its parts. Only highly weathered areas are likely to fail if dynamic loading occurs. Still, if an enlargement of the passing traffic routes is planned, measures have to be taken to ensure further stability in the case of extraordinary loading (earthquake, high precipitation). The slope is menacing several houses and the railway line before it enters the tunnel. However, the more critical area considering the traffic routes is the underneath debris flow in the gypsum outcrop. It causes direct danger for the railway as well as for the Boite River.

## 4 CONCLUSIONS

Summing up, UDEC is a powerful tool in rock engineering, but it has its weaknesses. It would be a mistake to believe that numerical modelling can replace a detailed field survey. As the example of the slope of "Sant' Andrea di Cadore" shows, by changing only one single parameter it is possible to obtain almost any result. Therefore, care has to be taken to adjust or assume the parameters in a realistic way. The interpreter should try to avoid constructing the model according to the expected behaviour. Therefore, the engineering geologist can never be replaced in his task of revealing the relevant parameters.

Classifications in this respect provide a rather objective evaluation system for rock slope engineering. Especially the SSPC method tries to filter out the observer's expectations.

The combination of both, the classification systems on the one hand and the numerical model on the other hand, leads to considerable results and helps to predict the behaviour of rock mass and provides a suitable design tool for rock engineering.

## 5 REFERENCES

- BANDIS S.C., LUMSDEN A.C., BARTON N.R. (1983): *Fundamentals of Rock Joint Deformation* - Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 20, No.6, pp. 249-268.
- BARTON N., CHOUBEY V. (1977): *The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice*- Rock Mechanics 10, pp. 1 – 54, Springer.
- BERTI M., GENEVOIS R., GHIROTTI M., TECCA P.R. (1996): *Mechanical characteristics and behaviour of a complex formation by landslide investigations and analyse* - Landslides, Senneset (ed.), Rotterdam.
- BIENIAWSKI Z.T. (1989): *Engineering rock mass classifications, a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering* – Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York.
- DE ZANCHE V., GIANOLLA P., MIETTO P., SIORPAES C., VAIL P.R. (1993): *Triassic Sequence Stratigraphy in the Dolomites (Italy)* - Mem. Sci. geol., v.45, pp. 1-27, Padova.
- HART R.D. (1991): *General Report: An introduction to distinct element modelling for rock engineering* - pp. 1881 – 1891, Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis, Minn., USA.
- HOEK E. (1999): *Putting Numbers to Geology – An Engineer's Viewpoint* - Felsbau (17) Nr.3, Verlag Glückauf Essen.
- ITASCA CONSULTING GROUP INC. (2000): *UDEC Universal Distinct Element Code User Guide* - Minneapolis, Minnesota.
- LAMA R.D., VUTUKURI V.S. (1978): *Handbook on Mechanical Properties of Rocks – Testing Techniques and Results* – Trans Tech Publications, Switzerland
- SCHWINGENSCHLÖGL R., ROCKENSCHAUB M. (1990): *Ingenieurgeologische Charakteristika zur Felsklassifizierung* – Schriftenreihe Straßenforschung, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Heft 380.

