

Geotechnische Erkundungsstrategien bei der Tunnelplanung

G. Riedmüller¹

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.

¹ 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).

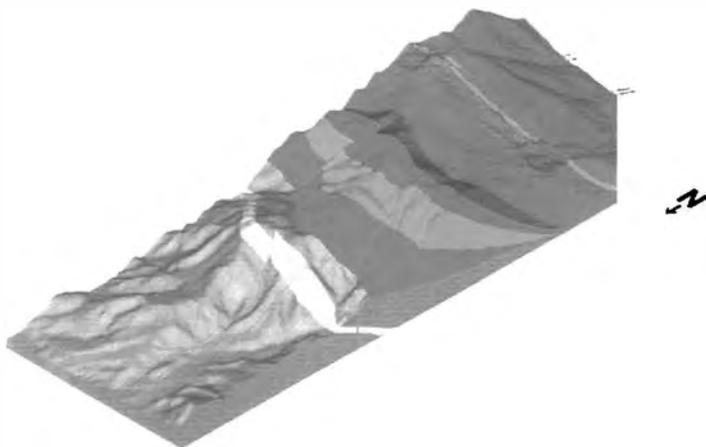


Abb. 1:
Tunnel T-04, geologisches 3D-Modell des Projektgebietes:
 Verschuppung von Amphibolit (dunkelgrün), Chloritphyllit (hellgrün), Quarzit (braun), Marmor (blau), Schwarzphyllit (dunkelviolett), Meta-Sandstein (hellgrau) und Tonschiefer (dunkelgrau).

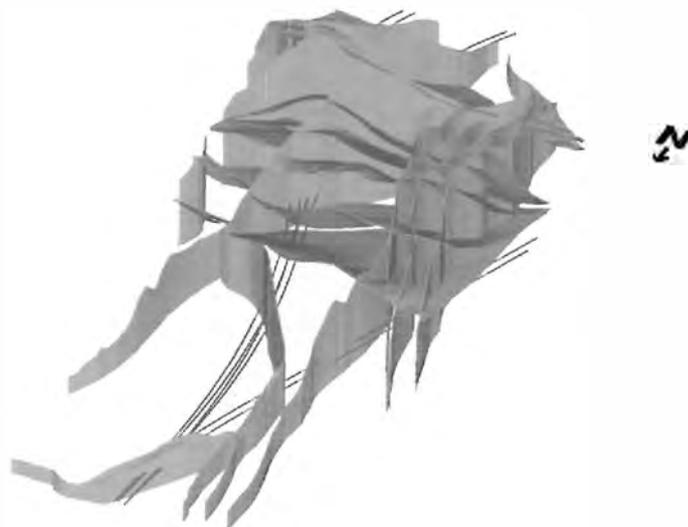


Abb. 2:
Tunnel T-04, 3D-
Modell des Stö-
rungsmusters:
Schrägabschiebungen
(„Tear Faults“) ver-
stellen
Aufschiebungen

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	ν	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 (ν) und Einfluß stärkerer Gebirgszerlegung (GSIg)

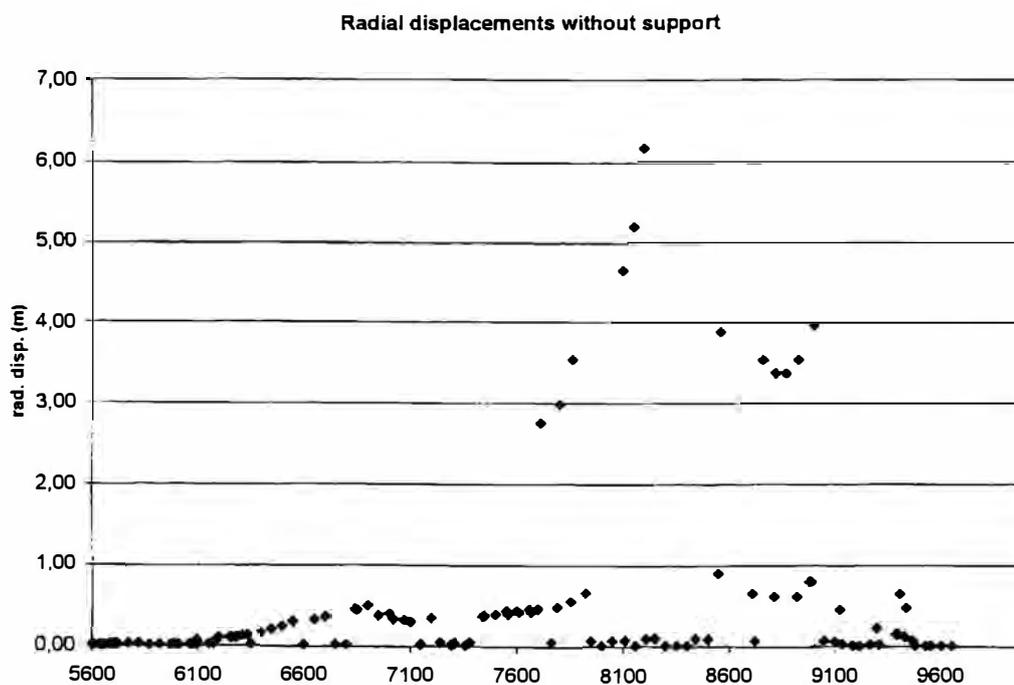
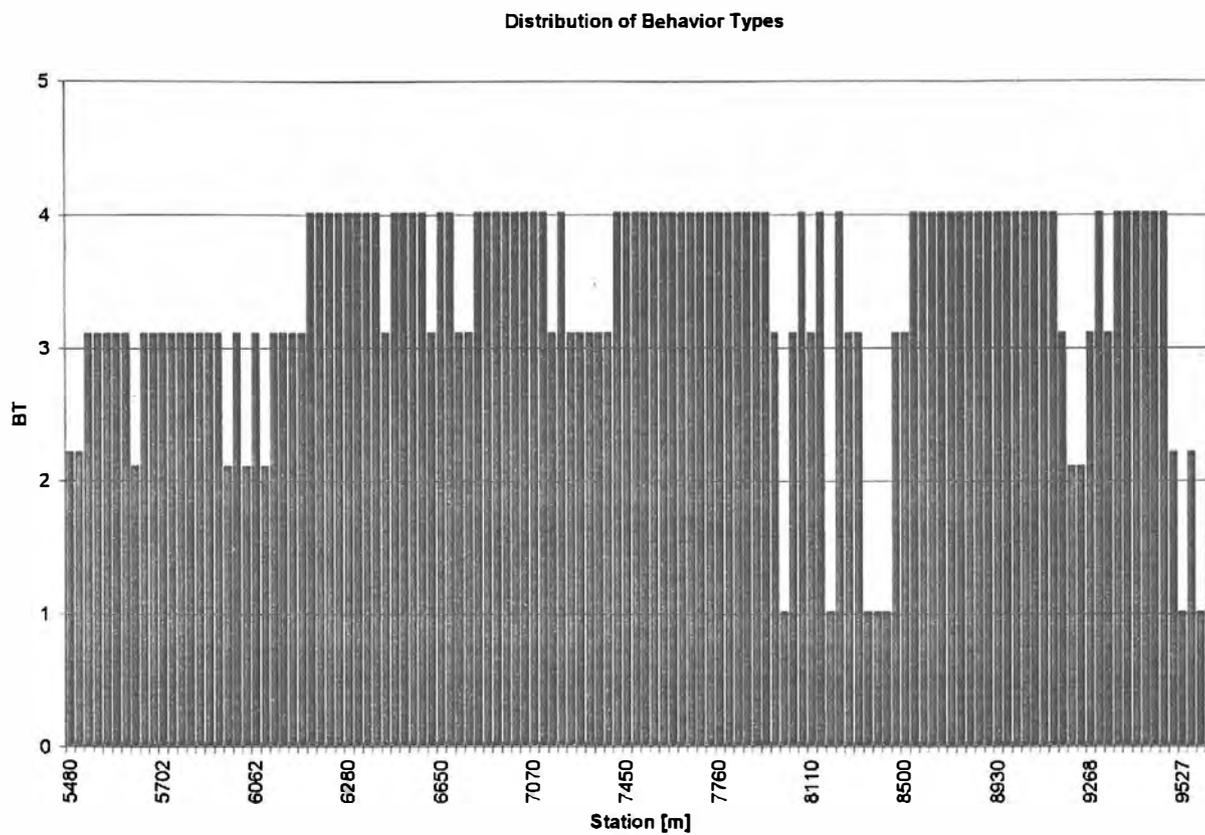


Abb.4: Tunnel T-04 / Variante 2: Radialverschiebungen, berechnet entlang der Tunneltrasse



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.* 2nd 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.