

Der Durchschlag – Gedanken zur räumlichen Spannungsumlagerung

Von Ing. Günter Huber, Dipl.-Ing. Albert F. Steindorfer und Dipl.-Ing. Gerolf Laserer

Der Artikel befaßt sich mit der nachträglichen Analyse der Spannungsumlagerungsvorgänge im Bereich des Durchschlages (Bild 1). Zur möglichst realitätsnahen Erfassung von geotechnischen Vorgängen sind im Tunnelbau die herkömmlichen Darstellungsformen in den bekannten Zeit-Weg Diagrammen sehr oft nicht ausreichend bis unbrauchbar. Die Einschätzung des räumlichen Umlagerungsgeschehens wird durch die querschnittsbezogene ebene Form der Darstellung erschwert. Aus diesem Grund ist eine längsbezogene Betrachtung der Verschiebungsvorgänge unerlässlich.



Bild 1 Durchschlag im Mittelschlitze.

Einen bedeutenden Impuls brachte die vortriebsorientierte Auswertung von Verschiebungen (1, 2). Bei dieser Darstellung werden die Verschiebungen mit dem entsprechenden Vortriebsgeschehen in Bezug gesetzt. Dadurch wird dem vor Ort tätigen Geotechniker eine bessere Erfassung der räumlichen Umlagerungsvorgänge und damit eine effizientere Stützmittelwahl ermöglicht.

Besonders für geotechnisch heikle Situationen ist die Erfassung von räumlichen Umlagerungsvorgängen von großer Bedeutung. Eine derartige Situation stellt zweifellos die Annäherung zweier Vortriebe und deren gegenseitige Beeinflussung dar.

Eine wichtige Grundlage der vortriebsorientierten Auswertung stellt die dreidimensionale Absolutmessung der Verschiebungen dar. Diese wurden mit einem elektronischen Sekundentheodolit mit integriertem koaxialen Entfernungsmesser und Datenerfassungsgerät durchgeführt. Der Abstand der Meßquerschnitte lag im Bearbeitungsreich bei 5 bis 6 m.

Der erstgenannte Verfasser ist Mitarbeiter bei der Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Tunnelbau (IGT), Salzburg, der zweitgenannte ist Mitarbeiter am Institut für Felsmechanik und Tunnelbau der Technischen Universität Graz, der drittgenannte ist Mitarbeiter der Arbeitsgemeinschaft Vermessung Dornbirn.

Ausgangssituation

Der gesamte betrachtete Vortrieb liegt in einem Störungsbereich. Dieser besteht im wesentlichen aus einer von Scherzonen durchzogenen Abfolge von zerscherten bis stark zerscherten und teilweise mylonitisierten Grünschiefern, Schwarzschiefern bis Graphitphylliten und teils hydrothermal umgesetzten Quarzphylliten (3). Die Gesteinsserien streichen mit 30 bis 45° zur Tunnelachse, das Einfallen ist annähernd steiler. Die Gesteinsfestigkeit kann im allgemeinen als gering bis sehr gering bezeichnet werden. Das Gebirgsverhalten ist größtenteils als quasi plastisch zu bezeichnen. Eine Ausnahme bildet ein Quarzphyllit-Quarkarbonatschiefer-Band, welches den Vortrieb Jassing bei Station 2 045 etwa unter 45° quert. Dieser kleinräumige Bereich kann im Bezug auf das umgebende Gebirge als kompetenter angesprochen werden und ist von seinem Verhalten als spröde einzustufen.

Die äußerst schlechten Gebirgsverhältnisse erforderten ein spezielles Stützmittel- und Vortriebskonzept (4). Dieses Konzept kam im Vortrieb Jassing etwa ab Station 1 756 und im Vortrieb Leoben ab Station 2 303 zur Ausführung.

Im wesentlichen wurden in beiden Vortrieben rund 200 lfm Anker IBI R 38/51 mit Einzellängen von vorwiegend 10 m und im Firstbereich mit einer Länge von 8 m verwendet. Als Ausbaubögen wurden Profile E 21 eingesetzt. Die einlagig bewehrte Spritzbetonschale wurde mit einer Stärke von 30 cm ausgeführt. Zur Auflösung der Schale wurden im Bereich der Kämpfer je ein Deformationsschlitz mit Stahlrohrdämpfungselementen ausgeführt. Die Ortsbrust mußte permanent mit einem bewehrten Brustverzug sowie mit im Mittel sechs verkürzbaren Brustankern gesichert werden. Das Öffnen der Ortsbrust erfolgte in mehreren Teilflächen. Die Abschlagslänge betrug über den gesamten betrachteten Zeitraum 1 m. Die Sohlschlußdistanz lag unter 80 m.

Um einen Aufschluß über die noch aufzufahrende Strecke zu erhalten, wurde der Vortrieb Leoben am 25. Juni 1995 bei Station 2 343 zwecks Durchführung von Tastbohrungen in Richtung Jassing eingestellt. Die rund 15 m langen Bohrungen kündigten eine Verschlechterung der Gebirgsverhältnisse innerhalb der nächsten Meter an. Der Vortrieb Jassing befand sich zu diesem Zeitpunkt auf Station 2 028 in einer Entfernung von rund 30 m. Das Bestreben, den unmittelbaren Durchschlag in einen relativ besseren Gebirgsbereich zu legen, führte aufgrund der Ergebnisse der Tastbohrung zur Entscheidung, den Vortrieb Leoben nicht mehr aufzunehmen und die verbleibende Strecke bis zum Durchschlag aus Richtung Jassing vorzutreiben. In den darauffolgenden Tagen wurden im Bereich der Ortsbrust des Vortriebes Leoben die vorbereitenden Maßnahmen für den Durchschlag aus Richtung Jassing

ausgeführt. Diese bestanden im wesentlichen aus einem rund 25° in Vortriebsrichtung geneigten Ankerschirm mit 10 m langen Ankern IBI R 38/51 sowie aus einem dichten Rohrspießschirm mit einer Länge von 6 m.

Geotechnische Grundlagen

Zur Erfassung der Spannungsumlagerungsvorgänge während der Annäherung der beiden Vortriebe und des Durchschlages wurde die Frequenz der Verschiebungsmessungen des eingestellten Vortriebes Leoben ab 12. Juni 1995 bei einer Distanz von rund 15 m dem Gegenvortrieb (tägliche Beobachtung) angepaßt. Jeder Verschiebungsmeßquerschnitt bestand aus einem Beobachtungspunkt in der Tunnelfirste sowie je einem Punkt im rechten und linken Kalottenfuß. Die gesicherte Ortsbrust des bereits eingestellten Vortriebes Leoben wurde zusätzlich mit drei Meßpunkten bestückt.

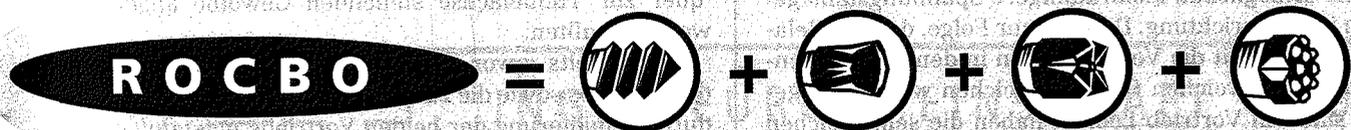
Zur Analyse der geotechnischen Vorgänge wurden sämtliche für das Umlagerungsgeschehen maßgeblichen und quantifizierbaren Daten zusammengefaßt und graphisch dargestellt (Bilder 2 und 3). Das Bild 2 zeigt die Vortriebsstationierungen beider Vortriebe, die Stationen der Verschiebungsmeßquerschnitte (nach unten weisende Dreiecke), die Ergebnisse der Verschiebungsmessungen (Einflußlinien der Firstpunkte), die Vortriebsstände sowie die relative Steifigkeitsverteilung. Der Ortsbruststand des eingestellten Vortriebes Leoben bei Station 2 343 bzw. die spätere Durchschlagsstation sind ebenfalls gekennzeichnet.

Die Firstsetzungen der beiden Vortriebe wurden unter Berücksichtigung einer graphisch ermittelten Vorverformung (1, 2) in Form von Einflußlinien dargestellt. Die Beaufschlagung der Meßwerte mit den ermittelten Vorverformungen kompensiert weitgehendst jene Verformungsanteile, die durch die unterschiedlichen Distanzen zwischen dem nullzumessenden Querschnitt und der Ortsbrust beeinflusst werden. Die vorauseilenden Verformungen können nicht gemessen werden und wurden daher in der Darstellung bewußt nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund wurden auch die Einflußlinien der einzelnen Vortriebe nach dem Durchschlagen zum Gegenvortrieb konsequenterweise nicht verbunden. Die Einflußlinien zeigen also nur jenen Anteil der Setzung, welcher nach dem Ausbruch des Hohlraumes eingetreten ist.

Unter den Einflußlinien sind das Vortriebsgeschehen wie zum Beispiel die Vortriebsrichtung und die Ausbruchquerschnitte schematisch dargestellt. Die Unterteilungen und die in verschiedenen Grautönen unterlegten Flächen etwa ab Station 2 040 des Vortriebes Jassing stellen die Vortriebsstände bzw. die Vortriebsleistungen zu bestimmten Zeitpunkten dar. Diese Bauphasen korrelieren mit den Einflußlinien und Flächen zwischen den Einflußlinien. Die Querschnittsdarstellung im unmittelbaren Bereich des Durchschlages im Vortrieb Jassing zeigt die aus geotechnischen Überlegungen gewählte Unterteilung der Kalotte in einen vorauseilenden Mittelschlitz und den nachfolgenden Ausbruch der Ulmenbereiche (Ulmenkeile).

Im Bild 2 unten sind die Steifigkeitsverhältnisse dargestellt. Die Darstellung beruht auf einer Abstrahierung der

*Es sind die Barrieren der Natur,
welche die Kunst der Ingenieure fordern.*



HP-ROCBO Produktions GmbH., Austria, Gußstahlwerkstraße 21, 8750 Judenburg, Tel.-Nr.: 0 35 72/8 63 00, Fax-Nr.: 0 35 72/8 41 79

Der Mensch muß an sein Ziel.

Gesteinsbohrwerkzeuge von HP-ROCBO erfüllen höchste Qualitätsansprüche.

Zukunftsorientiertes Engineering. Hochwertiger Stahl. Präziser Werkzeugbau.

Bohrwerkzeuge für alle Gesteinsarten:

Gewindebohrkronen, Tieflochbohrkronen, Einsteckenden, Gewindebohrstangen,

Muffen, Monoblockbohrer, Konusbohrstangen und Konusbohrkronen.

Für Bergbau, Tunnelbau, Spezialtiefbau und für die Steinindustrie.

Der Mensch muß an sein Ziel.

geologischen Dokumentation unter Berücksichtigung des spezifischen Sprengstoffverbrauchs und den Beobachtungen vor Ort während des Ausbruchs.

Das Bild 3 zeigt die Orientierung des Verschiebungsvektors der Firste des letzten Meßquerschnittes 2 341 im Vortrieb Leoben in zeitlicher Abfolge. Durch die Betrachtung und Interpretation der räumlichen Orientierungen der Verschiebungsvektoren ergibt sich ein sehr aussagekräftiges Auswertungsverfahren für geodätische Meßdaten.

Sowohl die Raumorientierung als auch die Verdrehung der Vektoren liefern Hinweise auf Spannungsumlagerungsvorgänge und Steifigkeitsverhältnisse im Gebirge (5).

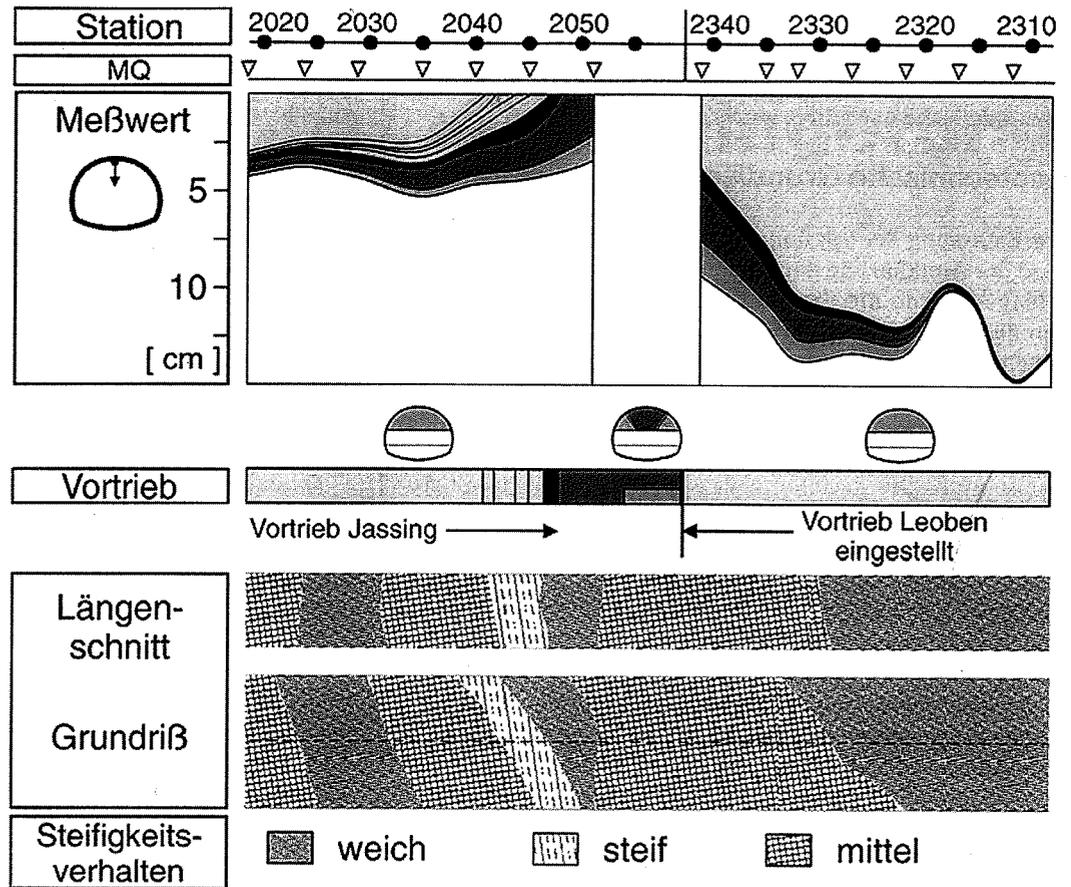


Bild 2 Geotechnische Gesamtdarstellung des Durchschlagbereichs.

Geotechnische Interpretation

Aus dem Einflußliniendiagramm des Bildes 2 ist deutlich ersichtlich, daß die Vertikalverschiebungen der Firstpunkte beim Vortrieb Jassing deutlich niedriger sind als beim Vortrieb Leoben. Dies dürfte vorwiegend auf die höheren Anteile von mittelsteifen Gebirgsbereichen im Vortrieb Jassing zurückzuführen sein. Die etwas kompetenteren Bereiche ermöglichen kleinräumigere Spannungsumlagerungen in Längsrichtung. Dies hat zur Folge, daß die Belastungen und somit die Verformungen in den dazwischenliegenden sehr weichen Gebirgsbereichen wesentlich geringer sind. Im Vortrieb Leoben haben die sehr weichen Bereiche eine größere Erstreckung, was zu höheren Setzungsbeträgen führt.

Aus dem Tagesliniendiagramm ist weiters ersichtlich, daß die Annäherung des Vortriebes Jassing bis zur Station 2 047, das entspricht einer Restpfeilerstärke von 12 m, zu keinen beobachtbaren Veränderungen der Verschiebungen im Vortrieb Leoben führte.

Nach einem weiteren Abschlag von 1 m wurde im Vortrieb Leoben eine deutliche Zunahme der Verschiebungen beobachtet. Bemerkenswert dabei war die unerwartet große Längserstreckung der Verschiebungszunahme im Vortrieb Leoben (ein Bereich von 25 m ab der Ortsbrust).

Eine Analyse der Setzungszunahmen in Form einer Flächenermittlung zwischen den Tageslinien über den gesamten zu betrachtenden Zeitraum ergaben für den Vortrieb von Station 2 047 bis 2 048 den größten Tageszuwachs bei den Verschiebungen auf beiden Seiten. Dieser Bereich ist im Bild als dunkle Fläche dargestellt.

Offensichtlich wurde die dem Längsgewölbe als Widerlager dienende etwas steifere Quarzphyllit-Quarzkarbonatschiefer-Rippe mit dem zuletzt getätigten Abschlag stark geschwächt. Diese Situation wurde zusätzlich durch die nun fehlende Querstützung des darauffolgenden sehr weichen Bereiches verschärft. Der Teilentzug des Widerlagers des Längsgewölbes hatte zur Folge, daß die bis dahin durch das Längsgewölbe abgeleiteten Kräfte in einem quer zur Tunnelachse stehenden Gewölbe abgetragen werden mußten.

Der bereits zuvor vorhandene hohe Auslastungsgrad des Gebirges sowie die zusätzlichen Beanspruchungen, die durch Annäherung der beiden Vortriebe entstanden sind, dürften die großen Auswirkungen in Tunnel längsrichtung bewirkt haben.

Die weitere Verformungsentwicklung für den restlichen Kalottenvortrieb (ab Station 2 054 bis zum Durchschlag wurde vorerst nur der Mittelschlitze ausgebrochen) sowie für den nachträglichen Ausbruch der Ulmenkeile sind im Diagramm durch die zwei untersten Flächen zwischen den Einflußlinien dargestellt.

Die zusätzlich durchgeführten Auswertungen der Vektororientierungen im Bild 3 ergaben im Durchschlagbereich beider Vortriebe eine deutliche Abweichung der Vektororientierung von einem erwarteten Normalverhalten (der Meßpunkt bewegt sich in Richtung Tunnelportal). Ein derartiges Verformungsverhalten deutet auf eine in Richtung Jassing orientierte Primärspannungssituation hin.

Beispielhaft wird der Meßquerschnitt 2 341 des Vortriebs Leoben herausgegriffen, wobei die Vektororientierung über die Zeit in einer vertikalen (Winkel L/S) bzw. ho-

rizontalen (Winkel L/Q) Ebene durch den Meßpunkt dargestellt werden.

Zwischen dem 13. Juli und dem 21. Juli 1995 (Durchschlag Mittelschlitz) kann man in beiden Diagrammen einen sehr charakteristischen Verlauf der Vektorverdrehungen erkennen.

Bis zum Zeitpunkt der gegenseitigen Beeinflussung der Vortriebe ist der Vektor quer zur Tunnelachse in Richtung der linken Ulme orientiert. Ab dem 13. Juli ist täglich eine kontinuierliche Verdrehung des Vektors in Richtung Ortsbrust festzustellen. Diese Vektorbewegung reduziert sich nach dem Durchschlag des Tunnels deutlich, wobei jedoch eine Beibehaltung des Trends über den gesamten Beobachtungszeitraum festzustellen ist.

Die Beobachtung eines derart interessanten Verformungsverhaltens im Durchschlagsbereich wird in weiterer Folge einer vertieften Betrachtung unterzogen werden

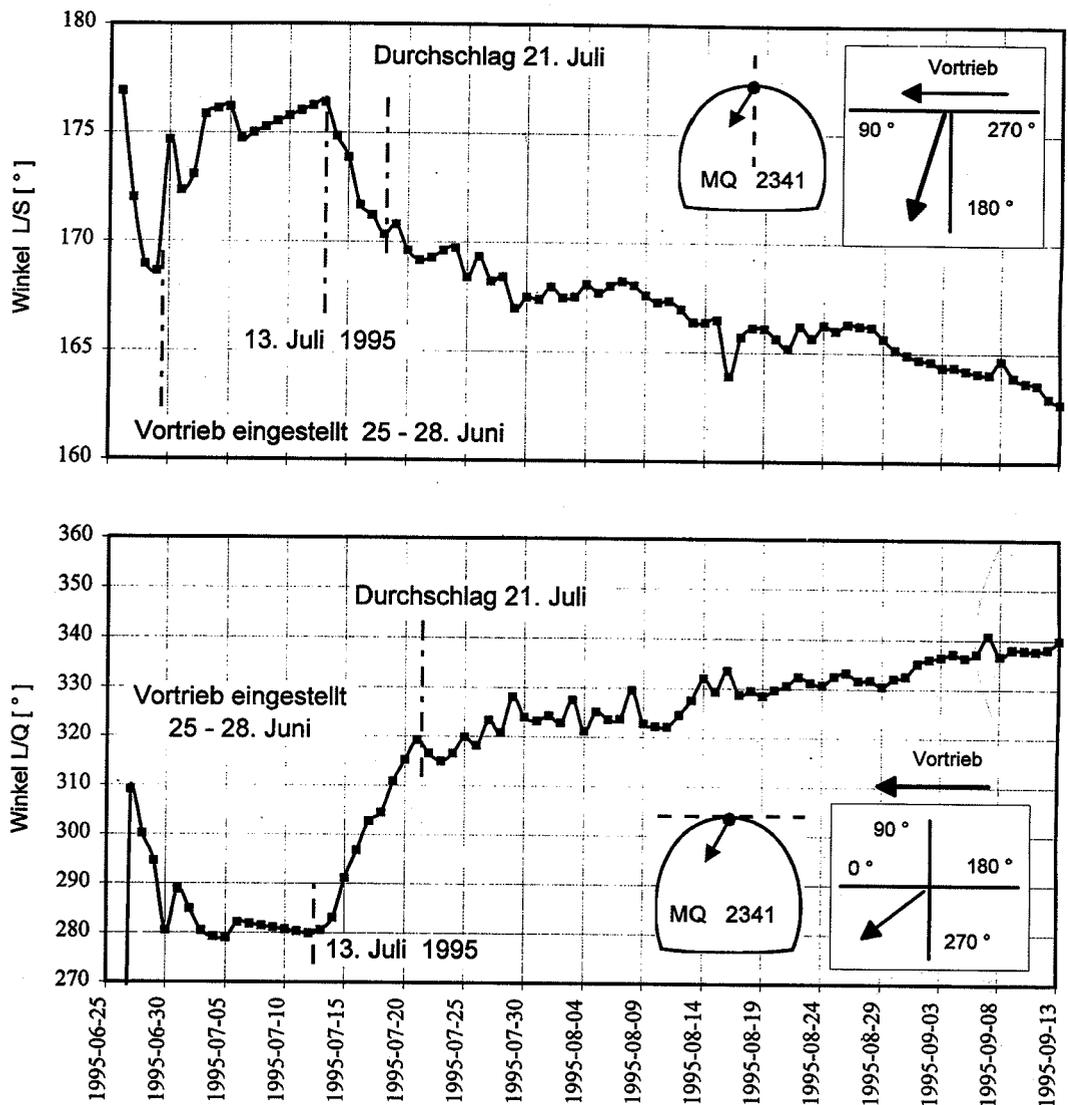


Bild 3 Zeitbezogene Vektorverdrehungen (Firstpunkt).

IGT

INGENIEURGEMEINSCHAFT FÜR
GEOTECHNIK UND TUNNELBAU

TECHNISCHE BAUBERATUNG
FÜR DEN GALGENBERGTUNNEL
IM AUFTRAG DER
ÖSTERREICHISCHEN BUNDESBAHNEN

Zentrale:

Mauracherstraße 9, A-5020 Salzburg

Telefon (+43/662) 641727-0, Telefax (+43/662) 641729-21

Niederlassung:

Robert-Bosch-Straße 7, D-65549 Limburg

Telefon (+49/6431) 27358, Telefax (+49/6431) 27459

(numerische Berechnungen), um weitere Aufschlüsse über die sehr komplexen mechanischen Vorgänge im Gebirge während eines Tunnelvortriebes zu erhalten.

Die Forschungsarbeiten werden vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) unterstützt und gefördert.

Schlußbemerkungen

Der Ausbau im bereits eingestellten Vortriebsort sollte in schlechten Gebirgsverhältnissen möglichst weich gestaltet werden, da die in späterer Folge bei der Annäherung des Gegenvortriebes und beim Durchschlag auftretenden zusätzlichen Verschiebungen bei einem steifen Ausbau mit großer Wahrscheinlichkeit zu Brucherscheinungen führen würden.

Die beachtliche Längserstreckung der Verschiebungen im Bereich des ruhenden Vortriebes lassen auch auf großräumige plastische Deformationen des umgebenden Gebirges schließen.

Zur rechtzeitigen meßtechnischen Erfassung des eingestellten Vortriebes sollte das Meßintervall in schlechten Gebirgsverhältnissen bei einer Restpfeilerstärke von min-

destens 20 m dem Gegenvortrieb angepaßt werden. Der Meßbereich sollte zumindest 35 m hinter die Ortsbrust des eingestellten Vortriebes reichen. Die Erfassung der vorausselenden Verformungen in situ sowie deren Längsentwicklung wäre bei der Interpretation von geotechnischen Messungen von großem Wert.

Quellennachweis

1. Vavrovsky, G. M.: Die räumliche Setzungskontrolle - Ein neuer Weg in der Einschätzung der Sicherheit. In: *Mayreder Zeitschrift* (33), 1988.
2. Vavrovsky, G. M.: Bedeutung der vortriebsorientierten Auswertung geotechnischer Messungen im oberflächennahen Tunnelbau. In: *Forschung + Praxis*, Nr. 32, 1988.
3. Bergmair, M ; Stadlmann, Th.: *Baugeologische Dokumentation am ÖBB-Tunnel Galgenbergtunnel*. Büro Dr. Furlinger, Österreichische Bundesbahnen.
4. Schubert, W. ; Golser, J. ; Schwab, P.: Weiterentwicklung des Ausbaues für stark druckhaftes Gebirge. In *dieser Ausgabe*.
5. Steindorfer, A. F. ; Schubert W. ; Rabensteiner: Problemorientierte Auswertung geotechnischer Messungen. Neue Hilfsmittel und Anwendungsbeispiele, In: *Felsbau* 13 (1995), Nr. 6, S. 386-390.

Weiterentwicklung des Ausbaus für stark druckhaftes Gebirge

Von Professor Dr.-Ing. Wulf Schubert, Professor Dr.-Ing. Johann Golser und Ing. Peter Schwab

Beim Vortrieb von Tunneln in Störungszonen treten häufig rasche und heftige Verformungen während und nach dem Ausbruch auf. Im alpinen Raum findet man solche Verhältnisse häufig in Phylliten, Tonschiefern, Tonen, Mergeln und tektonisch stark beanspruchten Gneisen. Die mit den heftigen Verformungen einhergehende starke Beanspruchung und oftmals auch Zerstörung des Ausbaus stellt für die Tunnelbauer seit jeher eine große Herausforderung dar.

Zahlreiche mehr oder weniger taugliche Systeme zur Beherrschung großer Hohlraumrandverschiebungen wurden in der Vergangenheit entwickelt und eingesetzt. Bei den früher im Tunnelbau üblichen Holzeinbauten blieb meist nur ein häufiges Nachreißen und Auswechseln des Ausbaus. Im Bergbau hingegen wurden schon früh nachgiebige Ausbausysteme eingesetzt. Diese bestanden zum

Beispiel aus Vielgelenkrahmen mit Quetschhölzern (1) oder aus Betonsteinen mit Holzzwischenlagen (2). Bedingt durch Einflüsse des Gefüges führten die oft über Monate anhaltenden Verformungen in vielen Fällen zu stark asymmetrischen Verdrückungen der Tunnel und Stollen. Ein großes Problem stellte in jener Zeit zusätzlich zum sogenannten echten Gebirgsdruck auch die Entstehung der Auflockerung über der Firste dar, welche besonders beim Nachnehmen von verdrückten Strecken äußerst unangenehm war.

Versuche, dem Gebirgsdruck mit schweren, starren Ausbauten standzuhalten, scheiterten in der Regel. Bilder elementarer Zerstörung solch starrer Einbauten sind aus der Literatur zur Genüge bekannt.

Ende der Vierzigerjahre propagierte Rabcewicz die sogenannte Hilfgewölbehauweise (3), welche durch ein satt am Gebirge anliegendes schlankes Betongewölbe, einer Isolierung und ein nach Abklingen der Formänderungen eingebrachtes Innengewölbe aus Beton charakterisiert war (Bild 1). Für Strecken mit schwerem Gebirgsdruck sah er eine Nachgiebigkeit in Form von in die Auskleidung eingebauten Quetschkörpern vor.

Der erstgenannte Autor ist Vorstand des Institutes für Felsmechanik und Tunnelbau der Technischen Universität Graz, der zweitgenannte ist Vorstand des Institutes für Geomechanik, Tunnelbau und Konstruktiven Tiefbau der Montanuniversität Leoben, der drittgenannte ist Geschäftsführer der Arbeitsgemeinschaft Galgenbergtunnel und Prokurist der Stettin Bauunternehmung Hoch- und Tiefbau Ges.m.b.H., Leoben.