

# Tunnelvortrieb bei partiell schwierigem Gebirgsverhalten: IV. Kolloquium für Bauverfahrenstechnik in Bochum

Autor(en): **Vanderk, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 30-31

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85778>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

- als Beimischung zum Portlandzement (max. 5% FA) und für Portlandflugaschezement [34] beim Mahlen der Zementklinker (bis 25% FA),
- als *Füllstoff* (Zusatzstoff) für fehlenden Zuschlag im Feinkornbereich und teilweisen Ersatz für Zement, sowie
- als Grundstoff beim Herstellen von *Leichtbetonzuschlägen* (Lytag) [3; 35; 36].

Mit dem Verbrauch von 94% ihrer Flugasche sind die Niederlande die weltbesten Abfallstoffverwerter. Hierzu haben ein umfangreiches Forschungsprogramm (Einfluss von Flugasche im Beton auf das rheologische Verhalten, den Festigkeitsverlauf, die Dauerhaftigkeit, Gesundheit und Umwelt) [37; 38] und die CUR-Empfehlung über «Flugasche als Füllstoff in Mörtel und Beton» [16] beigetragen.

### Betonbrutalisten

Nach Prof. Dipl.-Ing. *D. Dicke*, Delft, sind «Betonbrutalisten» Konstrukteure und vor allem Architekten, die die funktionalen, tragenden Teile des Bauwerks und den verwendeten Baustoff zeigen, zum Teil sogar besonders herausstellen (Tragwerke ausserhalb des Gebäudes; Waschbeton) [39-41]. Das kann für die laufende Überwachung und Unterhaltung der Konstruktion günstig sein, nicht aber für den Men-

### Literatur

- |  |   |
|--|---|
| [1] Betonwerk + Fertigteil-Technik (BFT) 53 (1987) Nr. 12, S. 862-863      | [21] Cobouw 131 (1987) Nr. 216, S. 9  |
| [2] Norm-Magaz. 10 (1987) Nr. 11, S. 21-23                                 | [22] Schweizer Ingenieur und Architekt 105 (1987) Nr. 5, S. 103-104, Bild 3                             |
| [3] Cement 39 (1987) Nr. 9, S. 39 und Nr. 10, S. 36 (Rotterdam 27.10.1987) | [23] Cement 40 (1988) Nr. 2, S. 30-35   |
| [4] Cement 39 (1987) Nr. 10, S. 37 (Lelystad 4.11.1987)                    | [24] Cement 39 (1987) Nr. 7, S. 24-27   |
| [5] Cement 40 (1988) Nr. 2, S. 40  | [25] Cement 39 (1987) Nr. 12, S. 8-11   |
| [6] BFT 54 (1988) Nr. 1, S. 93   | [26] F-Bouwkunde en Civile techniek 25 (1987) Nr. 10, S. 13-17  |
| [7] CUR/VB-Rapport 128, 1987, Cement 39 (1987) Nr. 12, S. 48               | [27] Cement 39 (1987) Nr. 12, S. 56-59  |
| [8] CUR/VB-Rapport 129, 1987, Cement 39 (1987) Nr. 11, S. 43-44            | [28] Cement 40 (1988) Nr. 2, S. 20  |
| [9] CUR/VB-Rapport 131, 1987   | [29] Cement 40 (1988) Nr. 2, S. 8-14  |
| [10] CUR/VB-Rapport 132, 1987  | [30] Cobouw 131 (1987) Nr. 216, S. 11   |
| [11] CUR/VB-Rapport 133, 1987  | [31] Cement 39 (1987) Nr. 12, S. 60-63  |
| [12] CUR/VB-Rapport 134, 1987, Cement 39 (1987) Nr. 9, S. 42-47            | [32] BFT 53 (1987) Nr. 11, S. 764-768   |
| [13] CUR/VB-Rapport 87-1, 1987, Cement 39 (1987) Nr. 11, S. 44             | [33] Cement 38 (1986) Nr. 10, S. 10-13  |
| [14] CUR/VB-Rapport 87-2, 1987, Cement 40 (1988) Nr. 2, S. 40              | [34] Cement 33 (1981) Nr. 12 (Goesses, L.H.; Brouns, S.J.P.)  |
| [15] Cement 39 (1987) Nr. 9, Beilage                                       | [35] Cement 38 (1986) Nr. 11, S. 50-53  |
| [16] Cement 39 (1987) Nr. 11, Beilage                                      | [36] Cement 39 (1987) Nr. 6, S. 18-21   |
| [17] Cement 39 (1987) Nr. 11, S. 46-49                                     | [37] Cement 39 (1987) Nr. 9, S. 48-51   |
| [18] Cement 39 (1987) Nr. 9, S. 39   | [38] Stevin-Rapport, TH Delft Nr. 1/2-9.87 und Nr. 25-12.87   |
| [19] Cement 39 (1987) Nr. 10, S. 37  | [39] Arch. Rev. 103 (1954) S. 274-275 und 104 (1955) S. 142-145; 355-361                                |
| [20] Cement 39 (1987) Nr. 12, S. 32-35                                     | [40] <i>Banham, R.</i> : Brutalismus in der Architektur. Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1966, S. 10-192 |
|  | [41] Bouw 101 (1967) S. 890-893   |

schen, der in den Räumen Stille und Geborgenheit sucht, dort Funktionalität findet und auf Kälte stösst. Beispiele aus dem Wohnungs-, Verwaltungs- und Industriebau bekannter Architekten

aus Europa und den USA zeigen das im Vergleich zu Vorschlägen für menschengerechtes Bauen mit Beton.

G. Brux

## Tunnelvortrieb bei partiell schwierigem Gebirgsverhalten

IV. Kolloquium für Bauverfahrenstechnik in Bochum

**Weltweit laufen in der Bundesrepublik Deutschland die umfangreichsten Tunnelbaumassnahmen. Mehrere zum Teil spektakuläre Einbrüche machten Planer und Ausführende auf Schwachpunkte aufmerksam. «Tunnelvortrieb bei partiell schwierigem Gebirgsverhalten» war deshalb für das IV. Kolloquium für Bauverfahrenstechnik an der Ruhr-Universität Bochum (RUB) [1] am 29.1.1987 ein aktuelles Thema, wozu über 600 Fachleute aus Belgien, der Bundesrepublik Deutschland, China, Frankreich, Grossbritannien, Österreich und der Schweiz nach Bochum kamen.**

Allein die Deutsche Bundesbahn (DB) lässt im Zuge ihrer Neubaustrecken jährlich etwa 10 km Tunnel bauen. Bei insgesamt 158 km neu aufzufahrenden Tunneln ereignete sich bei der DB etwa ein Verbruch je 10 km. Nach Prof. Dr.-Ing. *B. Maidl*, Bochum, trafen in allen Fällen Schwächen im Gebirge mit Schwächen in der Ausführung zusammen. Er machte einen Vorschlag für die Abgrenzung der «Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT)» gegen die Spritzbetonbauweise [2]. In den fol-

genden zwölf Fachvorträgen wurden Schäden im Tunnelbau und ihre Ursachen und Verfahren zum Bewältigen dieser Schäden behandelt sowie projektbezogene Erfahrungen beim Spritzbetonverfahren, maschinellem Vortrieb und Vorausmassnahmen vermittelt.

### Schadensursachen und Verfahren

Nach der «Analyse möglicher Ursachen von Schadensfällen und Verbrü-

chen beim Tunnelvortrieb» für die beiden Bundesbahn-Neubaustrecken mit bis zu 150 m<sup>2</sup> grossen Ausbruchquerschnitten sind nach Dipl.-Ing. *F. Schrewe*, Mainz, und Dipl.-Ing. *R. Maidl*, Bochum, die Protal- und Anschlagzonen, die Bereiche mit einer Überlagerung bis 30 m und geologische Störzonen einschliesslich der sogenannten Schlotbereiche besonders gefährdet. Mehrfach traten Verbrüche kurz nach Wiederaufnahme der Arbeiten nach Urlaubspausen auf und Nachbrüche im Bereich der freien Stützweite, der gesicherten Klotte und beim Strassen- und Sohlausbruch. Nie war eine einzige Ursache allein verantwortlich, vielmehr trafen unerwartete geologische Einflüsse mit Schwächen in der Bauausführung und/oder Planungsfehlern zusammen. - Schwächen in der Bauausführung soll eine gezielte Untersuchung der Eigenschaften des Spritzbetons vorbeugen. Deshalb widmete sich Dr.-Ing. *R. Hahlhege*, Ratingen, und Dipl.-Ing. *D. Handke*, Bochum, der «Qualitätskontrolle von Spritzbeton» [3], da die Werte für die Spritzbetoneigenschaften stark streuen (Bild 1). Unter Berücksichti-

gung verfahrens- und maschinentechnischer und betontechnologischer Möglichkeiten [4] erzielte man nach Untersuchungen auf dem Versuchsstand für Spritzbeton der RUB einen «Qualitätsspritzbeton» mit wesentlich verbessertem Eigenschaftsverhalten (Bild 1) [5]. – Nach Dr.-Ing. D. Stein, Bochum, werden «als Vorausmassnahmen ausgewählte Injektionsverfahren» verwendet [6–9], wie Hochdruckinjektionen [10], Soil-Fracturing-Verfahren, Injektionen mit Polyurethanharzen [11], Spezialzementen usw., wobei auf die Umweltverträglichkeit [12, 13] zu achten ist.

**Projektbezogene Erfahrungen beim Spritzbetonverfahren**

Aus der Sicht des Bauherrn und des Bauausführenden befassten sich gemeinsam Dipl.-Ing. P. Nussbaumer, Nürnberg, und Dipl.-Ing. G. Judtman, Gemünden, Dr.-Ing. W. Lechnitz, Hannover, und Dipl.-Ing. W. Schlitt, Frankfurt/Main, sowie Dipl.-Ing. W. Engels und Dipl.-Ing. P. Aibel, Frankfurt/Main, mit «Schadensfällen und ihrer Bewältigung» in Tunneln der Bundesbahn-Neubaustrecke Hannover-Würzburg (Landrücken-, Kriberg- und Richthof-Tunnel) und Dipl.-Ing. G. Laue, Bochum, und Dipl.-Ing. H.-J. Sager, Düsseldorf, mit solchen Fällen in Tunneln der Stadtbahn in Bochum (Los D5/D6), wobei sie auf Verbruchverlauf, Beweissicherung, Gutachten, Sofortmassnahmen, Variantenuntersuchung und Bewältigung eingingen. Zu den häufigsten Schadensursachen gehörten unvermutet angetroffene geologische Verhältnisse, unzureichende Folgerungen aus geologischen Einzelheiten und Messergebnissen, Mängel in Art und Umfang bei der Bauausführung, nicht immer genügend qualifizierte Fachkräfte und fehlende Vorsorge für Störfälle. Bei jedem Schadensfall gab es immer mehrere Ursachen. Bei allen Verbrüchen handelt es sich um Ereignisse an der Vortriebsstelle oder im nur vorübergehend gesicherten Bereich, also um Bauzustände; keines der Ereignisse führte zu Personenschäden. Die aus Verbrüchen und anderen Schadensfällen an den Bundesbahn-Neubaustrecken entstandenen Kosten betragen weniger als 1% der Gesamtbausumme.

**Projektbezogene Erfahrungen beim maschinellen Vortrieb**

Dr.-Ing. I. Henneke und Dr.-Ing. H. Kübler, Düsseldorf, zeigten die «Anpassungsmöglichkeiten von Vollschnittmaschinen» für die unterschiedlichen Gebirgsverhältnisse (Tabelle 1); quellendes Gebirge erfordert offene Maschinenkonstruktionen und hohe Vortriebsgeschwindigkeiten, leicht nachbrüchiges Gebirge geschlossene

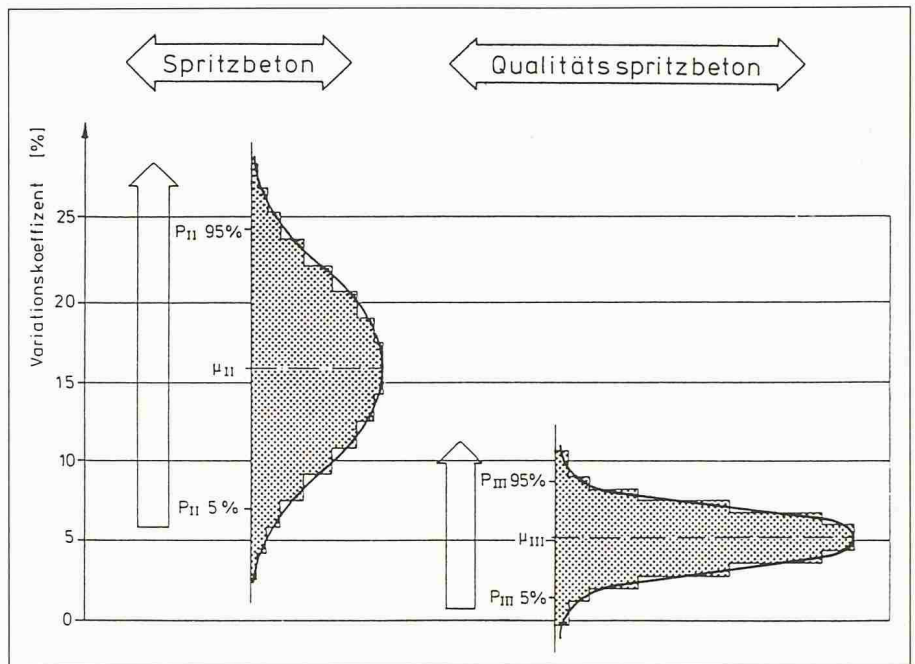


Bild 1. Festigkeitsstreuung von Qualitätsspritzbeton (R. Hahlhege)

Störungsgrad	Gebirgsverhalten	Massnahmen
1	Örtliche Firstausbrüche bis 1 m Höhe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verstärkung des Mattenverzuges</li> <li>• Ausbruchverfüllung mit Holzpfeilern</li> </ul>
2	Firstausbrüche 1–2 m hoch über 50% der Streckenbreite in mehreren Metern Länge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flächenversiegelung mit Spritzmörtel</li> <li>• Ausbruchverfüllung mit Holzpfeilern</li> </ul>
3	Firstausbrüche über 2 m Höhe, bedingte Gewölbebildung, Nachbruchtendenz	Unterbrechen des Maschinenvortriebs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fächerförmiges Vorbohren</li> <li>• Einbringen von Moniereisen als Schutzdach</li> </ul>
4	Hereinbrechen von Ortsbrust und Firste mit Böschungsbildung (45°) über 3 m oberhalb der Streckenfirste	Einstellen des Maschinenvortriebs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hilfsbogenausbau im Überprofil</li> <li>• Ausbruchverfüllung mit Pumpbeton</li> <li>• Haufwerksverladung manuell</li> </ul>
5	Hereinfließen von nasser, fettiger, rolliger Kluftausfüllung	Einstellen des Maschinenvortriebs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hilfsbogenausbau im Überprofil</li> <li>• Getriebezimmerung</li> <li>• Flächenversiegelung mit Spritzmörtel</li> <li>• Haufwerksverladung manuell</li> </ul>

Tabelle 1. Schwierigkeitsgrade für geologische Störungen und entsprechende Gegenmassnahmen im Tunnelbau. (I. Henneke/H. Kübler)

	Verhältnis Isocyanat/Polyol	Reaktionszeit	Schaumfaktor
Rissinjektion	1:3	30–90 min	1– 1,5
Wasserstop	1(+0,1 Kat):-	0,5– 3 min	10–30
Verfestigung	1:1	1–30 min	2– 5

Tabelle 2. Gebräuchliche Arten von Polyurethan-Injektionsharzen (PUR) für den Tunnel-, Stollen- und Bergbau (W. Cornely/K. Gerdes)

Bohrkopfformen und nachfolgenden Gleitschild im Firstbereich bis zum Einbringen des Tunnelausbaus und stärker nachbrüchiges Gebirge in die Tunnelbohrmaschine integrierte Spritzbetondüsen, Vorrichtungen zum Injizieren des Vorfeldes, grössere Durchtrittsöffnungen im Bohrkopf und Betonausbau im Maschinenbereich. – Dipl.-Ing. S. Babendererde, Essen, beschrieb «Schwierigkeiten und deren Bewältigung auf Baustellen mit Tunnelbohrmaschinen (TBM) und Schilden» anhand von Beispielen, wie Unterquerungen des Rheins bei Köln (3,60 m Ø, 450 m) und der Rhône und Saône in Lyon für die Metro (6,50 m Ø, 1250 m) mit dem Hydroschild bei starkem Steinanfall und Ausbläsergefahr. Ungenügende Vorfelderkundung führte in Südamerika zum Verlust mehrerer TBM, wie beim Auffahren eines Druckstollens in Guatemala (5,65 m Ø, 26 km; 2500 l/s Wasser 30 bar) und in Yacamba/Venezuela (4,80 m Ø, 26 km; druckhaftes Gebirge). – Nach den «Erfahrungen aus dem Streckenvortrieb im Bergbau» von H. Kettler, Bottrop, ist die begleitende Technik zur Vorfelderkundung und Gebirgssicherung heute so weit entwickelt, dass auch schwierige geologische Störungen mit frühzeitiger Gebirgskonsolidierung und Hohlraumverfüllung mit Vollschnittmaschinen erfolgreich durchfahren werden können. Im ungestörten Bereich (bis 30 m<sup>2</sup> Querschnitt) erzielte man eine mittlere Tagesleistung damit von 28 m (1980/86 13 km).

### Projektbezogene Vorausmassnahmen

Über «Vorausmassnahmen beim Kirchheimtunnel» berichteten Dr.-Ing. G. Naumann, Frankfurt/Main, und Dipl.-Ing. K. Blindow, Innsbruck. Dieser 3,82 km lange Tunnel der Bundesbahn-Neubaustrecke Hannover-Würzburg hat bis zu 154 m<sup>2</sup> Ausbruchquerschnitt und zur Hälfte eine geringere Überlagerung als zwei Tunneldurchmesser. Im Portalbereich mit geologischer Störzone und bei Überlagerungen von 4 bis 16 m ohne Gebirgsverbund konnte nur durch gezielte Injektionen die gewünschte Standsicherheit und die für den Vortrieb erforderliche Tragfähigkeit des Gebirges erreicht werden. – Abschliessend brachten Dr. W. Cornely, Essen, und Dipl.-Ing. K. Gerdes, Bo-

### Literatur

- [1] Spritzbeton für Tunnelbau und Bergbau. III. Kolloquium für Bauverfahrenstechnik und Baubetrieb, Bochum 13.2.1985. Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum 1985-6 (234 Seiten)
- [2] Spang, J.: Spritzbeton beim Stollen- und Tunnelbau unter Tage – Kritische Stellungnahme zu allgemeinen Bauregeln und Benennungen von Tunnelbauweisen. Bautechnik 64 (1987) H. 6, S. 195-201
- [3] Brux, G.; Linder, R.; Ruffert, G.: Spritzbeton-Spritzmörtel-Spritzputz. Verlagsges. Rudolf Müller, Köln
- [4] Spang, J.: Beitrag zur Geschichte der Spritzbetonverfahren für Mörtel und Beton, der Spritzmaschinen und des Spritzbetons. Bautechnik 63 (1986) H. 3, S. 87-93
- [5] Hahlhege, R.: Zur Sicherstellung der Qualität von Spritzbeton im Trockenspritzverfahren. Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum 1986-9 (150 Seiten)
- [6] Maidl, B.; Stein, D.; Kubicki, K.: Verfahren und Geräte für Injektionen im Lockergestein. Taschenbuch für den Tunnelbau 7 (1983) S. 361-415
- [7] Maidl, B.; Stein, D.; Kubicki, K.: Mittel zur Herstellung von Injektionen im Lockergestein. Taschenbuch für den Tunnelbau 8 (1984) S. 383-407
- [8] Maidl, B.; Stein, D.; Kubicki, K.: Mechanisches Verhalten injizierter Lockergesteine. Taschenbuch für den Tunnelbau 9 (1985) S. 303-323
- [9] Wittke, W.; Breder, R.: Injektionsverfahren zur Abdichtung von Fels- und Lockergestein unter Verwendung von Zementpasten. Taschenbuch für den Tunnelbau 9 (1985) S. 203-233
- [10] Blindow, A.; Pistauer, W.: Das Hochdruckinjektionsverfahren und seine Anwendung am Oswalditunnel. Tiefbau Ingenieurbau Strassenbau 28 (1986) H. 12, S. 634-638
- [11] Maidl, B.; Stein, D.; Kubicki, K.: Verfestigung und Abdichtung von Lockergestein mit Injektionsmitteln auf der Basis von Polyurethan. Taschenbuch für den Tunnelbau 10 (1986) S. 287-306 und 11 (1987) S. 195-209
- [12] Donel, M.: Beeinflussung der Wassergüte durch Umströmung von Injektionskörpern. Tiefbau Ingenieurbau Strassenbau 23 (1981) H. 5, S. 318-328
- [13] Darimont, T. u.a.: Grundwasserbeeinflussung durch chemische Bodeninjektionen ... ; gwf-wasser/abwasser 125 (1984) H. 12, S. 608-612
- [14] Amberg, R.: Der Furka-Basistunnel, Projekt und Bauausführung. Schweizer Ingenieur und Architekt 100 (1982) H. 24, S. 5
- [15] Gugger, B.: Der Lopper-Tunnel, Sicherungsmassnahmen beim Bau. Schweizer Ingenieur und Architekt 102 (1984) H. 49, S. 988-991
- [16] Maidl, B.; Gerdes, K.: Polyurethaninjektionen beim Bau eines Druckwasserstollens unter schwierigen Gebirgsverhältnissen. Felsbau 5 (1987) H. 1, S. 19-25

chum, «Baustellenerfahrungen mit Polyurethaninjektionen» (Tabelle 2) zum Rissenschliessen, Verfestigen und Wasserstoppen im Steinkohlenbergbau und im Tunnelbau [11]. In Streckenvortrieben mit TBM wird Polyurethan sowohl beim Anfahren von vorerkundeten Störungen als auch zum Durchörtern von Verbrüchen eingesetzt sowie im Tunnelbau zum Stoppen von Wassereintrüben [14] und Verfestigen von Verbrüchen sowie bei teilweise schwierigen Gebirgsverhältnissen zum Erhöhen der Eigentragsfähigkeit des Gebirgsringes für den endgültigen Ausbau [15]. Als Beispiel wurde die Auffahrung des Kulekhani-Druckwasserstollens (10 m<sup>2</sup>, 5800 m; 150 l/min Wasser, gebräches Gebirge) in Nepal beschrieben [16].

E. Vanderk

### Tagungsband

Die Vorträge sind in den Technisch-wissenschaftlichen Mitteilungen des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum «Tunnelbohrtrieb bei partiell schwierigem Gebirgsverhalten, Vorausmassnahmen und Bewältigung – IV. Kolloquium des Lehrstuhls für Bauverfahrenstechnik und Baubetrieb, Ruhr-Universität Bochum, 29.1.1987» (206 Seiten) abgedruckt. Bezug: Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum, Postfach 102 148, D-4630 Bochum