
CONRAD OBSERVATORIUM – TUNNELBAU MIT ANTIMAGNETISCHEM AUSBAU

CONRAD OBSERVATORY – TUNNELING WITH AN ANTIMAGNETIC SUPPORT AND LINING

Ing. Norbert **Reichard**, ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH, Leoben, Österreich

Unser Unternehmen wurde mit dem Bau des Stollensystems „Conrad Observatorium – Baustufe 2“ beauftragt. Das Conrad Observatorium auf dem Tafelberg in Niederösterreich ist eine geophysikalische Forschungs- und Entwicklungseinrichtung der ZAMG. Das Stollensystem ist in etwa 1.050 m lang und besteht aus einem Hauptstollen sowie mehreren Quer- und Verbindungsstollen, die mit der „Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode NATM“ aufgeföhren wurden. Die Stützmaßnahmen mussten aus nicht magnetischen Materialien bestehen. So kamen glasfaserverstärkte Gittermatten und Anker sowie Weißzement zum Einsatz. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten wurde das Trockenspritzverfahren gewählt. Das Stollensystem wurde teilweise mit einer aufgespritzten Abdichtungsmembran und einer Innenschale aus Faserspritzbeton ausgekleidet.

Our company got the contract for the construction of the „Conrad Observatory – stage 2“. The Conrad Observatory (<http://www.zamg.ac.at/about/conrad-observatory/>), situated at the so called „Tafelberg“ is a geophysical R&D institution of ZAMG (Austrian Central Institute for Meteorology and Geodynamics). „The site is characterized by extreme low background noise – natural as well as technological ones“. The gallery-system is 1050 m long and consists of a main tunnel as well as several cross headings and connection tunnels, all driven using the NATM. For all support measures antimagnetic materials had to be used. Therefore fibre glass reinforcement and rock bolts as well as white cement had been used. Due to local site conditions the dry mix process was used for the shotcrete works. Partly the tunnel lining included a sprayed membrane and a fibre reinforced shotcrete inner lining.

1. Einleitung

Das Conrad Observatorium befindet sich ca. 50 km südwestlich von Wien auf dem Tafelberg in der Nähe von Muggendorf bei Pernitz im Bundesland Niederösterreich. Es liegt in einem Naturschutzgebiet auf ca. 1.000 m Seehöhe. Es handelt sich um eine Forschungs- und Entwicklungseinrichtung der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Das Observatorium ist nach dem berühmten Seismologen und Klimatologen Prof. Dr. Victor Conrad (1876 bis 1962) benannt. Schon in den Jahren 1998 bis 2000 wurde die erste Baustufe des Conrad Observatoriums errichtet. Die Forschungen sind in drei Sparten – Seismologie, Gravimetrie und Geomagnetik – gegliedert.

Die 1. Baustufe dient der Seismologie zur Beobachtung von Seismizität und der Erfassung von Atomtests, zur Kalibrierung von Seismometern und zur Entwicklung bzw. zum Test von neuen Messinstrumenten sowie zum Vergleichen von verschiedenen Messinstrumenten. Ebenso werden im Rahmen der 1. Baustufe Veränderungen des Schwerfeldes der Erde erfasst. Diese entstehen durch Gezeitenkräfte und geodynamische Prozesse.

Die 2. Baustufe dient zur Erforschung der Geomagnetik, der dritten Sparte des gesamten Observatoriums. Es sollen Erkenntnisse über Magnetfelder der Erde, Sonnenwinde bzw. Sonnenstürme gewonnen werden.

2. Baubeschreibung

Der Standort des Geomechanischen Observatoriums wurde aufgrund der Abgeschiedenheit in einem un bebauten Gebiet gewählt, um die hochpräzisen Messungen ungestört durchführen zu können. Die Temperaturkonstanz und die nicht magnetische Bauweise im Kalkstein des Tafelberges sind optimale Voraussetzungen zur Errichtung der untertägigen Bauwerke.

Für die notwendigen Messinstrumente und zum Erhalt der Messergebnisse für die 2. Baustufe wurde ebenfalls ein Stollensystem Untertage notwendig. Das Stollensystem ist so geplant, dass der Abstand der einzelnen Messinstrumente zueinander im dreidimensionalen System eine Distanz von 200 m ergibt. Dies hatte zur Folge, dass neben dem waagrechten Stollensystem auch bis zu 200 m tiefe Bohrungen erforderlich waren. Das Stollensystem selbst hat eine Länge von ca. 1.050 m und besteht aus einem ca. 400 m langen Hauptstollen, einem ca. 200 m langen Experimentierstollen und den für das Messsystem erforderlichen Verbindungsstollen.

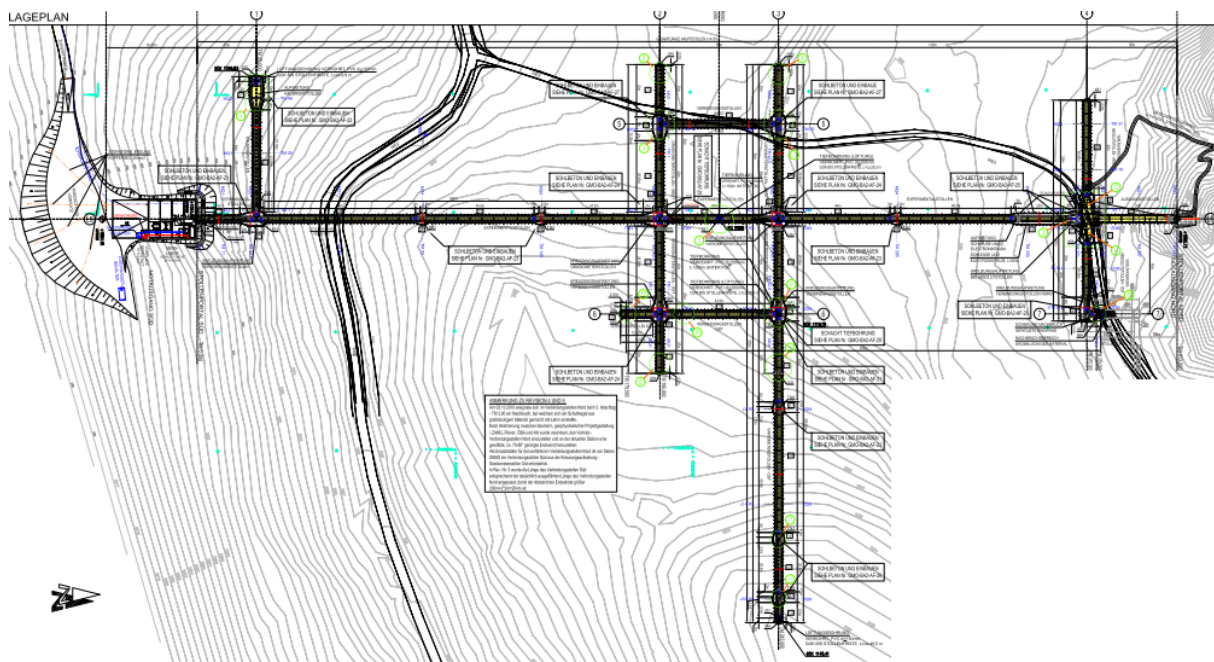


Bild 1: Grundriss ohne Maßstab, Stollenanlage Conrad Observatorium 2. Baustufe

Das Stollensystem wurde nach den Grundsätzen der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode im Sprengvortrieb aufgeföhren. Bedingung war, aufgrund der geomagnetischen Forschungen, nach Baufertigstellung ein Stollensystem komplett in antimagnetischer Bauweise zu erhalten. Anstelle von Stahleinbauten mussten die folgenden alternativen Stützmittel und Einbauten gewählt werden:

- Glasfaserverstärkte Kunststoffbewehrungsmatten
- GFK-Anker
- Ankermörtel mit Weißzement
- Spritzbeton mit Weißzement

- Spritzabdichtung
- Gehwegbeton mit Weißzement
- Sämtliche Kabeltassen aus GFK Material

3. Bauausführung

Der Baubeginn für die Baustufe 2 erfolgte im Juni 2010. Sämtliche Bauarbeiten wurden von unserem Unternehmen ausgeführt. Auftraggeber ist die Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend. Im Folgenden werden die Projektangaben und die Bauabwicklung dargelegt.

3.1 Geologische Verhältnisse

- Massiger bis aufgelockerter, stark geklüfteter Wettersteinkalk
- Verschiedene Trennflächensysteme (Klüfte, Harnischflächen und Störungen)
- Vortrieb teilweise im Grenzbereich zwischen massigem und klüftigem Fels
- Auffahren von großen Karsthöhlen



Bild 2: Ausbruch – Vortrieb im „Karst“

3.2 Ausbruchsarbeiten

Im gesamten Stollensystem wurde der volle Querschnitt zyklisch im Sprengvortrieb aufgeföhren. Die Abschlagslängen betragen 1,00 m bis 1,70 m.

Die notwendigen Sicherungsmaßnahmen wurden im Zuge der Vortriebsarbeiten, welche im Durchlaufbetrieb ausgeführt wurden, eingebaut. Zur Anwendung kamen die folgenden Stützmittel:

- Spritzbeton Firste/Kämpfer/Ulme mit Weißzement ds von 10 cm, 15 cm bzw. 20 cm
- Ortsbrustspritzbeton 5 cm
- 1 Lage GFK Matten
- GFK-Mörtelanker, Länge = 2,0 m bzw. 3,0 m
- GFK-Spieße Länge = 3,0 m
- Hohlraumverpressung mittels Injektionsgut aus Weißzement

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und der engen Verhältnisse im Stollen wurden die Spritzbetonsicherungsarbeiten im Trockenspritzverfahren ausgeführt. Wegen der steilen Zufahrtsstraße musste das Trockengemisch mittels 4-Achser Silofahrzeugen zur Baustelle transportiert und dort in die neben dem Stollenportal aufgestellten 2 x 90 to Vorratssilos eingeblasen werden. Im Bereich der Silos wurden Spritzmaschinen Aliva 285 als Fördergeräte für den Trockenspritzbeton installiert.

Die Förderung des Trockenmischgutes in den Stollen erfolgte über eine 3" Stahlleitung bis zu einer Maximallänge von 400 m. Vor Ort wurde das Trockenmischgut mittels Spritzschlauch über eine Kunststoffdüse, wo auch die Wasserzugabe erfolgte, an die Stollenlaibungen und die Firste aufgebracht.

Der Spritzbetonrückprall wurde nur optisch bewertet, dieser lag im Rahmen der üblichen Werte beim Einsatz von Trockenspritzbeton.

Wegen der bekannt größeren Staubentwicklung beim Einsatz von Trockenspritzbeton gegenüber Nassspritzbeton wurde auf die Bewetterung größtes Augenmerk gelegt. Es erfolgte der Einsatz einer drückenden Bewetterung mit einem Lüfter am Stollenportal mit einer Leistung von 45 KW, sowie der Luttenleitung in den Stollen mit einem Durchmesser von 900 mm.

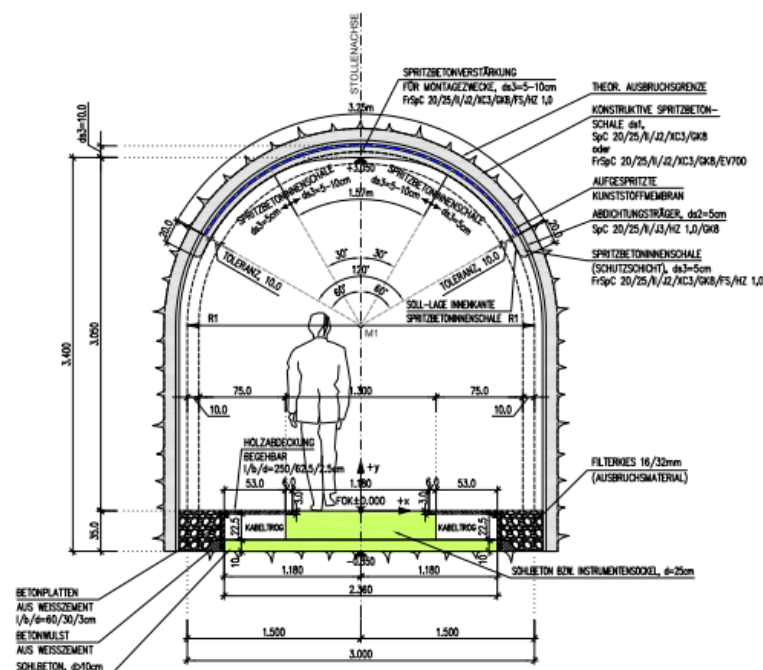


Bild 3: Regelprofil Hauptstollen

3.3 Ausbaurbeiten

Aufgrund des geringen Wasserandranges war der Einbau einer Abdichtung nur im Kalottenbereich zum Schutz der Messinstrumente vorgesehen. Im Zuge der Ausführung wurde als Abdichtungssystem eine Spritzabdichtung aus Polyurea gewählt.

Dieses Produkt wurde auf der Baustelle Conrad Observatorium erstmals im Stollenbau eingesetzt. Vor dem Aufbringen der Spritzabdichtung wurde die Spritzbetonoberfläche mittels Hochdruckreiniger gereinigt und danach ein Haftgrund aufgerollt sowie Quarzsand einge-

streut. Danach erfolgt die thermische Aufbringung der Spritzabdichtung. Auf die Spritzabdichtung wurde wiederum ein Haftgrund aufgerollt und Quarzsand eingestreut.

Als Brandschutz kam ein 5 cm dicker Brandschutzspritzbeton zur Anwendung. Der Brandschutzspritzbeton mit PP-Microfasern wurde im Trockenspritzverfahren aufgebracht.

4. Besonderheiten

Nachstehend werden einige Besonderheiten, welche im Zuge der Bauabwicklung aufgetreten sind, beschrieben.

4.1 Versuche mit kunststofffaserbewehrtem Trockenspritzbeton

Alternativ zur ausgeschriebenen Sofortsicherung der Hohlraumlaibung mit GFK-Bewehrungsmatten und Spritzbeton wurde der Einsatz von faserbewehrtem Trockenspritzbeton angedacht. Dies hätte die folgenden Vorteile gegenüber der vorgesehenen Sicherung mit sich gebracht:

- Erhöhung der Arbeitssicherheit durch Entfall der Bewehrungsmatten
- Einfachere und schnellere Sicherung der Hohlraumlaibung und daher auch Erhöhung der Vortriebsgeschwindigkeit
- Gesicherter antimagnetischer Ausbau

Bislang wurde Faserspritzbeton im Tunnelvortrieb in nur sehr geringem Ausmaß eingesetzt. Die bis dato aufgezeichneten Erfahrungen erstrecken sich auch größtenteils nur auf Stahlfaserspritzbeton. Kunststofffasern wurden bisher nur im Nassspritzverfahren ausgeführt. Über Kunststofffasern in Kombination mit ofentrockenem Spritzbeton gibt es keine nennenswerten Aufzeichnungen.

Auf der Baustelle wurden in Abstimmung mit dem Bauherrn mehrere Prüfkörper aus Faserspritzbeton mit der geforderten Güte FRSpC 20/25/II/J2/XC3/GK8/EV700 im Trockenspritzverfahren gespritzt. Als Fasern kamen Kunststoffmacrofasern mit einer Länge von 45 mm aus Polypropylen-Hochleistungspolymerfasern zum Einsatz. Die Dosierung betrug 7 kg/m³. Die Faserbeigabe erfolgte über Wiegebänder im Mischwerk des Betonherstellers in Wopfing, das Mischgut wurde als Fertigprodukt auf die Baustelle Conrad Observatorium angeliefert.



Bild 4: Prüfkörper Faserspritzbeton

Die Prüfung der „Prüfplatten“ erfolgte gemäß ÖNORM EN 14488-5 am Lehrstuhl für Subsurface Engineering der Montanuniversität Leoben. Im Zuge der Prüfung hat sich jedoch herausgestellt, dass die durch den Bauherrn geforderte Spritzbetonklasse EV700, welche ein Energieabsorptionsvermögen von mindestens 700 J aufweisen muss, in den durchgeführten Versuchen nicht erreicht werden konnte. Das Energieabsorptionsvermögen konnte aus folgenden Gründen nicht erreicht werden:

- Probleme ergeben sich beim Einbringen der Fasern in den Silo. Die Fasern sind entsprechend für die Zugabe in die Nass-Spritzbeton-Mischung in Bündeln mit Folie verpackt. Die sich sonst in der Nass-Spritzbeton-Mischung auflösende Verpackungsfolie gelangt beim Trockenspritzbeton in den applizierten Spritzbeton und somit auch in den Prüfkörper.
- Der beim Trockenspritzbeton übliche hohe Rückprall führt dazu, dass ein großer Anteil an Fasern nicht in den applizierten Spritzbeton gelangt. Eine höhere Faserdosierung ist nur bedingt möglich.
- Die Analyse der Prüfkörper zeigt, dass sich in fast allen Platten ein erheblicher Anteil an Fasern in den Ecken der Versuchskisten sammelt. Trotz rechtwinkligen Auftragens des Faserspritzbetons und einer geringen Fördermenge ist eine gleichmäßige Faser-Verteilung nicht möglich.

Die Sicherung der Hohlraumlaibung musste daher wie ausgeschrieben mit GFK-Bewehrungsmatten und Spritzbeton erfolgen. Die GFK-Matten wurden in Größen mit den Abmessungen 5,0 m x 2,0 m sowie einem Stabdurchmesser von 6 mm angeliefert und verlegt. Die Verbindung der Matten untereinander erfolgte mit Kabelbindern. Die temporäre Abstützung zum Gebirge hin wurde mit Holzabspreizungen durchgeführt. Es wurde Trockenspritzbeton SpC 25/30/III/J2/XC4/XF3/GK8 zum Einsatz gebracht.

4.2 Verwendung von Weißzement beim Trockenspritzbeton



Bild 5: „Helle Sicherungsarbeiten“

Weißzement wird aus sehr eisenarmen Rohstoffen (geringer Eisenoxidgehalt) hergestellt und hat daher keine magnetischen Eigenschaften.

Aufgrund des Abriebes der Stahl-Mahlkugeln bei der Herstellung des marktüblichen Zementes für den Tunnel- und Stollenbau und der damit verbundenen magnetischen Eigenschaft des Grauzementes war für die Errichtung des geomagnetischen Observatoriums ebenfalls die Verwendung von Weißzement erforderlich. Im Unterschied zum Grauzement werden beim Weißzement Keramik-Mahlkugeln verwendet.

Der Weißzement weist beim Einsatz im Trockenspritzverfahren die gleichen Eigenschaften wie der herkömmliche Grauzement auf. Wirtschaftlich betrachtet ist der Preis des Weißzementes jedoch wesentlich höher als jener des Grauzementes, da die Herstellung von Weißzement um ein Vielfaches aufwendiger ist. Um keine Verfärbung des „weißen“ Zementes zu erhalten, ist ein rasches Abkühlen des heißen Klinkers notwendig. Auch dies führt zu höheren Kosten.

Der alkalifreie pulverförmige Erstarrungsbeschleuniger wurde bereits werkseitig beigemischt und es konnte damit zielsicher die Frühfestigkeitsklasse J2 erreicht werden. Der Zementgehalt im Bereitstellungsgemisch betrug 380 kg/m^3 mit einem Beschleunigeranteil von ca. 30 kg/m^3 , dies entsprach einer Dosierung von ca. 7,5 bis 8,0 % des Zementgewichtes.

4.3 Antimagnetischer Ausbau

Sämtliche Ausbaumaterialien, wie bereits in der Baubeschreibung erwähnt, wurden von der ZAMG auf magnetische Eigenschaften überprüft und explizit für den Einbau freigegeben. Daneben mussten sämtliche Stollenabschnitte auf „verlorene“ Metallteile untersucht werden, sei es eine Spraydose, ein ehernes Werkzeug, seien es Nägel, Schrauben oder sonstige Metallstücke.

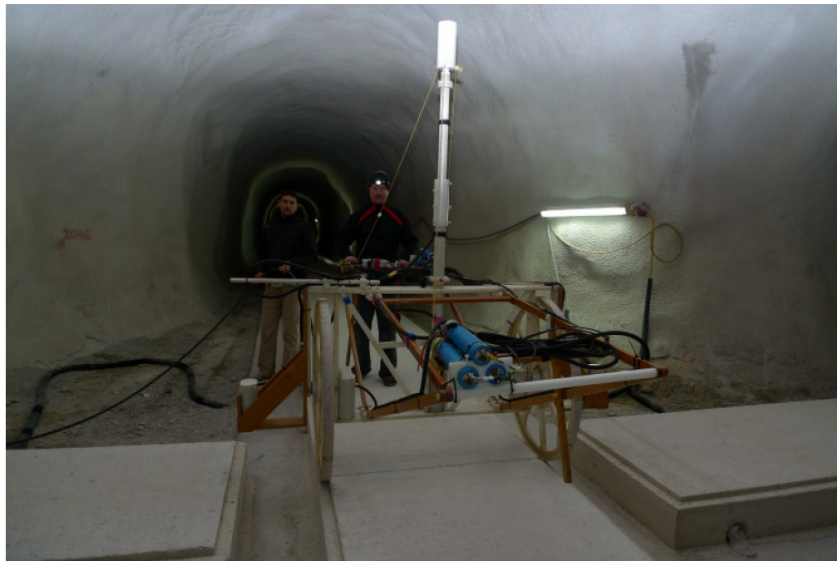


Bild 6: Cäsiummagnetometer der ZAMG

Neben der technischen Abnahme erfolgte zusätzlich eine geomagnetische Abnahme des gesamten Stollensystems durch die ZAMG. Dabei können Anomalien festgestellt werden, deren Stärke Hinweise auf Metallteile geben können.

4.4 Brandschutzspritzbeton

Zum Schutz der Polyurea-Spritzabdichtung war eine zusätzliche Lage Brandschutzspritzbeton GK 8, $d = 5 \text{ cm}$ im Bereich der Firstkappe erforderlich. Es kamen PP-Microfasern mit einer Dosierung von $1,0 \text{ kg/m}^3$ bei einem Weißzementanteil von 350 kg/m^3 zum Einsatz.

5. Zusammenfassung

Aufgrund der Vorgaben zur Errichtung der Baustufe 2 des Conrad Observatoriums war es für alle am Bau Beteiligten eine Herausforderung, das Bauwerk in der vorgegebenen Bauzeit technisch und qualitativ einwandfrei zu errichten.

Es konnten Erfahrungen gesammelt werden, die für zukünftige Bauvorhaben nicht ungenutzt bleiben sollten.

6. Literatur

- [1] ÖNORM EN 14488-5:
Prüfung von Spritzbeton – Bestimmung der Energieabsorption bei faserverstärkten plattenförmigen Prüfkörpern. 2006.
- [2] ÖVBB:
Richtlinie Faserbeton. Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik, Wien, Ausgabe Juli 2008.
- [3] ÖVBB:
Richtlinie Spritzbeton. Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik, Wien, Ausgabe Dezember 2009.
- [4] Reischer, K., Slovacek, W.:
Prüfbericht TGM – VA BS 4319. tgm Staatliche Versuchsanstalt, Baustoffe und Silikattechnik, unveröffentlicht, Wien 2010.
- [5] Kusterle, W.:
Prüfbericht – Bestimmung der Energieabsorption bei faserverstärkten plattenförmigen Prüfkörpern nach ÖVBB-Richtlinie Spritzbeton, Ausgabe 12/2009 und ÖNORM EN 14488-5. Hochschule Regensburg, unveröffentlicht, Regensburg 2010.
- [6] Pittino, G.:
Prüfbericht – Bestimmung der Energieabsorptionskapazität bei faserverstärkten plattenförmigen Prüfkörpern nach ÖVBB-Richtlinie Spritzbeton (2009) und ÖNORM EN 14488-5 (2006). Lehrstuhl für Subsurface Engineering, MU-Leoben, unveröffentlicht, Leoben, 2010.
- [7] Pittino, G.; Fritz, L.; Hadwiger M.; Geier G.; Rosc J.; Habe D. & Pabel, T.:
Stahlfaserbewehrter Spritzbeton – CT basierende Visualisierung und Berechnung der Orientierung von Stahlfasern. In: Kastner (Hrsg.): Proceedings Industrielle Computertomografie Tagung 2010, Aachen, Shaker Verlag, 2010.
- [8] Pittino, G.; Mößlacher, A.; Schwab, P.; Galler, R.:
Einsatz und Prüfung von Faserspritzbeton am Beispiel „Conrad Observatorium – Baustufe 2. BHM (2010) Vol. 155 (12): 587 – 592.
- [9] Pittino, G.; Mößlacher, A.; Schwab, P.; Galler, R.:
Einsatz und Prüfung von kunststofffaserbewehrtem Trockenspritzbeton. Geomechanics and Tunneling 4/2011, No. 1.

Zum Autor

Ing. Norbert Reichard

Absolvent der HTL Ortweinplatz Graz, Abteilung Tiefbau; seit 1979 Bauleiter im Untertagebau bei der Bauunternehmung Stettin bzw. ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH, seit 2009 Bereichsleiter Untertagebau

norbert.reichard@oestu-stettin.at