

Tensar®

WIR STABILISIEREN



www.tensar.de

Urbane Infrastruktur
Grundbruchbemessung
Injektionstechnik
Angebotswesen

Geotechnik digital
Wissenstransfer
Bewusstsein für Rohstoffe
Schildmaschinen

Befestigungstechnik
Logistikeffizienz
Tunnelbau im Bergbau
Schachtbewetterung



SHAFT BORING ROADHEADER

SICHERES UND SCHNELLES TEUFEN

Der Shaft Boring Roadheader (SBR) wurde für das maschinelle Abteufen von Blindschächten in weichem bis mittelhartem Gestein entwickelt. Sicherer und schnelles Schachtabteufen aus dem Vollen bis 1.000 Meter Teufe.

› herrenknecht.com/en/products/mining/

HERRENKNECHT

 Tunnelling Systems



If you're ever gonna do something bigger

Halbach & Braun Quarry Equipment

- Impact or Pick Drum Crushers and Bunker Conveyors
- Stationary, semi-mobile or mobile
- Integrated prescalping /prescreening possible
- High throughput
- No matter if granite, limestone, oil shale, salt, slag, ...



Halbach & Braun Maschinenfabrik GmbH & Co.
 Am Stahlwerk 11 Fon: +49 2324 9082-0
 45527 Hattingen Fax: +49 2324 9082-90
 Germany info@halbach-braun.de

www.halbach-braun.de



Inhalt

AUF EIN WORT

Roland Leucker

Für lebenswerte Städte neue Wege gehen!.....5

Die umwelt- und klimafreundliche Gestaltung von Infrastruktur für lebenswerte Städte bei begrenztem Platz und finanziellen Mitteln ist eine große Herausforderung. Um die anstehenden Aufgaben zu lösen, müssen Ingenieure über den Tellerrand blicken und neue Wege gehen.

Auf ein Wort • Urbanisierung • Nachhaltigkeit • Infrastruktur • Tunnelbau • Kooperation

GEOTECHNIK

Daniel Cammarata

Neues Berechnungsmodell der Grundbruchsicherheit geogitterstabilisierter Tragschichten auf gering tragfähigen Untergründen7

Die Grundbruchsicherheit von Systemen mit Tragschichten über gering tragfähigen Untergründen kann durch Geogitter erhöht werden. Dieser Artikel erläutert ein innovatives Berechnungsmodell, das auch die stabilisierende Funktion von Geogittern im Verbund mit dem Boden der Tragschicht erfassen kann.

Geotechnik • Geogitter • Grundbruch • Berechnungsverfahren • Stabilisierung

GEOTECHNIK

Günther Schalk

Injectionen als Nebenangebote und Sondervorschläge – Chancen und Risiken11

Nebenangebote eröffnen für Auftraggeber wie für Bieter zahlreiche Vor- und Nachteile. Sie ermöglichen Baufirmen, nicht nur mit dem günstigsten Preis im Hauptangebot zu punkten, sondern mit Spezialwissen eine günstigere technische Alternative anbieten zu können. Der Auftraggeber kann auf diese Weise sein Bauvorhaben möglicherweise schneller und kostengünstiger realisieren. Dieser Artikel erläutert Chancen und Risiken für Auftraggeber und Bieter bzw. Auftragnehmer im Vergabeverfahren und bei der Bauausführung.

Geotechnik • Injektionen • Ausschreibung • Regelwerk • Vertragswesen

TUNNELBAU

Götz Tintelnot

Auswirkung harmonisierter europäischer Bauproduktionsnormen auf die Sanierung von Tunnelbauwerken mit Rissinjektionsystemen16

Die harmonisierten europäischen Bauproduktionsnormen wirken sich auf Instandhaltungsprodukte für Sanierungen von Tunnelbauwerken mit Rissinjektionsystemen aus. Die BASt-Listung steht nicht mehr für Produktnachweise zur Verfügung. Dieser Artikel erläutert eine im Bauablauf praktikable Möglichkeit der Nachweisführung unter Beachtung der neuen baurechtlichen Rahmenbedingungen.

Tunnelbau • Injektion • Sanierung • Instandhaltung • Normen • Bauprodukte

GEOTECHNIK

Frank Schütze

Die Geotechnik der Zukunft ist digital –

4. Praxistag der Geotechnik der Georando-Stiftung in Sachsen19

In zahlreichen Vorträgen und Workshops konnten die Teilnehmer des 4. Praxistags der Geotechnik ihr Wissen und ihr Netzwerk erweitern. Schwerpunkt war die Nutzung der Digitalisierung für die Felssicherung – nicht nur theoretisch im Seminarraum, sondern auch ganz praktisch zum Anschauen und Anfassen auf dem Georando-Freigelände.

Geotechnik • Hangsicherung • Digitalisierung • Veranstaltung • Netzwerk

TUNNELBAU

Eckart Pasche

Mit der Rohrpost gegen den Verkehrsinfarkt22

Lebensstandard und Arbeitsplätze hängen von guter Erreichbarkeit der Produktionsstandorte sowie leistungsfähigen Transport- und Logistiklösungen ab. Insbesondere in urbanen Ballungsräumen stößt die traditionelle Verkehrsinfrastruktur an ihre Grenzen. Neue Lösungen sind dringend erforderlich. Eine erfolgversprechende Idee ist das CargoCap-System.

Ideenwerkstatt • Infrastruktur • Verkehr • Logistik • Innovation

INTERVIEW/ROHSTOFFE

GeoResources im Gespräch mit Prof. Dr. Watzel

Zur Notwendigkeit von Rohstoffgewinnung und dem gesellschaftlichen Bewusstsein dafür23

Das GeoResources Team sprach mit Prof. Dr. Ralph Watzel, dem Präsidenten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover, über die Notwendigkeit von Rohstoffgewinnung und dem Bewusstsein dafür in unserer Gesellschaft.

Rohstoffe • Bergbau • Akzeptanz • Globalität • Gesellschaft

Titel

Tensar International gehört zu den globalen Marktführern für Bodenbewehrung und -stabilisierung mit Geogittern. Die Produkte werden z. B. zur Tragschichtstabilisierung, zur Bewehrung von Steilböschungen und zur Asphaltbewehrung eingesetzt. Die Niederlassung Tensar International GmbH in Bonn, Deutschland, bietet auch technische Unterstützung zur Realisierung sicherer, wirtschaftlicher und nachhaltiger Lösungen. Lesen Sie auf den Seiten **7 bis 10** über ein innovatives Bemessungsverfahren zum Grundbruchnachweis geogitterstabilisierter Tragschichten über gering tragfähigen Untergründen.



Seite 5



Seite 16



Seite 19

**ROHSTOFFE/POSTER***Geological Society, BDG und RohstoffWissen***Rohstoffe in einem Smartphone 28****TUNNELBAU/PRODUKTMELDUNG***Katharina Maria Siegel***Auf sicherer Schiene durch Kopenhagen 32**

Zur Verbesserung der Infrastruktur baut die dänische Hauptstadt Kopenhagen ihr Metrosystem aus. Der Cityringen ist ein zentraler Bestandteil. Moderne Befestigungstechnik erhöht die Sicherheit des unterirdischen Schnellbahnsystems.

Tunnelbau • Metro • Infrastruktur • Befestigungstechnik • Dänemark**TUNNELBAU***Jürgen Schmitt, Bayar Bayrakci und Ulrich Burbaum***Maschinentechnische Entwicklungstendenzen im maschinellen****Tunnelbau im Lockergestein 33**

Insbesondere seit den 1970er-Jahren sind die Marktanteile des maschinellen Tunnelbaus gegenüber dem konventionellen Tunnelbau gewachsen. Immer größere Schildmaschinen werden realisiert. Auf der Grundlage von bis zu 274 Projekten wurden die Parameter Schilddurchmesser, Antriebsleistung, Drehmoment und Vortriebsleistung von Schildmaschinen ausgewertet. Dieser Artikel zeigt die zeitliche Entwicklung dieser Parameter auf.

Tunnelbau • Maschineller Tunnelbau • Lockergestein • Entwicklung**TUNNELBAU/PRODUKTMELDUNG***Würth Group***Großprojekt Brenner Basistunnel –****Effiziente Logistik zur Materialbeschaffung 37**

Im Brenner Basistunnel entsteht die längste unterirdische Bahntrasse der Welt. Die Würth Group bietet den an diesem Großprojekt beteiligten Unternehmen Logistikleistungen für eine effiziente Materialbeschaffung.

Tunnelbau • Großprojekt • Logistik • Zulieferer • Service • Effizienz • Befestigungstechnik**TUNNELBAU/BERGBAU***Dennis Edelhoff, Carsten Peter, Jürgen Kunz; Heinz-Dieter Pollmann***Tunnelbau trifft Bergbau – Besondere Herausforderungen bei Projektierung und Planung des Grubenwasserkanals****Ibbenbüren 39**

Die ARGE Grubenwasserkanal Ibbenbüren plant den Bau eines Grubenwasserkanals für das stillgelegte Steinkohlenbergwerk der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH. Dieser Artikel erläutert die technischen Herausforderungen, die mit maschinellem Tunnelvortrieb und Tübbingausbau bewältigt werden sollen.

Tunnelbau • Bergbau • Grubenwasserhaltung • Kanalbau • TBM • Planung**BERGBAU***Patrick Schneider***Schachtbewetterungsanlagen in innovativer Containerbauweise für Projekte in Weißrussland und England 45**

Für Kalibergwerke in Weißrussland und England konfigurierte, baute und montierte die CFT GmbH Compact Filter Technic innovative Schachtbewetterungsanlagen in Containerbauweise. Dieser Artikel erläutert die Anlagen und macht deutlich, dass sich die innovative Bauweise bewährt hat.

Bergbau • Schachteufen • Bewetterung • Effizienz • Weißrussland • England**BERGBAU***Eckart Pasche***Sicherheit hat Gene aus dem Steinkohlenbergbau 51**

Das Essener Unternehmen DMT GmbH & Co. KG zeigt mit Engineering Performance, dass Verfahren aus dem Bergbau vielseitig einsetzbar sind.

Bergbau • Wissenstransfer • Querdenken • Sicherheit • Unternehmen • Dienstleistung**JAHRESVORSHAU***GeoResources***Termin- und Themenplan 2020 54****Impressum 55**

Für lebenswerte Städte neue Wege gehen!

Prof. Dr.-Ing. Roland Leucker, Geschäftsführer der Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen – STUVA – e.V., Köln, Deutschland

Die umwelt- und klimafreundliche Gestaltung von Infrastruktur für lebenswerte Städte bei begrenztem Platz und finanziellen Mitteln ist eine große Herausforderung. Um die anstehenden Aufgaben zu lösen, müssen Ingenieure über den Tellerrand blicken und neue Wege gehen.

Auf ein Wort • Urbanisierung • Nachhaltigkeit • Infrastruktur • Tunnelbau • Kooperation

78 Millionen Menschen pro Jahr! Das ist die Geschwindigkeit, mit der die Weltbevölkerung derzeit wächst. Im Augenblick leben rund 7,7 Milliarden Menschen auf unserer Erde – im Jahr 2050 werden es 2 Milliarden mehr sein. Dabei gibt es, gerade in Schwellen- und Entwicklungsländern, einen Megatrend zur Urbanisierung, der beinahe bedrohliche Ausmaße annimmt: schon 2050 werden weltweit 5 Milliarden Menschen in Städten leben.

Infrastruktur für lebenswerte Städte

Um allen diesen Menschen ausreichende Lebensbedingungen zu bieten, müssen sich die Städte neu erfinden. Insbesondere die Infrastruktur muss so effizient gestaltet werden, dass genügend Raum zum Leben bleibt. Das gilt im besonderen Maße für den Verkehrssektor, denn eine lebenswerte Stadt der Zukunft kann nur gelingen, wenn der motorisierte Individualverkehr abnimmt und das ÖPNV-Angebot massiv ausgebaut wird. Der dafür in Städten zur Verfügung stehende Platz ist extrem begrenzt, weshalb zwangsläufig der unterirdische Raum

noch intensiver genutzt werden muss. Nur so können versiegelte Flächen des motorisierten Individualverkehrs wieder sinnvoller Nutzungen zugeführt oder sogar „ungenutzt“ renaturiert werden.

Das alles wird nur mit zusätzlichen Tunnels zu erreichen sein. Der weltweite Bedarf an notwendigen Infrastrukturanpassungen ist kaum absehbar und nur durch die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel begrenzt. Es gibt also zukünftig noch eine Menge zu tun für die Tunnelbranche – zumindest in stark wachsenden Regionen. Aber sind wir dafür auch gerüstet?



Fachübergreifende Teamarbeit

Mit steigender Komplexität der Städte wachsen zwangsläufig die gegenseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Subsysteme. So steht der unterirdische Raum nicht exklusiv für die Verkehrsinfrastruktur zur Verfügung, sondern muss auch die immer aufwendigeren Kommunikations-, Ver- und Entsorgungssysteme aufnehmen. Wenn aber kein städtisches Infrastrukturprojekt aufgrund der vielfältigen Interdependenzen mehr für sich alleine betrachtet werden kann, dann müssen für einen nachhaltigen Projekterfolg auch sämtliche Vorgehensweisen für



STUVA-Tagung – International Forum for Tunnels and Infrastructure

jede Bauwerksphase neu gedacht werden. Grundvoraussetzung dafür ist eine konsequente, fachübergreifende Teamarbeit aller beteiligten Kräfte. Ansätze dafür finden sich allerorten.

Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen – STUVA – e. V.

Mit dem Slogan „**Mit uns neue Wege gehen!**“ ist die STUVA Ansprechpartner für:

- ▶ Tunnelbau
- ▶ Abdichtung von Bauwerken
- ▶ Brandschutzplanung unterirdischer Bauwerke
- ▶ Schall- und Erschütterungsschutz
- ▶ Sicherheit von Bauwerken
- ▶ Umwelt- und Arbeitsschutz
- ▶ Öffentlichen Personennahverkehr
- ▶ Barrierefreies Bauen

Sie veranstaltet alle zwei Jahre die STUVA-Tagung, in diesem Jahr Ende November in Frankfurt a. M.

Weitere Informationen:

info@stuva.de
www.stuva.de / www.stuva-conference.com

Partnerschaftliche Vertragsmodelle

Erste Pilotprojekte zeigen, dass eine Abkehr vom bislang in Deutschland üblichen kompetitiven Vergabeverfahren, bei dem einzelne Gewerke ausgeschrieben und an den billigsten Anbieter vergeben werden, sinnvoll ist. Innovative partnerschaftliche Vertragsmodelle setzen darauf, die Interessen von Auftraggeber (AG) und Auftragnehmer (AN) am Projekterfolg gleichzuschalten. Dies geschieht vor allem durch vom AG vorgegebene und vertraglich vereinbarte Bonuszahlungen an den AN, falls dieser Meilensteine früher erreicht, die Baustellengemeinkosten reduzieren kann oder aber auch für eine gute Arbeitssicherheit und Ausführungsqualität sorgt. Mit einem solchen Vertrag hängt der finanzielle Gewinn des AN stets von einer guten Kooperation mit dem AG ab. Aufgrund des synchronen Interesses am Projekterfolg können AG und AN so eine Allianz bilden, die gemeinsam projektbezogene Entscheidung partnerschaftlich trifft.

Building Information Modeling (BIM)

Zur Projektrealisierung steht mit Building Information Modeling (BIM) darüber hinaus ein leistungsfähiges Tool zur Verfügung, das von der frühen Planungsphase bis zur Fertigstellung mit einem ständig verfeinerten dreidimensionalen Modell des Bauwerks allen Beteiligten einen umfassenden Überblick über den aktuellen Projektstand bietet. Das schon seit einigen Jahren im Hochbau bewährte BIM hat sich in ersten Pilotprojekten auch für das unterirdische Bauen als effektives Planungstool erwiesen. Die kontinuierlich aufbereiteten Projektdaten stehen stets allen Projektbeteiligten unmittelbar zur Verfügung und steigern die Produktivität des Planungsprozesses hinsichtlich Kosten, Terminen und Qualität.

Blick über den Tellerrand

Stellen wir uns also den großen Aufgaben, die die wachsenden Städte an uns Ingenieure stellen, und heben wir den Blick über unseren eigenen Tellerrand. Denn es ist unsere gemeinsame Aufgabe, mit innovativer ressourcenschonender Technik, konsequenter Teamarbeit und bedingungsloser Projektorientierung eine lebenswerte Umwelt für alle Menschen sicherzustellen.

Ich bin davon überzeugt, dass die diesjährige STUVA-Tagung in Frankfurt zur Weitung unseres Blickwinkels beiträgt und freue mich auf einen regen Gedankenaustausch.

Ihr Roland Leucker

1 Selbstbohrsystem – 7 Anwendungen

Mikropfahl TITAN

STUVA
 Halle 5.1, C 155
 Besuchen Sie uns!

- Portal- und Böschungssicherung ① ②
- Verbundschirm, Spieße, Radialanker ③ ④ ⑤
- Ortsbrustanker ⑥
- Kalottenfußpfahl zur Setzungsminimierung ⑦

Weitere Infos: www.ischebeck.de

FRIEDR. ISCHEBECK GMBH
 Loher Str. 31-79 | DE-58256 Ennepetal

Das neue Berechnungsmodell „T-Value“ zur Grundbruchsicherheit geogitterstabilisierter Tragschichten auf gering tragfähigen Untergründen

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Cammarata, Tensar International GmbH, Bonn, Deutschland

Einleitung

Ungebundene Tragschichten werden oft über gering tragfähigen Böden hergestellt, um die Grundbruchsicherheit schwer belasteter Flächen zu erhöhen. Der Einsatz von Geokunststoffen kann den Grundbruchwiderstand signifikant erhöhen und erlaubt i. A. geringere Schichtdicken. Das ist aus Gründen der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit ein interessantes Gründungskonzept für Bauherren, Planer und Bauausführende. Beim Entwurf solcher Verbundtragsysteme müssen planende Ingenieure jedoch die Hürde der rechnerischen Nachweisführung überwinden. Der Grenzzustand der Tragfähigkeit wird im Wesentlichen durch den Grundbruchnachweis abgebildet (**Bild 1**). Vorhandene Berechnungsansätze berücksichtigen die tragfähigkeits erhöhende Wirkung von Geokunststoffen oft nur dadurch, dass deren Zugfestigkeit – zum Teil abgemindert durch entsprechende Faktoren und Teilsicherheitsbeiwerte – in der Gleichgewichtsbetrachtung angesetzt wird. Das Verbundsystem aus Boden und Geokunststoff wird also rechnerisch entkoppelt. Diese Vorgehensweise mag ansatzweise auf bewehrende Geokunststoffe zutreffen, ist jedoch für Geogitter mit einer stabilisierenden Funktion entsprechend DIN EN ISO 10318 Teil 1 [1] nicht anwendbar. Denn insbesondere für diese Funktion ist das Interaktionsverhalten der beiden Komponenten Boden und Geogitter von entscheidender Bedeutung, sodass unter keinen Umständen ein entkoppeltes System betrachtet werden sollte. Das neue Berechnungsmodell „T-Value“ von LEES [2] geht genau auf diese Problemstellung ein und bietet planenden Ingenieuren eine verifizierte Möglichkeit, die Hürde eines geogitterstabilisierten Verbundtragsystems rechnerisch zu überwinden.

Allgemeines zu Tragschichten als Gründungsebenen

Ungebundene Tragschichten werden sehr oft als Gründungsebenen für Arbeitsflächen oder Fundamente genutzt. Ein wesentlicher Grund hierfür ist das Vermögen des Korngerüsts, Lasten großflächiger umzulagern und somit das Gesamttragverhalten über gering tragfähigen Böden zu verbessern. **Bild 1** zeigt prinzipiell einen Querschnitt der Systemgeometrie mit relevanten Begriffen und Eingangsparametern für den Grundbruch-

Die Grundbruchsicherheit von Systemen mit Tragschichten über gering tragfähigen Untergründen kann durch Geogitter erhöht werden. Dieser Artikel erläutert ein innovatives Berechnungsmodell, das auch die stabilisierende Funktion von Geogittern im Verbund mit dem Boden der Tragschicht erfassen kann.

Geotechnik • Geogitter • Grundbruch • Berechnungsverfahren • Stabilisierung

nachweis. In **Tabelle 1** sind die zugehörigen üblichen Abkürzungen und ihre Bedeutung aufgelistet. Ein Grundbruchversagen bedingt einen Scherbruch innerhalb der ungebundenen Tragschicht und einen Grundbruchmechanismus der darunterliegenden, gering tragfähigen Bodenschicht, wenn die Tragschicht nicht so dick ist, dass das Scherversagen nur in der Tragschicht auftritt. Vorhandene Berechnungsansätze für die Nachweisführung von Aufbauten ohne Geokunststoffe berücksichtigen oft eine semi-empirische Methode, wie z. B. die von MEYERHOF [3] bzw. von HANNAH und MEYERHOF [4] oder die Methode der Lastausbreitung.

Beim Ansatz der Lastausbreitung wird angenommen, dass die ungebundene Tragschicht die Lasten gleichmäßig und großflächig verteilt in den Untergrund einleitet. Die Scherfestigkeit dieser Schicht wird dabei außer Acht gelassen [5, 6]. Der Lastausbreitungswinkel α wird von der Vertikalen aus gemessen und ist

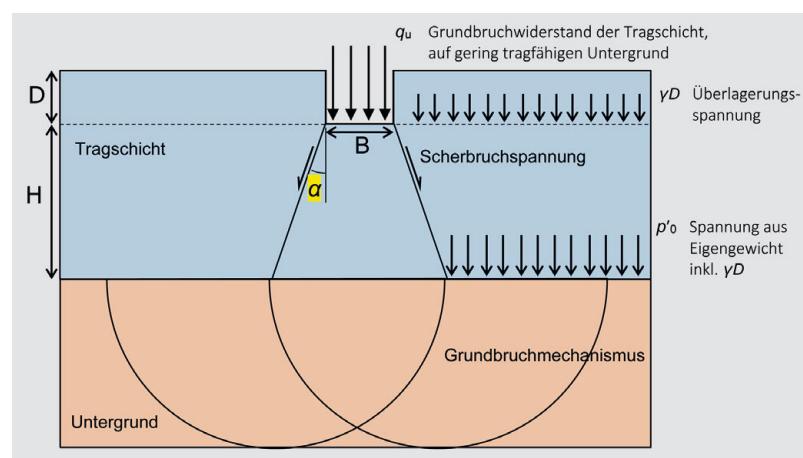


Bild 1: Geometrie und Begrifflichkeiten der Problemstellung

Tabelle 1: Abkürzungen und deren Bedeutungen in Grundbruchnachweisen

Abkürzung	Bedeutung
B	Breite oder Durchmesser der Gründung
D	Einbindung der Gründung
H	Tragschichtmächtigkeit zwischen Gründungsebene und Untergrund
L	Länge der Gründung
T	Effizienz der Spannungsumlagerung innerhalb der Tragschicht
p'_0	Effektive Vertikalspannung auf der Gründungsebene
q_u	Grundbruchwiderstand der Tragschicht, unendlich tief
q_s	Grundbruchwiderstand des gering tragfähigen Untergrunds
q_u	Grundbruchwiderstand der Tragschicht, auf gering tragfähigem Untergrund
s_u	Undränierte Scherfestigkeit des gering tragfähigen Untergrunds
α	Lastausbreitungswinkel
γ	Wichte der Tragschicht
φ'	Innerer Reibungswinkel der Tragschicht

gleich dem Scherflächenwinkel des Tragschichtmaterials (**Bild 1**). BROCKLEHURST [7] und BALLARD ET AL. [8] haben jedoch gezeigt, dass α nicht nur von der Scherfestigkeit der Tragschicht, sondern auch von der Scherfestigkeit der darunterliegenden Bodenschicht abhängt.

Geogitterstabilisierte Tragschichten als Gründungsebenen

Der Einbau von Geokunststoffen in einer ungebundenen Tragschicht kann das Tragfähigkeitsverhalten erheblich verbessern. Aus der großen Geokunststofffamilie werden für diesen Zweck insbesondere Geogitter eingesetzt. Sie sind strukturbedingt in der Lage, ein gutes Interaktionsverhalten zu ermöglichen. Abhängig von der Geogitterart und -geometrie gibt es aber eine große Bandbreite an Effizienz.

Für gestreckte Geogitter mit hexagonaler Öffnungsgeometrie und stabilisierender Funktion sind u. a. umfangreiche und großmaßstäbliche Scherfestigkeitsuntersuchungen am Verbundtragsystem durchgeführt worden. Daraus erarbeitete LEES für unterschiedliche Geogitteröffnungen, Tragschichtmaterialien und Untergrundtragfähigkeiten eine Grundbruchgleichung,

die eine zielgerichtete Berechnung ermöglicht. Er leitete eine einheitslose Beziehung zwischen dem Verhältniswert des Grundbruchwiderstands q_u/q_s und der Lastausbreitungsfähigkeit der ungebundenen Tragschicht her, den T-Wert. Dieser Wert ist abhängig von der Scherfestigkeit der beiden Bodenschichten und wurde über eine numerische Analyse (FEM) und einhergehende Parameterstudien mit Belastungsversuchen bestimmt (**Bild 2**). Dies ermöglicht im Rahmen einer Bemessung die Durchführung einer einfachen Berechnung des Grundbruchwiderstands anhand der Scherfestigkeiten der Schichten, ohne auf empirische Diagramme zurückgreifen zu müssen. Dieser Ansatz ist mit folgenden Gleichungen bei ebenflächigen oder vertikal eingebundenen, kreis- oder rechteckförmigen Gründungen sowie bei dränierenden oder undränierten Baugrundzuständen anwendbar.

Streifegründung:

$$\frac{q_u}{q_s} = 1 + T \frac{H}{B} \leq \frac{q_g}{q_s} \quad (1)$$

Rechteckige oder kreisförmige Gründung:

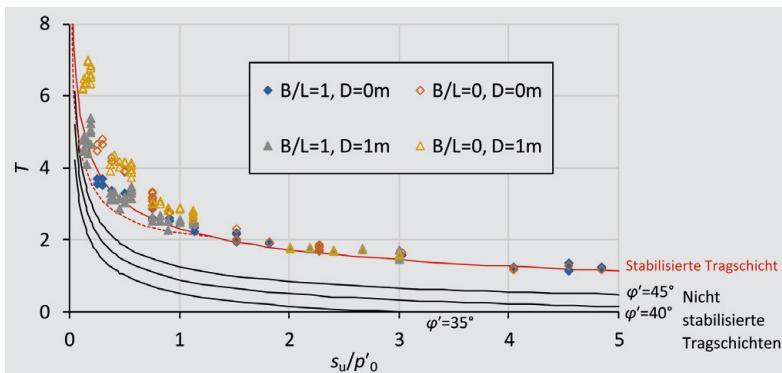
$$\frac{q_u}{q_s} = \left(1 + T \frac{H}{B} \right)^2 \leq \frac{q_g}{q_s} \quad (2)$$

Der Ansatz von MEYERHOF [3] und der Ansatz der Lastausbreitung wurden für das T-Value-Berechnungsmodell dahingehend modifiziert, dass auch der Einsatz von Geogittern mit einer stabilisierenden Funktion berücksichtigt werden kann. Das war auch schon zuvor von BRE [9] und MILLIGAN ET AL. [10, 11] für bewehrte Geokunststoffe aufgegriffen worden, indem sie die Zugfestigkeit der Bewehrungen in ihren Ansätzen einbezogen. Bei dem neuen modifizierten Ansatz von LEES wird nunmehr die Leistungsfähigkeit hexagonaler Geogitter im Verbund mit dem Schüttmaterial erfasst.

Der Mehrwert einer Geogitterstabilisierung

Die gestreckten Geogitter mit hexagonaler Gitterstruktur wirken multi-axial und sind die logische Weiterentwicklung der biaxialen Geogitter. Sie wurden mit dem vorrangigen Ziel entworfen, den Effekt der Kornimmobilisierung bei geringen Verformungen zu optimieren, ohne sich dabei normativen Zwängen zu unterwerfen, wie z. B. der Angabe einer Zugfestigkeit in Längs- und Querrichtung.

Die Kornimmobilisierung – auch als Stabilisierung definiert und normativ seit 2018 eingeführt – ist ein Effekt, der sich nicht nur in der Geogitterebene ausbildet, sondern auch räumlich zu beobachten ist. So haben auch BUSSERT und CAVANAUGH [12] feststellen können, dass bestimmte Geogitter eine Stabilisierungsreichweite bis mindestens 30 cm über, aber auch unter der Geogitterebene erreichen. LEES und CLAUSEN [13] führten großmaßstäbliche Triaxialversuche in Zellen mit 0,5 m Durchmesser und 1,0 m Höhe durch. Ge-

**Bild 2:** T-Wert abhängig von s_u/p'_0 für ein Geogitter und unterschiedliche Tragschichtmaterialien [2]

getestet wurde ein Schottermaterial mit einem Körnungsbereich 0/40. Die Versuche erfolgten mit und ohne hexagonales Stabilisierungsgeogitter. Das Geogitter wurde mittig eingebracht. Bild 3 zeigt die Deviatorspannung q abhängig von der axialen Stauchung ϵ_a für drei unterschiedliche σ_3' -Spannungen (Stützdrücke) mit und ohne Geogitter. Bei den Versuchen mit Geogitter sind zum einen der gestiegene Höchstwert der Scherfestigkeit und zum anderen der nicht lineare Verlauf eindeutig zu erkennen. Beide Effekte sind auf die Verspannung und Immobilisierung der Kornpartikel in den formstabilen Geogitteröffnungen zurückzuführen. Dadurch ist das Last-Dehnungsverhalten der Aufbauten mit Geogitter duktiler mit höheren Tragreserven in Bereichen hoher Dehnungen.

Während diese Verspannungs- und Immobilisierungseffekte in der Ebene des Geogitters am wirksamsten sind, nehmen sie über die Höhe an Intensität ab (Bild 4). Im Berechnungsmodell wird daher eine an die jeweils betrachtete Höhe über dem Geogitter angepasste Bruchbedingung berücksichtigt.

Ein grundlegendes linear elastisch, ideal plastisches Stoffmodell (TSSM – Tensar Stabilised Soil Model) wurde entwickelt. Basierend auf diesem Stoffmodell wurden bereits durchgeführte Triaxialversuche mit FEM rückgerechnet. Eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Versuchen konnte bestätigt werden [13].

Validierung

Die verbesserte Leistungsfähigkeit geogitterstabilisierter Tragschichten beruht im Wesentlichen auf einer Erhöhung der Verbundscherfestigkeit resultierend aus der Interaktion zwischen Geogitter und Tragschichtmaterial. Aus diesem Grund ist der T-Value-Ansatz untergrund-, geogittertyp- und schüttmaterialabhängig und muss – wie für die multiaxialen Geogitter bereits erfolgt – einem aufwendigen Validierungsprozess unterzogen werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass das Berechnungsergebnis das reale Tragverhalten der jeweiligen Belastungssituation abbildet. Im Zuge dieses Validierungsprozesses wurden u.a. Ende des Jahres 2018 Plattendruckversuche mit 60 cm Plattendurchmesser auf einer 40 cm mächtigen, geogitterstabilisierten Schottertragschicht durchgeführt. Die Baugrunduntersuchungen bestätigten eine sehr geringe Scherfestigkeit des anstehenden Bodens von $s_u = 20 \text{ kPa}$ ($E_{V2} < 5 \text{ MPa}$). Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen wurde mit dem Berechnungsmodell T-Value ein Grundbruchwiderstand von 585 kPa ermittelt. Die Ergebnisse der Plattendruckversuche sind Bild 5 zu entnehmen.

Es ist ersichtlich, dass die Probelastung bis nahezu 600 kPa geführt wurde, ohne dass sich ein Bruchver sagen oder große Verformungen angekündigt haben. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass das Berechnungsmodell mit ausreichender Sicherheit die Realität abbildet und dabei noch Tragfähigkeitsreserven im

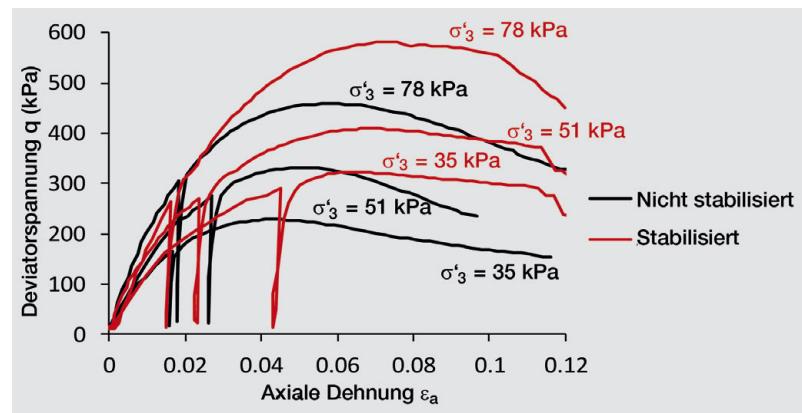


Bild 3: Deviatorspannung q abhängig von der axialen Stauchung ϵ_a im Triaxialversuch für eine geogitterstabilisierte (rot) und eine unstabilisierte (schwarz) Schottertragschicht [2]

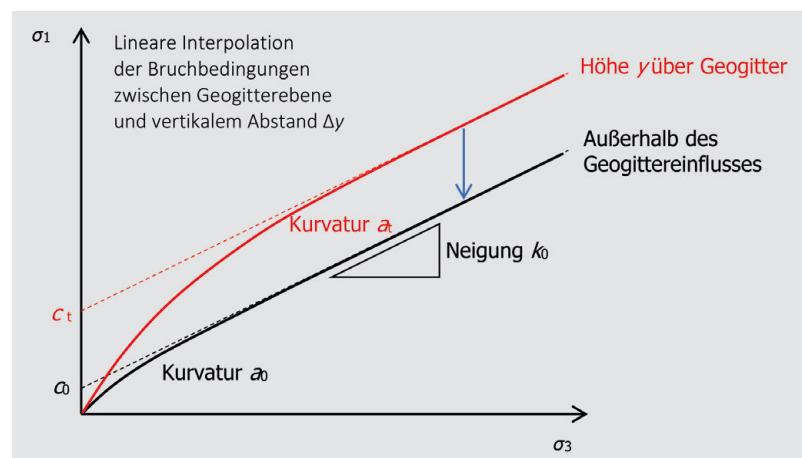


Bild 4: Bruchbedingung der geogitterstabilisierten Tragschicht [13]

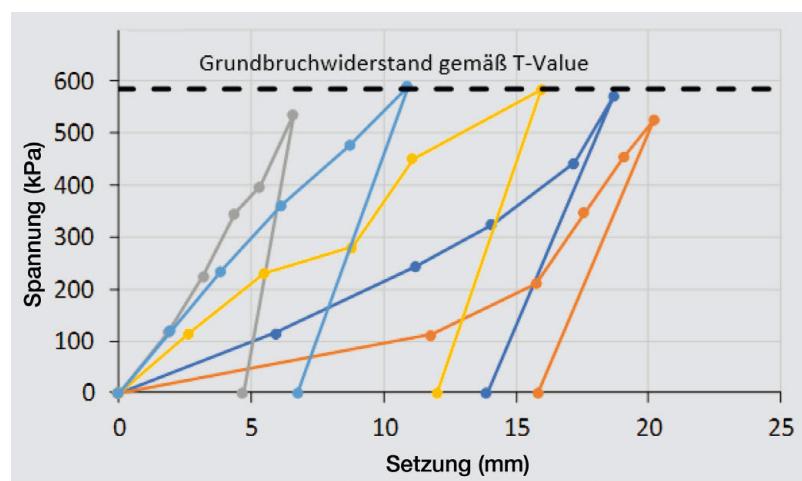


Bild 5: Ergebnisse der Plattendruckversuche [2]

Sinne eines höheren Schutzniveaus aufweist.

Fazit

Planende Ingenieure bekommen mit dem neuen Berechnungsmodell „T-Value“ die Möglichkeit, die Grund-

bruchsicherheit geogitterstabilisierter Tragschichten auf gering tragfähigen Untergründen zielgerichtet nachzuweisen. Die Nachweisführung erfolgt auf einer wissenschaftlich fundierten Grundlage, die wiederum von umfangreichen Untersuchungen und Probefeldern bestätigt ist. Einem wirtschaftlichen Gründungskonzept mit Geogittern steht somit nichts mehr im Wege.

Quellen

- [1] DIN EN ISO 10318-1:2018-10: Geokunststoffe - Teil 1: Begriffe (ISO 10318-1:2015 + Amd 1:2018); Dreisprachige Fassung EN ISO 10318-1:2015 + A1:2018
- [2] Lees, A.S. (2019): The bearing capacity of a granular layer on clay. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering. Online: <https://doi.org/10.1680/jgeen.18.00116> In press.
- [3] Meyerhof, G.G. (1974): Ultimate bearing capacity of footings on sand layer overlying clay. Canadian Geotechnical Journal 11(2), pp. 223-229.
- [4] Hannah, A. M.; Meyerhof, G.G (1980): Design charts for ultimate bearing capacity of foundations on sand overlying soft clay. Canadian Geotechnical Journal 17(2), pp. 300-303.
- [5] Terzaghi, K; Peck, R.B. (1948): Soil Mechanics in Engineering Practice. 1st ed. John Wiley and Sons, New York.
- [6] Yamaguchi, H. (1963): Practical formula of bearing value for two layered ground. In: Proceedings of the 2nd Asian Regional Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering,, Tokyo, pp. 99-105.
- [7] Brocklehurst, C.J. (1993): Finite element studies of reinforced and unreinforced two-layer soil systems. D.Phil thesis, University of Oxford.
- [8] Ballard, J-C.; Delvosal, P.; Yonatan, P.; Holeyman, A; Kay, S. (2011): Simplified VH equations for foundation punch-through sand into clay. Frontiers in Offshore
- [9] BRE (2004): BR470 Working platforms for tracked plant. BRE: Watford.
- [10] Milligan, G. W.E.; Jewell, R. A.; Houlsby, G. T.; Burd, H.J. (1989a): A new approach to the design of unpaved roads – Part. I. Ground Engineering, 22 (April), pp. 25-29.
- [11] Milligan, G. W.E.; Jewell, R. A.; Houlsby, G. T.; Burd, H.J. (1989b): A new approach to the design of unpaved roads – Part II. Ground Engineering 22 (November), pp. 37-42.
- [12] Bussert, F.; Cavanaugh, J. (2010): Recent research and future implications of the actual behaviour of geogrids in reinforced soil. ASCE Earth Retention Conference (ER2010), 1-4 August, Bellevue, Washington, pp. 460-477.
- [13] Lees, A.S.; Clausen, J. (2019): The strength envelope of granular soil stabilised by multi-axial geogrid in large triaxial tests. Canadian Geotechnical Journal. Online: <https://doi.org/10.1139/cgj-2019-0036> In press.

**Dipl.-Ing. (FH)
Daniel
Cammarata**

ist Leiter der,
Anwendungstechnik
bei der Tensar
International GmbH,
Bonn, und seit 2009
für die technische
Beratung von
Baumaßnahmen
zuständig.
Kontakt: cammarata@tensar.de



Injektionen als Nebenangebote und Sondervorschläge – Chancen und Risiken

Prof. Dr. jur. Günther Schalk, Topjus Rechtsanwälte Kupferschmid & Partner, Schrobenhausen, Deutschland

1 Einleitung

Der Begriff „Nebenangebot“ überdeckt auf den ersten Blick die tatsächliche Bedeutung in Baupraxis und Baurecht. Begriffe mit der Vorsilbe „Neben-“ beschreiben regelmäßig etwas, das eher als unwichtig eingestuft wird („Nebensache“, „Nebengebäude“, „Nebenstraße“ oder „Nebenleistung“ gemäß den Abschnitten 4.1 aller Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV) der VOB Teil C). Dabei spielt das Nebenangebot im Bauwesen – insbesondere im (Spezial-)Tiefbau – alles andere als nur eine untergeordnete Nebenrolle: In der Angebotsstrategie des Bieters steht es vielfach im Brennpunkt der vergaberechtlichen Praxis, um sich den möglicherweise entscheidenden Wettbewerbsvorteil gegenüber den Mitbietern zu erarbeiten. Nebenangebote sind das „Salz in der Suppe“ im Wettbewerb um die Vergabe eines Bauauftrags. Bei Bauvorhaben, unabhängig von deren Dimension und Auftragsvolumen, stellt nicht selten ein Nebenangebot eines Bieters die Weichen für die Ausführung in eine völlig andere Richtung als vom Auftraggeber vorgeschlagen. Gerade Injektionen jeder Art sind in der Praxis sehr häufig Gegenstand von Nebenangeboten.

Chancen und Risiken ergeben sich sowohl für den Auftraggeber als auch für den Bieter/Auftragnehmer bereits im Vergabeverfahren und erst recht im Zeitraum der Ausführung, wenn die Interessen von Bauherr, Baufirma, Planer und Sonderfachleuten aufeinanderprallen.

2 Definition: Was ist ein Nebenangebot?

Ein Nebenangebot liegt immer dann vor, wenn ein Bieter mit seinem Angebot inhaltlich von den vom Auftraggeber in dessen Verdingungsunterlagen vorgegebenen Leistungen (Amtsentwurf) abweicht, soweit es sich nicht nur um eine Abweichung von den technischen Spezifikationen im Sinne des § 7 Abs. 3 VOB/A handelt¹. Die inhaltliche Abweichung kann sich dabei auf die Leistung selbst, die Rahmenbedingungen des Vertrags oder die Abrechnung beziehen. Unerheblich sind dabei Grad, Umfang und Bedeutung der inhaltlichen Abweichung. Synonym für das Nebenangebot werden die Begriffe „Änderungsvorschlag“, „Sondervorschlag“, „Variante“ oder „Alternative“ verwendet.²

Nebenangebote eröffnen für Auftraggeber wie für Bieter zahlreiche Vor- und Nachteile. Sie ermöglichen Baufirmen, nicht nur mit dem günstigsten Preis im Hauptangebot zu punkten, sondern mit Spezialwissen eine günstigere technische Alternative anbieten zu können. Der Auftraggeber kann auf diese Weise sein Bauvorhaben möglicherweise schneller und kostengünstiger realisieren. Dieser Artikel erläutert Chancen und Risiken für Auftraggeber und Bieter bzw. Auftragnehmer im Vergabeverfahren und bei der Bauausführung.

Geotechnik • Injektionen • Ausschreibung • Regelwerk • Vertragswesen

3 Das Nebenangebot im Baubetrieb

Die Bauwirtschaft liefert sich – selbst in der aktuellen Phase der Hochkonjunktur – nach wie vor nicht selten einen oft ruinösen Kostenwettbewerb. Die Preise steigen zwar, sind aber nach wie vor vielfach kaum auskömmlich. Die Auftraggeber dagegen sind nach wie vor oft (zu?) wählerisch, sortieren Nebenangebote übervorsichtig aus und laufen Gefahr, Vergabeverfahren aufheben zu müssen, weil sie gar kein annehmbares Angebot mehr vorliegen haben. Umso mehr sind Bauunternehmen bestrebt, sich mit einem möglichst attraktiven, wirtschaftlichen Angebot aus der Masse der Bieter hervorzuheben. Bei einem Nebenangebot zählt nicht allein der Preis, sondern üben zusätzliche Kriterien Einfluss auf die Wettbewerbsentscheidung aus. Nebenangebote schaffen insoweit mehr Flexibilität und eröffnen Spielräume für einen qualitativen Leistungswettbewerb als Gegenstück zu einem reinen Preiswettbewerb.³

Entscheidende Vorteile bringt ein Nebenangebot – sofern es störungsfrei und erfolgreich realisiert wird – vor allem für den Auftraggeber. Er kann das Know-how eines Bieters für sich nützen und sein Bauvorhaben auf diese Weise regelmäßig schneller, kostengünstiger (bezogen auf die Herstellungskosten, aber u.U. durch geringeren Wartungs- oder Unterhaltsaufwand auch auf Folgekosten), in innovativerer Art und Weise und mit weniger Risiken umsetzen, da in der Regel ein Großteil der Planungsverantwortung beim Nebenangebot auf den Auftragnehmer übergeht. Er hat aber auch mehr Aufwand bei der Angebotsprüfung, da er nicht nur Preise der Hauptangebote zu prüfen hat, sondern auch ihm bis dahin nicht bekannte abweichende Leis-

1 Schalk, Rdn. 17 ff; OLG Düsseldorf, Beschl. v. 09.03.2011, Verg 52/10;

2 Schalk, Rdn. 31 ff; VK Hessen, Beschl. v. 30.09.2009, 69d-VK-32/2009;

3 Schweda in VergR 2003, 268; Leimböck, S. 119;

tungskonzepte. Der Auftraggeber hat potenziell auch höhere finanzielle Folgerisiken, wenn sich etwa bei der Ausführung herausstellt, dass durch das Nebenangebot in anderen Leistungsteilen zusätzliche oder geänderte Leistungen nötig werden, oder sich erst nach Jahren zeigt, dass ein neuartiges Bauverfahren aus einem Nebenangebot weniger „haltbar“ als der Amtsentwurf ist.

Für den Bieter bildet das Nebenangebot eine entscheidende Möglichkeit, sich im Wettbewerb von den Mitbietern abzuheben. Insbesondere mittelständische und spezialisierte Bauunternehmen, die aufgrund ihrer Struktur im reinen Preiswettbewerb um Aufträge oft kaum bestehen können, haben durch Diversifizierung und Spezialisierung eine Chance, ihre Position im Vergabeverfahren durch eine besonders kreative und/oder innovative Lösung der gestellten Bauaufgabe zu verbessern und dadurch einen Auftrag zu erlangen. Im Gegenzug verursacht die Ausarbeitung eines Nebenangebots für einen Bieter zeitlichen und finanziellen Mehraufwand innerhalb der ohnehin regelmäßig nur sehr kurzen Zeit bis zur Angebotsabgabe: Der Bieter muss nicht nur den bereits feststehenden Leistungskatalog im Amtsentwurf kalkulieren und bepreisen, sondern zusätzlich für sein Nebenangebot Planungsleistungen vorschalten. Zudem übernimmt er grundsätzlich das Planungsrisiko.

4 Kernprobleme im Vergaberecht

Im europäischen wie im nationalen Vergaberecht gibt es eine Reihe von Vorschriften zur Handhabung von Nebenangeboten im Vergabeverfahren. National ist vor allem die VOB Teil A von praktischer Bedeutung. Im Folgenden können nur einige besonders praxisrelevante Kernprobleme herausgegriffen werden.

4.1 Zulassung von Nebenangeboten

Bevor sich ein Bauunternehmen die Mühe macht, einen Sondervorschlag im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung anzubieten, sollte es als Erstes prüfen, ob der Auftraggeber im konkreten Vergabeverfahren überhaupt Nebenangebote zugelassen hat.⁴ Sind Nebenangebote nicht zugelassen und der Bieter reicht dennoch ein solches ein, hat er nicht nur das Risiko, sondern die Sicherheit, dass der Auftraggeber es nicht werten darf.

4.2 Leistungsbeschreibung im Rahmen von Nebenangeboten

Der öffentliche Auftraggeber ist verpflichtet, seine Leistung im Amtsentwurf „eindeutig und so erschöpfend zu beschreiben, dass alle Bewerber die Beschreibung im gleichen Sinne verstehen müssen und ihre Preise sicher und ohne umfangreiche Vorarbeiten berechnen können“. Um eine „einwandfreie Preisermittlung zu ermöglichen“, hat er alle diese beeinflussenden Umstände in den Verdingungsunterlagen anzugeben. So steht es

unter anderem in § 7 Abs. 1 VOB/A. Was aber hat die Baufirma zu tun, wenn sie ein Nebenangebot einreicht?

Grundsätzlich fällt es in die Risikosphäre des Bieters, ein Nebenangebot so zu beschreiben, dass

- ▶ der Auftraggeber es nicht nur versteht, sondern dass er vor allem möglichst ohne Umschweife überzeugt davon ist,
- ▶ das Nebenangebot für ihn Vorteile gegenüber dem Amtsentwurf bietet,
- ▶ der Auftraggeber ohne großen Aufwand für sich (und für die Vergabeakte, die später Gegenstand eines möglichen Nachprüfverfahrens sein wird) feststellen, sich überzeugen und dokumentieren kann, dass das Nebenangebot gleichwertig mit dem ausgeschriebenen Amtsentwurf ist.⁵

Insoweit liegt die Verantwortung für die Vollständigkeit, Klarheit und Eindeutigkeit der Unterlagen allein beim Bieter.⁶ Dazu ist grundsätzlich eine klare, in sich geschlossene, übersichtliche Beschreibung des Leistungsinhalts durch den Bieter erforderlich.⁷ Der Bieter muss sein Nebenangebot so klar und deutlich abfassen, dass der Auftraggeber allein aufgrund dieser Angaben nachprüfen kann, ob es gleichwertig ist und den gestellten Mindestanforderungen genügt. Der Auftraggeber ist insoweit nicht zu einer Aufklärung verpflichtet.⁸ Es muss auch erkennbar sein, welche Positionen des Amtsentwurfs durch das Nebenangebot ersetzt oder geändert werden und welche unverändert bleiben.⁹

Verbleiben Unklarheiten – bleibt etwa dem Bieter die theoretische Möglichkeit, unter mehreren verschiedenen Ausführungsarten zu wählen – ist die Leistungsbeschreibung nicht hinreichend konkret und das Nebenangebot damit nicht wertbar.¹⁰ Im Rahmen eines Aufklärungsgesprächs gemäß § 15 VOB/A bestehen nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten einer Erläuterung; insbesondere darf der Angebotsinhalt nicht mehr nachträglich abgeändert werden.¹¹

4.3 Wertung von Nebenangeboten

Hat ein Auftraggeber Nebenangebote zugelassen, muss er sie auch werten. Neben dem „normalen“ Wertungsablauf im Vergabeverfahren sind zusätzlich fünf Stufen für die Prüfung des Nebenangebots nötig:

5 Schweda in: VergR 2003, 276;

6 BayObLG, VergR 2003, 70 f.;

7 VK Schleswig-Holstein, Beschluss vom 05.08.2004, VK-SH 19/04; VK Nordbayern, Beschluss vom 21.05.2003, 320. VK-3194-14/03;

8 OLG Koblenz, Beschl. v. 02.02.2011, 1 Verg 1/11

9 OLG Brandenburg, VergabeR 2003, 70 f.; Geblen, in: NZBau 2002, 660 f.;

10 BayObLG, Beschluss vom 24.10.2000, Verg 6/00; Vergaberechtsreport 11/2000, 3;

11 BayObLG, VergR 2002, 286 ff.; VK Mecklenburg-Vorpommern, Beschluss vom 27.11.2001, 2 VK 15/01; Schweda in: VergR 2003, 277;

4 Ausführlich: Schalk, Rdn. 236 ff.;

- **Stufe 1:** Nebenangebote zugelassen?
- **Stufe 2:** Mindestanforderungen des Auftraggebers erfüllt?
- **Stufe 3:** Nachweis der Gleichwertigkeit durch den Bieter ausreichend erbracht?
- **Stufe 4:** Objektive Gleichwertigkeit des Nebenangebots mit dem Hauptangebot?
- **Stufe 5:** Wirtschaftlichkeitsvergleich mit dem wirtschaftlichsten Hauptangebot bzw. anderen Nebenangeboten

Praktisch bedeutendstes Kriterium bei der Wertung von Nebenangeboten ist dabei die Frage der quantitativen und qualitativen Gleichwertigkeit mit dem Hauptangebot.¹² Ein abweichender Biertorschlag kann nur dann zum Zug kommen, wenn er unter Abwägung aller Gesichtspunkte, wie Preis, Ausführungsfrist, Betriebs- und Folgekosten, Gestaltung und Rentabilität, technisch und wirtschaftlich mit dem Amtsentwurf zumindest gleichwertig ist.¹³

Qualitative Gleichwertigkeit eines Nebenangebots mit dem Amtsentwurf setzt zunächst voraus, dass der vom Auftraggeber mit der ausgeschriebenen Leistung verfolgte Zweck erreicht wird.¹⁴ Ein Nebenangebot muss (mindestens) den Standard erreichen, der von der Leistung aus dem Amtsentwurf erzielt worden wäre.¹⁵ Weicht es nach unten ab, fehlt die Gleichwertigkeit (z. B. Holz- statt Stahlbetonbauweise; Brückengeländer aus „normalem“ Stahl statt aus Edelstahl; Verkleidung aus Pressholzplatten statt aus Echtholz).¹⁶ Dabei ist nicht nur der Herstellungsprozess an sich zu bewerten, sondern auch Folgeerscheinungen während der kalkulierten Lebensdauer des Bauwerks.¹⁷ Ist das Nebenangebot etwa störungsanfälliger, verursacht es größeren Wartungsaufwand oder unterliegt es höherem Verschleiß, ist es nicht qualitativ gleichwertig.¹⁸

Darüber hinaus muss ein Nebenangebot auch quantitativ gleichwertig mit dem Amtsentwurf sein. Das ist nicht der Fall, wenn es einen geringeren Leistungsumfang als im Amtsentwurf vorgesehen hat.¹⁹ Besteht die einzige Abweichung des Nebenangebots gegenüber dem Hauptangebot darin, dass der Bieter die Mengen-

ansätze des Hauptleistungsverzeichnisses reduziert, liegt ein sogenanntes „Abmagerungsangebot“ vor, das aus der Wertung auszuschließen ist.²⁰ Beispiel: Der Auftraggeber schreibt für Bodenaushub 15 % Bodenklasse 6 aus; ein Bieter reduziert den Ansatz ohne Erläuterung auf 10 % und erzielt so einen niedrigeren Preis.

Ein Nebenangebot kann jedoch trotz Mengenreduzierung gleichwertig sein – etwa, wenn der Amtsentwurf erkennbar Überkapazitäten enthält, und ein Bieter mit seinem Nebenangebot den geschuldeten Erfolg mit einem geringeren Aufwand anbietet. Er bietet in diesem Fall denselben, insoweit nicht „abgemagerten“ Leistungsumfang wie der Amtsentwurf an, erreicht diesen aber mit weniger Aufwand.²¹ Eine Massenreduzierung ohne jegliche Erläuterung genügt allerdings den Anforderungen an die quantitative Gleichwertigkeit nicht.²² Der Bieter muss die verringerten Mengenansätze in seinem Nebenangebot ausreichend kenntlich machen sowie umfassend erläutern und begründen, auf welche Weise er den ausgeschriebenen Erfolg mit geringeren Mengen- oder Massenansätzen erreichen will. Die Gleichwertigkeit des Nebenangebots mit dem Hauptangebot muss dabei nicht in allen Teilleistungen bestehen. Sinn und Zweck des Nebenangebots ist es ja gerade, dass im Wege der technischen Innovation auch neuartige, andere alternative Bauverfahren und Baumaterialien erfolgreich angeboten werden können.

5 Chancen und Risiken im Rahmen der Ausführung

Mit der Beauftragung des Nebenangebots wird dessen Inhalt vertraglicher Leistungsumfang.²³ Damit stellt sich auch für diesen Fall die Frage: Was ist vertraglich geschuldet Leistung – und was und vor allem warum ist ggf. geändert oder zusätzlich auszuführen?

Finden sich im Vertrag mit einem Nebenangebot ausdrückliche Regelungen zur Verteilung bestimmter Risiken und möglicher Folgeerscheinungen, die aus der Beauftragung des Nebenangebots resultieren können, haben diese Vorrang.²⁴ Ist keine Regelung wirksam vereinbart, gelten die allgemeinen Risikoverteilungsregeln u. a. aus §§ 631, 644, 645 BGB. Den Vertragspartnern ist insoweit – im Interesse sowohl des Auftraggebers als auch des Auftragnehmers – zu empfehlen, zumindest für die Mehrzahl der denkbaren Fälle vertraglich „vorzusorgen“, indem sie ausdrückliche Vertragsregelungen treffen, wie Risiken in Folge der Beauftragung des Nebenangebots zwischen den Bauvertragsparteien im Falle einer Störung der Bauausführung aufgeteilt werden sollen.²⁵

12 U.a. VK Sachsen, Beschluss vom 09.01.2006, 1/SVK/149-05; VK Hessen, Beschluss vom 01.11.2005, 69 d VK-68/2005; VK Bund, Beschluss vom 26.03.2002, VK 1-07/02;

13 Marbach in: Festschrift für Vygen, S. 243f.; Lampe-Helbig/Wörmann, Rdn. 284;

14 OLG Koblenz, VergabeR 2003, 74; VK Schleswig-Holstein, Beschluss vom 17.03.2006,

15 OLG Jena, Beschluss vom 18.03.2004, 6 Verg 1/04; VK Schleswig-Holstein, Beschluss vom 17.03.2006, VK-SH 2/06; VK Nordbayern, Beschluss vom 06.04.2004, 320.VK-3194-09/04;

16 OLG Hamm, Beschluss vom 25.10.2005, 24 U 39/05; VK Baden-Württemberg, Beschluss vom 02.08.2005, 1 VK 43/05;

17 VK Brandenburg, Beschluss vom 26.03.2002, VK 3/02; VK Schleswig-Holstein, Beschluss vom 19.01.2005, VK-SH 37/04;

18 Vgl. auch VK Baden-Württemberg, Beschluss vom 29.10.2002, 1 VK 50/02;

19 VK Nordbayern, Beschluss vom 30.09.2004, 320.VK-3194-39/04;

20 OLG Hamm, Beschluss vom 18.03.2004, 6 Verg 1/04; VK Baden-Württemberg, Beschluss vom 02.08.2005, 1 VK 43/05; VK Südbayern, Beschluss vom 09.09.2003, 38-08/03;

21 VK Baden-Württemberg, Beschluss v. 23.02.2004, 1 VK 3/04;

22 OLG Bremen, Beschluss vom 04.09.2003, Verg 5/2003; ZfBR 2004, 91 f;

23 Marbach in: Festschrift für Vygen, S. 246;

24 Marbach, in: Festschrift für Vygen, S. 246 f.;

25 Marbach, in: Festschrift für Vygen, S. 246; Vygen, Rdn. 70; Reister in: BauR 2005, 758;

Ein Nebenangebot wirkt sich auf die Rollenverteilung zwischen Bauherr und Baufirma aus: Beim „klassischen“ Bauvertrag (Hauptangebot) plant der Auftraggeber (oder lässt planen). Beim Nebenangebot übernimmt diese Rolle in unterschiedlichem Umfang der Bieter und spätere Auftragnehmer. Er arbeitet ein alternatives Angebot aus, das vom Amtsentwurf des Auftraggebers abweicht, und ist insoweit grundsätzlich zunächst für die Planung, technische Gestaltung, Schnittstellen und praktische Ausführbarkeit verantwortlich. Der Bieter übernimmt insoweit auch das Risiko der Ausführbarkeit und Vollständigkeit seines Nebenangebots, wenn er nicht von vornherein den Auftraggeber auf bestimmte Risiken spezifisch (nicht nur generell und allgemein) hingewiesen hat oder spätere Probleme daraus resultieren, dass das Nebenangebot auf Grundlagen beruht, die alleine der Auftraggeber zu verantworten hat.²⁶

Geht also das Nebenangebot schief, liegt die Verantwortung zunächst bei der Baufirma. Sie hat in diesem Fall das Planungs-, Entwicklungs-, Funktions-, Mengen-, Ausführungs- und Preisrisiko. Das gilt allerdings nicht uneingeschränkt. Die in der Praxis nicht selten kursierende Annahme, die Baufirma trage beim Nebenangebot pauschal das volle Risiko für „alles, was kommen kann“, habe also automatisch alle finanziellen und zeitlichen Folgen sämtlicher negativer Erscheinungen, wie insbesondere Mehrkosten, Behinderungen, Bauzeitverlängerung und Schäden, zu tragen, trifft nicht zu! Vielmehr ist in diesem Fall eine wesentlich differenziertere Betrachtung der Risikoverteilung anzustellen. Der Auftragnehmer trägt zwar insgesamt das Risiko des Funktionierens der von ihm vorgeschlagenen Leistung selbst, allerdings nur in Bezug auf die abweichende Lösung an sich und nicht in allen Fällen und für alle Umstände, die auf die Bauausführung einwirken.²⁷

Entscheidend ist vielmehr die Feststellung, dass der Auftragnehmer mit der Beauftragung des Nebenangebots grundsätzlich (nur) das Risiko übernimmt, dass die aus seiner Sphäre stammende Abweichung vom Amtsentwurf – gleich ob anderes Verfahren, anderer Ablauf oder anderer Baustoff – „funktioniert“, also geeignet und zielführend ist, um den vertraglich vereinbarten Erfolg erreichen zu können. Davon umfasst ist die Verantwortung des Auftragnehmers, dass der abweichende Vorschlag in technischer Hinsicht zum bestellten Erfolg führt, dass er die Mengen für Mensch, Material und Leistung für die von ihm abweichend angebotene Leistung richtig und zutreffend ermittelt hat und dass der Werkerfolg zu dem vom Auftragnehmer in seinem Nebenangebot angebotenen Preis realisierbar ist.

Die entscheidende Frage nach der Risikoverschiebung ist also durch eine Betrachtung zu beantworten, aus welcher Sphäre die Ursache für die Störung bzw. den Mangel stammt: Ist der Einfluss des Nebenangebots ver-

antwortlich, geht die Verantwortlichkeit auf den Auftragnehmer über. Liegt die Ursache für die Störung oder den Mangel im Bereich des ursprünglichen Amtsentwurfs, wenn etwa das Nebenangebot nur Teile von diesem ersetzt oder allgemeine Faktoren entscheidend sind, die der Auftraggeber zu vertreten hat, trägt der Auftraggeber die Verantwortung. Hat den störenden Einfluss keine der beiden Vertragsparteien zu vertreten, bleibt es unverändert bei der allgemeinen Risikozuweisung (z. B. Baugrundrisiko).

Führt also der Leistungsinhalt des Nebenangebots nicht zum geschuldeten Erfolg, weil der Auftragnehmer falsche Annahmen getroffen hat (z. B. falsche Annahme, weniger ausheben zu müssen als tatsächlich erforderlich, oder falsche Einschätzung der benötigten Zeit für die Ausführung bestimmter Leistungsteile), hat dies der Auftragnehmer zu vertreten. Hat er bei der Ausgestaltung seines Nebenangebots dagegen „alles richtig gemacht“ und sein abweichender Vorschlag führt deshalb nicht zum erforderlichen Erfolg, weil zugrunde gelegte Vorgaben des Auftraggebers falsch waren (z. B. Bestandspläne oder Vorleistungen) oder weil sich von außen kommende, vom Auftragnehmer nicht zu vertretende Einflüsse (z. B. Baugrundrisiko, Kontaminationsrisiko, ...) realisiert haben, hat dies keine nachteiligen Folgen für den Auftragnehmer.

Dieser Grundsatz gilt auch für den Fall, dass der Auftraggeber im Zuge der Ausführung nachträglich Änderungen oder zusätzliche Leistungen anordnet (§§ 2 Abs. 5, 6 VOB/B). Auch bei einem Vertrag auf Basis eines Nebenangebots hat der Bauherr in diesem Zusammenhang zusätzliche Vergütung zu leisten, wenn die Änderungen oder Zusatzleistungen nicht allein deshalb nötig wurden, weil der Auftragnehmer sie in seinem Nebenangebot vergessen hatte.

Im (Spezial-)Tiefbau stellt sich im Zusammenhang mit Nebenangeboten vielfach ein „Dauerbrenner“ ein: Wer hat die Folgen zu schultern, wenn der Baugrund sich *in situ* anders darstellt, als sich aus den Bodengutachten ergibt? Auch diese Antwort fällt differenziert aus. Es bleibt beim Grundsatz: Der Auftraggeber stellt den Baugrund als Baustoff im Sinne des §§ 644, 645 BGB bei und ist für seinen Inhalt und seine Beschreibung verantwortlich, wenn ein anderer Baugrund vorliegt, als vertraglich auf Basis der Bodengutachten (diese werden regelmäßig Vertragsbestandteil, wenn der Baugrund kalkulationserheblich ist²⁸) vereinbart wurde. Nur wenn eine Baufirma mit ihrem Nebenangebot diesen Baugrund quantitativ und/oder qualitativ verlässt, haftet sie für das dadurch begründete oder erhöhte Risiko. Nimmt das Nebenangebot also zum Beispiel einen Baugrubenbereich in Anspruch, der nicht vom ursprünglichen Bodengutachten räumlich erfasst war, geht dieses Risiko zu Lasten der Baufirma. Dies gilt ebenso für den Fall, dass das Nebenangebot ein anderes Bauverfahren vorgibt, für das andere oder zusätzliche Bodenkennwerte nötig sind.

26 Ingenstau/Korbion, § 8 VOB/A, Rdn. 16

27 Marbach in: Festschrift für Vygen, S. 248;

28 BGH, Urteil v. 20.08.2009, VII ZR 205/07 („Schleuse Uelzen II“)

6 Fazit

Das Nebenangebot ist ein wirksames Mittel für Baufirmen, nicht nur über einen zum Teil ruinösen Preiswettbewerb an einen öffentlichen Bauauftrag zu kommen. Es ist praktisch die einzige Möglichkeit, mit Spezialwissen und Ideenreichtum im Rennen um einen Bauauftrag zu punkten. Baufirmen sind gut beraten, bei der Beschreibung ihres Nebenangebots im Vergabeverfahren nicht nur „Dienst nach Vorschrift“ zu tun, sondern lieber mehr als weniger zu beschreiben. Sonst laufen sie Gefahr, dass der Auftraggeber möglicherweise den Sondervorschlag ablehnt, weil er ihn – möglicherweise irrtümlich – nicht für gleichwertig mit seinem eigenen Amtsentwurf hält und/oder Sorge hat, dass ein Mitbewerber deshalb gegen eine Zuschlagsentscheidung pro Nebenangebot ein Nachprüfungsverfahren einleiten könnte.

Ist ein Nebenangebot bezuschlagt, ist im Zeitraum der Ausführung wichtig: Nicht an allem, was schief geht, ist automatisiert die Baufirma „schuld“, nur weil sie irgendwann einmal ein Nebenangebot eingereicht hat. Hier ist vielmehr wesentlich feinfühliger zu differenzieren, als das in der Praxis so mancher Auftraggeber tut. Wenn im Zusammenhang mit einer als Nebenangebot offerierten und beauftragten Injektion ein Problem auftritt, ist sehr genau abzugrenzen, was die Ursache dafür war. Der Bauunternehmer „haftet“ grundsätzlich nur für Folgen, die durch den Wechsel auf sein Verfahren aus dem Nebenangebot überhaupt erst begründet wurden. Stellt sich insbesondere heraus, dass der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Baugrund nicht dem Vertrag entspricht und das Nebenangebot bei einem vertragskonformen Baugrund funktioniert hätte, bleibt dieses Risiko beim Auftraggeber.

7 Literatur

Dieser Beitrag wurde bereits im Tagungsband zum „Forum Injektionstechnik 2018“ veröffentlicht: Schalk, G.: Injektionen als Nebenangebote und Sondervorschläge – Chancen und Risiken. Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen e. V. (STUVA), Forschung + Praxis 52, S. 76-79

- [1] Dähne/Schelle: VOB von A-Z, Verlag C.H. Beck, 2001
- [2] Korbion VOB: Teile A und B, (hrsg. V. Locher/Vygen) Werner-Verlag, 17. Aufl. 2010
- [3] Lampe-Helbig; Wörmann: Handbuch der Bauvergabe, Verlag C.H. Beck, 1995
- [4] Leimböck: Bauwirtschaft, Teubner-Verlag, 1. Aufl. 2000
- [5] Marbach in: Festschrift für Klaus Vygen zum 60. Geburtstag, Werner-Verlag, 1999
- [6] Schalk, G.: Handbuch Nebenangebote, Werner-Verlag, 2009

Prof. Dr. jur. Günther Schalk

Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht bei TOPJUS Rechtsanwälte Kupferschmid & Partner, Schrobenhausen, Deutschland, Honorarprofessor für Bau-, Vergabe- und Umweltrecht an der Technischen Hochschule Deggendorf (THD) sowie Lehrbeauftragter für Bau- und Vergaberecht an der Technischen Universität Hamburg
Kontakt: schalk@topjus.de



Forum Injektionstechnik 2018 in Köln

Mit interessanten Vorträgen, einer informativen Fachausstellung und einer geselligen Abendveranstaltung bot das Forum Injektionstechnik den 220 Teilnehmern viele Informationen und die Möglichkeit zum regen Austausch. Der Tagungsband ist als Band 52 in der Reihe „Forschung + Praxis“ der STUVA erschienen und das nächste Forum für den 4. und 5. November 2020 geplant.

Weitere Informationen: www.forum-injektionstechnik.de



Der Geschäftsführer der STUVA, Prof. Dr.-Ing. Roland Leucker eröffnet das Forum Injektionstechnik 2018 (Foto: Bauverlag, Lars Lippert).



Die Fachausstellung bot Informationen und Gelegenheit zum Austausch (Foto: STUVA, Christian Thienert).

Auswirkung harmonisierter europäischer Bauproduktnormen auf die Sanierung von Tunnelbauwerken mit Rissinjektionssystemen

Götz Tintelnot, TPH Bausysteme GmbH, Norderstedt, Deutschland

Für Bauunternehmen, Sachkundige Planer und die öffentliche Bauverwaltung ist baurechtlich eine neue Situation entstanden: Mit den harmonisierten europäischen Bauproduktnormen (hEN) lässt sich die Erfüllung der deutschen Bauwerksanforderungen nicht immer lückenlos nachweisen. Durch die Neugestaltung der Musterbauordnung (MBO) [1] sowie die neue Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV-TB) [2] wird ein neues, anspruchsvolles Vorgehen aufgezeigt. Die Anforderungen an Instandhaltungsprodukte müssen für jedes Sanierungsprojekt aus den Anforderungen an das jeweilige Bauwerk abgeleitet werden.

Die für die Betoninstandsetzung relevanten ZTV-WLB 219 [3] und ZTV-ING Teil 3, Abschnitte 4 und 5 [4] wurden bereits daran angepasst, dass standardisierte Qualitätsmerkmale, die zuvor Restnormen wie der DIN V 18028 [5] entsprechen mussten, nicht mehr gefordert



Bild 1: Lücken durch Wegfall deutscher Restnormen
Quelle: TPH Bausysteme GmbH

Die harmonisierten europäischen Bauproduktnormen wirken sich auf Instandhaltungsprodukte für Sanierungen von Tunnelbauwerken mit Rissinjektionssystemen aus. Die BASt-Listung steht nicht mehr für Produktnachweise zur Verfügung. Dieser Artikel erläutert eine im Bauablauf praktikable Möglichkeit der Nachweisführung unter Beachtung der neuen baurechtlichen Rahmenbedingungen.

Tunnelbau • Injektion • Sanierung • Instandhaltung • Normen • Bauprodukte

werden dürfen (**Bild 1**). Stattdessen sind die Qualitätsmerkmale der zu verwendenden Rissinjektionsstoffe vom Auftraggeber bzw. durch den von diesem beauftragten Sachkundigen Planer für jedes Projekt einzeln festzulegen. Vor diesem Hintergrund steht die BASt-Listung [6] seit Mitte dieses Jahres, nachdem sie für eine kurze Dauer verlängert, aber nicht mehr aktualisiert worden war, für Nachweise nicht mehr zur Verfügung.

Welchen Aufschluss gibt die Prioritätenliste?

In der Prioritätenliste des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) [7] werden solche Leistungen aufgelistet, die zurzeit nicht nach hEN erklärt werden können, die aber zur Erfüllung deutscher Bauwerksanforderungen oftmals erforderlich sind. Gewisse Produkteistungen eines Rissinjektionsstoffs können ebenfalls durch Europäische Technische Bewertungen (ETA) nachgewiesen werden. Allerdings können diese nicht ausreichend auf die in Deutschland geforderten Bauwerksanforderungen eingehen, weil die deutsche Bauverwaltung nicht nur Anforderungen an das Produkt allein, sondern auch an das Produkt in der Verwendung stellt (**Bild 2**). Zusätzlich besteht die Möglichkeit, einzelne Lücken über freiwillige Leistungsnachweise zu schließen, die vom Planer für das jeweilige Projekt gefordert werden sollten (**Bild 3**).

Großer Aufwand für Planer und Auftragnehmer

Aktuell verlangen ZTV-WLB 219 [3] und ZTV-ING Teil 3 Abschnitte 4 und 5 [4], dass der Sachkundige Pla-

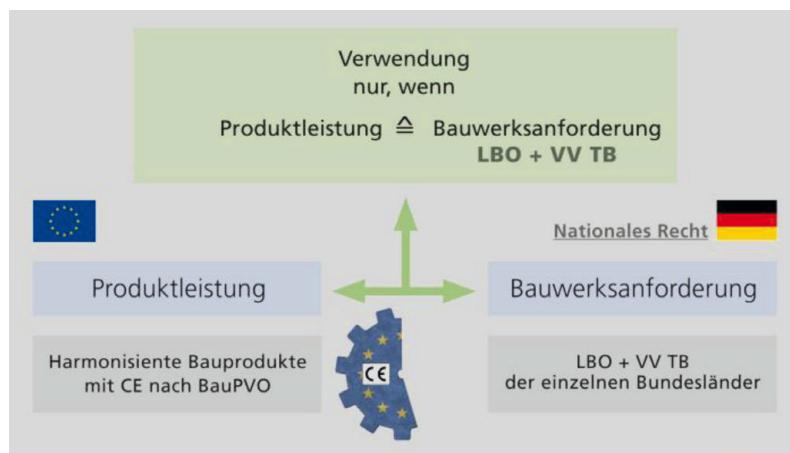


Bild 2: DIBt: Novellierung des Bauordnungsrechts
Quelle: Tagungsband DIBt-Praxisforum 06.12.2017, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)

ner je nach Einwirkungen auf die instand zu setzenden Bauwerke und Bauteile und im Hinblick auf das Erreichen der jeweiligen Schutz- und Instandsetzungsziele festlegt, welche projektspezifischen Anforderungen an Rissinjektionsstoffe zu stellen sind.

Die erforderlichen Nachweise sind vom jeweiligen Auftragnehmer – also der bauausführenden Firma – an jeder einzusetzenden Charge zu führen. Ein solcher Nachweis erfordert für jedes Projekt erhebliche Zeitaufwendungen sowie zeitliche Vorläufe – sowohl für Planer als auch für Öffentliche Bauverwaltungen (**Bild 4**).

Ein konsistenter und komfortabler Planungsweg

DIBt-Gutachten sind im Einführungserlass zur ZTV-W [8] sowie im Anhang der aktuellen ZTV-ING [4] und ZTV-W [3] als freiwillige Systemnachweise zur Qualitätssicherung vorgesehen. Diese Gutachten bescheinigen, dass ein harmonisiertes Bauprodukt mit CE-Kennzeichnung zusätzlich die vom Hersteller angegebenen Leistungen für Bauwerksanforderungen in Deutschland erfüllt. Sie bieten für öffentliche Bauvorhaben sowie für den Hoch- und Ingenieurbau eine komfortable Alternative zu aufwendigeren projektspezifischen Produktnachweisen (MVV TB Abschnitt D 3 [2]).

Das DIBt wurde als einzige in Deutschland benannte Stelle dieser Art (§30 BauPVO [9]) vom Bund mit der Erstellung solcher Gutachten beauftragt (**Bild 5**). Die Erstellung von Gutachten für Rissinjektionssysteme zur Betoninstandsetzung auf Grundlage der BAW Planerempfehlung 2019 [10] erfolgt durch offizielle Beauftragung des Verkehrsministeriums. Als solche werden die Gutachten regelmäßig im Bereich des Verkehrswegenbaus des Bundes als gleichwertige Alternative akzeptiert, sofern sie den projektspezifischen Anforderungen der Leistungsbeschreibung vollumfänglich genügen (BAW-Brief 01/2017 [11]).

Zur Qualitätssicherung haben qualitätsbewusste Hersteller von Injektionssystemen zur Rissanierung entschieden, die erforderlichen Fremdüberwachungen nach Restregelungen der ehemaligen DINV 18028 [5] sowie die Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) lückenlos aufrechtzuerhalten – aus der Überzeugung heraus, dass dies zur Bereitstellung hochwertiger und verlässlicher Rissinjektionsstoffe alternativlos ist.

So wurde etwa dem Acrylatgel Rubbertite der TPH Bausysteme GmbH aus Norderstedt am 01.03.2019 als erstem Instandsetzungsprodukt für Betonbauteile vom DIBt das Gutachten zur Beurteilung der Einhaltung der Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Standsicherheit gemäß M-VV TB, A 1.2.3.2 [2] (DAfStB-Richtlinie für Instandsetzung von Betonbauteilen – Oktober 2001) ausgestellt (Gutachten Nr.: G-003-18-0011 [12]). Dieses und weitere Gutachten stehen fortan Sachkundigen Planern sowie Öffentlichen Bauverwaltungen als zuverlässiger Leistungsnachweis zur Verfügung. Zur Erfüllung der in Deutschland geforderten Bauwerksanforderungen können diese Nachwei-

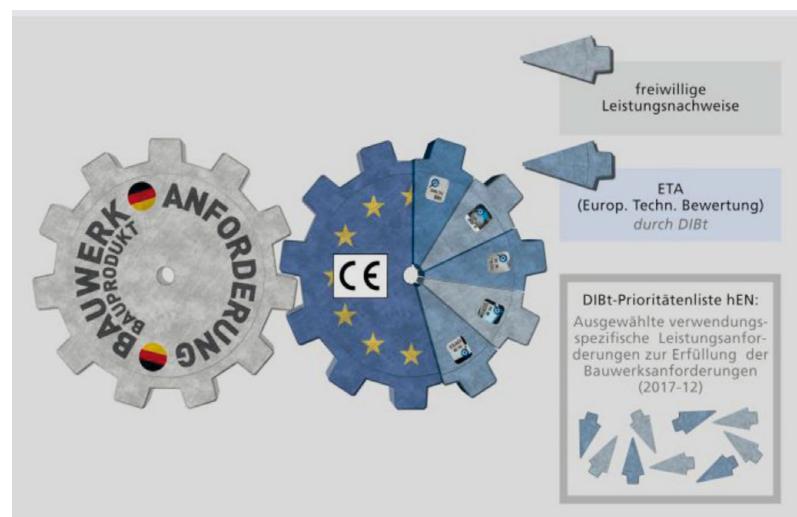


Bild 3: Möglichkeiten zum Schließen der entstandenen Lücken

Quelle: TPH Bausysteme GmbH

se die durch den Wegfall der Restnormen entstandenen Lücken komfortabel schließen und unterstützen dadurch Planer sowie die öffentliche Bauverwaltung, bei der Sanierung von Tunnelbauwerken kostbare Zeit und Energie zu sparen (**Bild 5**).

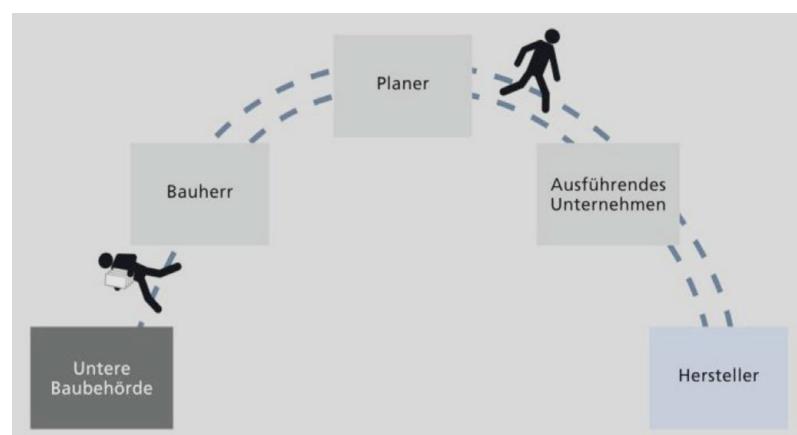


Bild 4: Aufwendige Laufwege zur Sicherung der projektspezifischen Nachweise

Quelle: TPH Bausysteme GmbH



Bild 5: DIBt-Gutachten zum Lückenschluss gemäß M-VV TB, A 1.2.3.2; DAfStB-Richtlinie für Instandsetzung von Betonbauteilen – Oktober 2001

Quelle: TPH Bausysteme GmbH

Quellenverzeichnis

- [1] Bauministerkonferenz: Musterbauordnung (MBO). Fassung xxx
- [2] DIBt (Hrsg.): Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB). Ausgabe 2017/1 mit Druckfehlerkorrektur vom 11. Dez. 2017. Online: https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Bauregellisten/MVV_TB_2017-1_inkl_Druckfehlerkorrektur.pdf
- [3] ZTV-W LB 219 (2017): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für die Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219), Ausgabe 2017. BMVI, Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt.
- [4] ZTV-ING Teil 3 Massivbau, Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen und Abschnitt 5 Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen. Bundesanstalt für Straßenwesen, Stand 2017/10. Online: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Ingenieurbau/Publikationen/Regelwerke/Baudurchfuehrung/ZTV-ING-Teil-3-Massivbau-Baudurchfuehrung.html?nn=1818004
- [5] DIN V 18028: 2006-06 (zurückgezogen): Rissfüllstoffe nach DIN EN 1504-5:2005-03 mit besonderen Eigenschaften
- [6] Bundesanstalt für Straßenwesen: Zusammenstellungen der geprüften/zertifizierten Stoffe, Stoffsysteme und Bauteile für Bauwerke der Bundesfernstraßen. Online: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Ingenieurbau/Qualitaetsbewertung/Listen/Listen-B_node.html
- [7] DIBt: Prioritätenliste für die Überarbeitung defizitärer harmonisierte Bauproduktnormen. Stand 25. Februar 2019. Online: https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/IIN/Prioritaetenliste_Ueberarbeitung_hEN.pdf
- [8] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Einführungserlass zur ZTV-W, 2017
- [9] Bau PVO: VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R0305-20140616>
- [10] BAW Bundesanstalt für Wasserbau: BAWEmpfehlung Instandsetzungsprodukte – Hinweise für den Sachkundigen Planer zu bauwerksbezogenen Produktmerkmalen und Prüfverfahren. Ausgabe 2019. Online: https://izw.baw.de/publikationen/empfehlungen/0/BAWEmpfehlung_Instandsetzungsprodukte_2019.pdf
- [11] Westendarp, A.: Betoninstandsetzung im Verkehrswasserbau – Überarbeitung der ZTV-W LB 219 und der zugehörigen Regelwerke. BAWBrief 01/2017
- [12] DIBt: Gutachten Nr.: G-003-18-0011 für Acrylatgel Rubbertite zur Beurteilung der Einhaltung der Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Standsicherheit gemäß M-VV TB, A 1.2.3.2



GEOBRUGG
BRUGG
Safety is our nature

www.geobrugg.com/projekte



Geobrugg AG | CH-8590 Romanshorn | www.geobrugg.com

Götz Tintelnot

ist Geschäftsführer der
TPH Bausysteme GmbH,
Norderstedt, Deutschland.



Kontakt: info@tph-bausysteme.com

Die Geotechnik der Zukunft ist digital

4. Praxistag der Geotechnik der Georado-Stiftung in Sachsen

Frank Schütze, Priori Relations, Leipzig, Deutschland

In zahlreichen Vorträgen und Workshops konnten die Teilnehmer des 4. Praxistags der Geotechnik ihr Wissen und ihr Netzwerk erweitern. Schwerpunkt war die Nutzung der Digitalisierung für die Felssicherung – nicht nur theoretisch im Seminarraum, sondern auch ganz praktisch zum Anschauen und Anfassen auf dem Georado-Freigelände.

Geotechnik • Hangsicherung • Digitalisierung • Veranstaltung • Netzwerk

Abwehr von Naturgefahrenen mithilfe von Bits und Bytes

Ganz präzise steuert der an einem Bagger befestigte riesige Bohrer in Richtung des massiven Felsblocks, um kurz darauf auf den Zentimeter genau in den harten Stein zu bohren (**Bild 1**). Die Vorarbeiten für die anstehende Felssicherung gehen bei dieser Livevorführung so leicht von der Hand, dass man sich kaum vorstellen mag, dass die hier in der geotechnischen Erlebniswelt Georado vorgeführte Technik bis vor kurzem noch in den Kinderschuhen steckte. Denn wo bis vor gar nicht allzu langer Zeit die ruhige Hand des Maschinisten erforderlich war, hat der Geräteführer in naher Zukunft mehrheitlich lediglich auf die Einhaltung der entsprechenden Arbeitsschritte zu achten. An welcher Stelle der Bohrer ins Gestein muss, weiß das Gerät dank der übermittelten Vermessungsdaten. Moderne Messmethoden mittels Drohne, 3D-Geländemodell, detailliertem Building Information Modeling (BIM) bis hin zur webbasierten Projektdokumentation sind nur einige Punkte des neuen Status Quo bei der Abwehr von Naturgefahrenen. Wie wirksam die Digitalisierung für Felssicherungsmaßnahmen genutzt werden kann, konnten Branchenvertreter und zukünftige Fachkräfte beim 4. Praxistag der Geotechnik in der Georlebniswelt am Tharandter Wald (**Bild 2**) im sächsischen Dorfhain eindrucksvoll erleben.

Die digitale Toolbox etabliert sich

Das aktuelle Leistungsportfolio verändert in der Tat den gesamten Arbeitsablauf bei der Felssicherung (**Bild 3**). „Die Werkzeugpalette für die erfolgreiche Felssicherung hat sich erweitert. Neben großen Bohrern und stahlhartem Verankerungen im festen Gestein etabliert sich die digitale Toolbox in rasanter Geschwindigkeit“, erläutert Robin Stübler. Der Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung bei der Jähnig GmbH, die bei der Praxisvorführung zur Digitalisierung während

des Praxistags federführend war, erklärt: „Die Geotechnik digital abzubilden ist visionär. Dank der Bits und Bytes wird es möglich, die Arbeit von insgesamt sechs Projektpartnern bei der Abwehr von Naturgefahrenen so zu vernetzen, dass alle Daten in Echtzeit nutzbar, alle Projektschritte einsehbar sowie der Kostenstand jederzeit kontrollierbar sind. Dies macht das Verfahren nicht nur schneller, sondern auch effizienter und somit kostengünstiger.“



Bild 1: Praxisvorführung zur digital unterstützten Geräteführung
Quelle: Georado-Stiftung



Bild 2: Georado im Tharandter Wald im sächsischen Dorfhain
Quelle: Robert Michael



Bild 3: Praxisvorführung mit klassischem Werkzeug und digitaler Ausstattung

Quelle: Georando-Stiftung



Bild 4: In der Übung zu sichernder Felsblock

Quelle: Georando-Stiftung



Bild 5: Drohne im Flugeinsatz

Foto: Robert Michael



Bild 6: Drohne und Zubehör zur Messung der Bestandsdaten im Gelände

Quelle: Georando-Stiftung

Um dies am praktischen Modell vorzuführen, hatten die Projektpartner auf dem Georando-Gelände einen Felsblock in die Nähe eines Abgrunds positioniert und als Aufgabenstellung die Sicherung der darunter liegenden Infrastruktur definiert (**Bild 4**). In einem ersten Schritt wurden dabei die Bestandsdaten des Geländes aufgemessen. Dirk Bormann, Inhaber des Vermessungsbüros R. Bormann und Sohn, erläutert die neuen digitalen Möglichkeiten: „Mittels Tablet, innovativer Software und leistungsstarker Messgeräte ist es heutzutage relativ einfach, ein komplettes Modell digital zu erstellen. Wo immer es notwendig ist, kommen dabei auch mit hochauflösenden Kameras ausgestattete Dronen (**Bilder 5 und 6**) für die Photogrammetrie zum Einsatz. Ziel ist es stets, ein georeferenziertes 3D-Modell der Umgebung zu erstellen, um die weiterführenden Bauplanungen zu unterstützen.“

Kampfmittelsuche mit dem Georadar

Doch nicht nur der Blick von oben ist bei der Felssicherung von Interesse. Oftmals muss auch erkundet werden, was darunter liegt. Muss beispielsweise ein Anker gesetzt werden, wird eine Untersuchung des Untergrunds notwendig. Um dies zu meistern, zeigten die Fachleute des Ingenieurbüros G.U.B Ingenieur AG das Georadarverfahren, welches ähnlich wie ein Echolot mit elektromagnetischen Wellen Aussagen darüber ermöglicht, welche Beschaffenheit das darunter liegende Gestein hat und ob mit Kampfmitteln gerechnet werden muss. Die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen sich dabei sowohl zweidimensional als auch dreidimensional erstellen.

Anhand aller Vermessungsdaten wird ein digitales Geländemodell entwickelt, um die Begebenheiten vor Ort sowie die für die weiteren Arbeiten wichtigen Daten stets präsent zu haben. Abgeglichen mit den Koordinaten des Landesvermessungsnetzes erhalten die nachfolgenden Planer sowie die bauausführenden Firmen eine präzise Übersicht zur Gesamtlage. Des Weiteren lassen sich mit diesen Daten sehr detailliert Felsstürze simulieren. So kann man vorausberechnen, welchen Weg ein herabstürzender Stein nehmen wird und mit welcher Kraft er auf ein eventuelles Hindernis, beispielsweise eine Brücke, einschlägt.

Der digitale Zwilling als treibende Kraft

Um diese Erkenntnisse optimal zu nutzen, haben sich Datenformate etabliert, die einen reibungslosen Austausch unter den Projektpartnern ermöglichen. Auf diese Weise kommt auch das Verfahren des Building Information Modeling (BIM) zum Tragen (**Bild 7**). Der sogenannte digitale Zwilling des gesamten Vorhabens unterstützt die Planungsphase wesentlich. So wird auch eine 3D-Visualisierung der geplanten Sicherungsmaßnahmen im Vorfeld möglich und anschaulich dargestellt. Zudem ist sie auch die Grundlage für das Leistungsverzeichnis, die daraus resultierende Ausschreibung sowie die gesamte

**Bild 7:** Präsentation über BIM

Foto: Robert Michael

**Bild 8:** Anschauliche praktische Vorführung

Quelle: Robert Michael

Projektkalkulation. Doch damit nicht genug: Das BIM-Modell ist zugleich ein leistungsstarkes Instrument bei der Projektdokumentation. Webbasiert aufgestellt, können die Projektpartner ablesen, welche Arbeitsschritte zu welchem Zeitpunkt ausgeführt werden müssen. Der Soll-Ist-Vergleich macht eventuelle Abweichungen von der ursprünglichen Planung transparent. Zu guter Letzt sind mit BIM auch die Rechnungslegung sowie -prüfung komfortabel durchführbar.

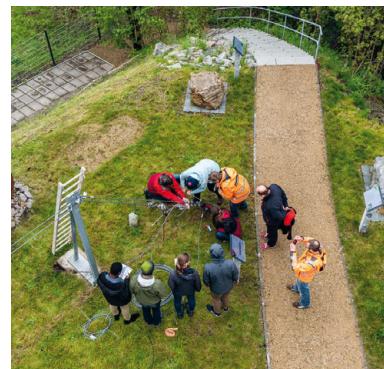
Für die Teilnehmer des Praxistags im Georando gestaltete sich die Praxisvorführung nicht nur theoretisch mit Bits und Bytes, sondern ganz konkret und praktisch (**Bild 8**). Sämtliche beschriebenen Arbeitsschritte wurden anschaulich durchgeführt und der zur Simulation am Rande des Abgrunds liegende Felsblock mithilfe der digitalen Planungen gesichert. Zum Projektabschluss erfolgte eine Neuvermessung des Areals.

Digitalisierung kein kurzfristiges Trendthema

Lutz Fiege von der Georando-Stiftung: „Die Zukunft der Geotechnik ist digital. Dies konnten wir im Rahmen des Praxistags der Geotechnik gemeinsam mit den Partnern der Jähnig GmbH, Dorfhain, dem Vermessungsbüro R. Bormann und Sohn, dem Ingenieurbüro G.U.B. Ingenieur AG, Zwickau, dem Ingenieurbüro Eckert GmbH, Chemnitz, der BRZ Deutschland GmbH, Nürnberg, sowie Trumer Schutzbauten GmbH, Fürth, im Georando eindrucksvoll beweisen. Die Entwicklung hat bei diesem Thema gerade erst begonnen. Die Digitalisierung ist kein kurzfristiges Trendthema, sondern die Grundlage für erfolgreiches Arbeiten in unserer Branche. Es sind beispielsweise noch Aspekte des Datenschutzes, der Datenformate und vertragliche und rechtliche Fragen zu klären. Auch der notwendige Schulungsbedarf ist nicht zu unterschätzen. Aus diesem Grund wird sie bei weiteren Veranstaltungen einen festen Platz im Kalender haben.“

Weitere Themen und Vorführungen

Insgesamt präsentierte 18 Unternehmen an beiden Veranstaltungstagen ihre Expertise und vermittelten an

**Bild 9:** Stationen zur Vermittlung von Praxiswissen

Quelle: Robert Michael



ihren Stationen Praxiswissen zu vielfältigen geotechnischen Arbeitsgebieten und Themen und zum Ausprobieren (z. B. **Bild 9**).

Ausblick

Die Georando-Stiftung setzt zurzeit weitere Ideen auf dem Georadogelände um und plant den nächsten Praxistag der Geotechnik im Georando am 14. und 15. Mai 2020.

Das Projekt wird von Leader gefördert.



GEORADO-Stiftung

Weitere Informationen zur Stiftung und zum nächsten Praxistag der Geotechnik im Mai 2020 erhalten Sie bei der Projektmanagerin Annett Geppert.

Kontakt:

post@georando.de
www.georando.de



Mit der Rohrpost gegen den Verkehrsinfarkt

Dr.-Ing. Eckart Pasche, Willich, Deutschland

Lebensstandard und Arbeitsplätze hängen von guter Erreichbarkeit der Produktionsstandorte sowie leistungsfähigen Transport- und Logistiklösungen ab. Insbesondere in urbanen Ballungsräumen stößt die traditionelle Verkehrsinfrastruktur an ihre Grenzen. Neue Lösungen sind dringend erforderlich. Eine erfolgversprechende Idee ist das CargoCap-System.

Ideenwerkstatt • Infrastruktur • Verkehr • Logistik • Innovation

Die CargoCap GmbH um den Bochumer Professor Dietrich Stein schlägt das CargoCap-System vor. Es wird als fünfte Transportalternative zu Straße, Schiene, Wasser und Luft bezeichnet und soll Güter in Ballungsräumen automatisiert durch unterirdische Fahrrohrleitungen schnell, wirtschaftlich, zuverlässig und umweltfreundlich befördern. „Wenn die Machbarkeitsstudie ergibt, dass die neue Infrastruktur zwischen Kölner Straße und Stadtmitte wirtschaftlich betrieben werden kann, kann das der Durchbruch sein“, ist Bergisch Gladbachs Stadtbaurat Harald Flügge überzeugt. Das Ziel ist die Lkw-freie Stadt.

Das System wurde schon 1998 bis 2002 in einem interdisziplinären Forschungsverbund an der Ruhr-Universität Bochum mit Unterstützung des Ministeriums für Schule, Wissenschaft und Forschung in NRW konzipiert und aus technischer, ökonomischer, ökologischer und juristischer Sicht bewertet. In wissenschaftlichen Studien wurde die Wirtschaftlichkeit grundsätzlich festgestellt, aber noch nicht in einem konkreten Fall. Das soll jetzt in Bergisch Gladbach geschehen. Die Kosten der Machbarkeitsstudie werden auf 250.000 € veranschlagt. Je 30.000 € steuern die Stadt und die CargoCap GmbH bei. Den Hauptanteil finanziert die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück. Außerdem sind das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Berlin, die Hochschule Düsseldorf sowie das Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik eingebunden. Wenn die Studie einen konkreten Ausführungsvorschlag enthält und dann die Politik grünes Licht gibt, könnte sich nach Prof. Stein der erste Kapselzug in fünf Jahren in Bewegung setzen.



Bild 1: Cargo Cap System

Quelle: © CargoCap GmbH

Der unterirdische Fahrweg besteht aus Rohrleitungen DN 2800. Die Fahrrohrleitungen werden unter Straßen in 6 bis 8 m Tiefe nach dem Prinzip des Rohrvortriebs verlegt und mit Schienen, Energieversorgung, Informationstechnik sowie RFID-Transpondern zur Positionsermittlung der Caps ausgestattet. Die aerodynamisch geformten sogenannten Caps fahren auf Schienen autonom und vollautomatisch durch das unterirdische Fahrrohrleitungsnetz – angetrieben durch Elektromotoren mit einer Geschwindigkeit von 36 km/h. Laufrollen übernehmen die Tragfunktion der Fahrzeuge auf der Schiene, seitliche Spurführungsrollen stellen ihre Führung im Fahrweg sicher.

Jede Laufrolle wird durch einen Synchronmotor angetrieben. Diese zeichnen sich durch Robustheit, Zuverlässigkeit, geringen Energieverbrauch, niedrige Anschaffungskosten sowie lange Lebensdauer und geringen Wartungsaufwand aus. Die Energieversorgung erfolgt berührungslos und ist damit wartungsfrei. Zwischen den Schienen ist eine Leiterschleife verlegt, in die eine hochfrequente Wechselspannung eingespeist wird. Durch das sich um die Leiter ausbildende elektromagnetische Feld wird nach dem Prinzip der induktiven Kopplung eine Spannung in die fahrzeugseitigen Übertragungsköpfe induziert. Aus diesem Kreis speisen Frequenzumrichter die stufenlos regelbaren Antriebe.

Jede Cap kann zwei Europaletten mit maximaler Masse von 1.500 kg aufnehmen. Für den Transport eignen sich alle Arten von Waren: Investitions- und Konsumgüter, Sammel- und Stückgüter, Produktionsbauteile, Baustoffe, Paket- und Expressfracht, Nahrungs- und Genussmittel. „Etwa zwei Drittel aller in Deutschland transportierten Waren dieser Art passen ohne weiteres Aufbrechen der Ladung in den Frachtraum einer Cap“, hat Stein ermittelt.

Die Ladung wird an den Stationen bei Direktanschluss unmittelbar dem Empfänger zur Verfügung gestellt oder durch Anschlusslogistik mit Lieferfahrzeugen (Elektromobile, Lastenfahrräder) in der Umgebung verteilt. Nur an den Stationen gibt es eine Verbindung zur Erdoberfläche. Sie können mitten in Innenstädten an der Rampe von Warenhäusern liegen oder punktgenau am Fließband einer Fabrik. Das bietet vor allem in Ballungsräumen einen Beitrag zur Entlastung der Straßen vom wachsenden Güterverkehr und zur Reduzierung damit verbundener umweltrelevanter Probleme, und dies ohne Landschaftsinanspruchnahme.

Dr.-Ing. Eckart Pasche

Kontakt:

eckart.pasche@epasche.de

Zur Notwendigkeit von Rohstoffgewinnung und dem gesellschaftlichen Bewusstsein dafür

GeoResources im Gespräch mit Prof. Dr. Ralph Watzel

GeoResources: Guten Tag, Herr Prof. Watzel (**Bild 1**). Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit für dieses Gespräch nehmen. Könnten Sie die Bedeutung von Rohstoffen mit einem Satz beschreiben?

Prof. Watzel: Rohstoffe entscheiden über die Zukunftsfähigkeit von Wirtschaft und Gesellschaft. Als BGR leisten wir mit unseren Forschungs- und Beratungsarbeiten einen wichtigen Beitrag zur sicheren und nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands. Insofern ist mir das Thema unseres heutigen Gesprächs ein wichtiges Anliegen.

GeoResources: Vor einiger Zeit wurde das Deutsche Bergbaumuseum in Bochum (**Bild 2**) nach umfangreichen Modernisierungsarbeiten wiedereröffnet. Ist ein solches Museum nach Ihrer Einschätzung noch zeitgemäß oder eher antiquiert?

Prof. Watzel: Der gesellschaftliche Diskurs über das Thema Rohstoffgewinnung ist alles andere als antiquiert und – wie ich meine – in unserer globalisierten Welt und in Zeiten sich deutlich verändernder Rohstoffnachfragen noch wichtiger geworden. Zahlen, Daten, Fakten und Wissen zu diesem Thema müssen in unserer Gesellschaft vermittelt und diskutiert werden. Dazu trägt auch das Deutsche Bergbaumuseum bei.

GeoResources: Herr Prof. Watzel, Sie sprachen die Globalisierung an. Wie schätzen Sie die Entwicklungen in der Welt im Hinblick auf das Thema Rohstoffgewinnung ein?

Prof. Watzel: Die heutige Rohstoffgewinnung, der Handel aber auch die Auswirkungen des Konsums sind globalisiert. Jeglicher Diskurs über Rohstoffe muss also die weltweite Verflechtung der Wertschöpfungsketten und damit den globalen Kontext berücksichtigen. Drei Megatrends bestimmen die Entwicklung der Rohstoffbedarfe maßgeblich:

- ▶ das globale Bevölkerungswachstum in Verbindung mit Urbanisierung und Migration,
- ▶ eine bemerkenswerte wirtschaftliche Entwicklung insbesondere in Schwellenländern und die Globalisierung der Wertschöpfungsketten,
- ▶ der Klimawandel und die Fragen der Energieversorgung.

Lassen Sie mich dies mit ein paar Zahlen und Fakten unterstreichen.

Das GeoResources Team sprach mit Prof. Dr. Ralph Watzel, dem Präsidenten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover, über die Notwendigkeit von Rohstoffgewinnung und dem Bewusstsein dafür in unserer Gesellschaft.

Rohstoffe • Bergbau • Akzeptanz • Globalität • Gesellschaft



Bild 1: Prof. Dr. Watzel, Präsident der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Quelle: Bildkraftwerk

Die derzeitige Weltbevölkerung umfasst ca. 7,7 Mrd. Menschen. Die Vereinten Nationen publizieren jedes Jahr einen Prognosebericht zur Weltbevölkerung. Die aktuelle Prognose sagt für 2030 – also in 11 Jahren – eine Anzahl von 8,6 Mrd. Menschen voraus. Das entspricht in etwa einem Zuwachs in der Größe der heutigen Bevölkerung von Nord- und Südamerika. Im Jahr 2050 – wenn sich der Bevölkerungszuwachs zunehmend abschwächt¹ – werden zwischen 9,4 und 10,1 Mrd. Menschen auf der Erde leben. Schon heute lebt fast die Hälfte der Weltbevölkerung in urbanen Gebieten. 2030 werden es laut Prognose der UN über 60% sein². Über 11 Mrd. Menschen, die versorgt werden müssen und wollen – mit Nahrung, mit sauberem Wasser, mit Energie, mit Wohnraum, mit Zugang zu Transport- und digitaler Infrastruktur.

Um den Klimawandel abzuschwächen, muss eine Energiewende im globalen Maßstab vollzogen werden.

1 UN Department of Economic and Social Affairs: World Population Prospects 2019: Highlights

2 UN Department of Economic and Social Affairs: 2018 Revision of World Urbanization Prospects



Bild 2: Deutsches Bergbaumuseum in Bochum

Quelle: Karlheinz Jardner

Dieser Prozess wird aber auch mit neuen Ressourcenbedarf für neue Technologien verbunden sein.

GeoResources: Das sind beeindruckende Trends und Zahlen!

Prof. Watzel: Die genannten Entwicklungen führen schon heute zu einer Reihe von weltweiten Herausforderungen. Dazu gehören:

- ▶ ein Bedarfszuwachs bei der Wasser- und Nahrungsversorgung sowie bei Rohstoffen und Energie,
- ▶ ein zunehmender Nutzungsdruck auf natürliche Ressourcen sowie ein klarer Bedarf an einer wachsenden Kreislaufwirtschaft,
- ▶ das Management von Umwelteinwirkungen und sozialen Fragen.

GeoResources: Sind denn in der Welt überhaupt genug Rohstoffe verfügbar, um den Bedarf zu decken?

Prof. Watzel: Als Geowissenschaftler sind wir der Auffassung, dass die Erdkruste unseres Planeten heute und auf absehbare Zeit hinreichend mineralische Rohstoffe beinhaltet. Die Frage ist für mich nicht, ob uns die Rohstoffe ausgehen, sondern vielmehr, wie die Menschheit – im lokalen wie im globalen Kontext – Gewinnung und Nutzung von Rohstoffen sowie die Nachnutzung der Gewinnungsflächen verantwortungsvoll, transparent, fair, nachhaltig und mit der gebotenen Sorgfalt regelt!

GeoResources: Kann das denn gelingen?

Prof. Watzel: Dazu möchte ich zunächst etwas ausholen, um die aktuelle Situation zu verdeutlichen. Wir müssen zunächst berücksichtigen, dass Bevölkerungswachstum und Wohlstandszuwachs in Schwellen- und Entwicklungsländern zu einem nichtlinearen Anstieg der Rohstoffnutzung führen werden.

Die weltweite Gewinnung fossiler Energieträger, von Erzen und Metallen sowie Baustoffmineralen hat sich in den vergangenen 100 Jahren mehr als verzehnfacht. Der Anteil Deutschlands an der Rohstoffproduktion liegt bei ungefähr 2 %.

Rohstoffe kann man nur am Ort ihres Vorkommens gewinnen – dort, wo Mutter Natur sie durch geologische Prozesse geschaffen hat. Diese Orte sind auf der Welt recht ungleich verteilt, was für fast alle wichtigen Rohstoffe gilt.

Im Zuge der Wirtschaftsliberalisierung und Globalisierung nach dem Fall des Eisernen Vorhangs dachte man in den westlichen Industrienationen, dass ein freier Welthandel und die Spielregeln des Markts ihre Rohstoffversorgung am günstigsten und vor allem dauerhaft gewährleisten.

Dies hat sich als Trugschluss erwiesen. Aufstrebende Schwellenländer mit z. T. rasant wachsenden Bedarfen, die Konzentration wichtiger Rohstoffvorkommen in bestimmten Teilen der Welt, Technologieentwicklungen und geopolitische Aspekte haben dazu geführt, dass wir eines Besseren belehrt wurden. Beispiele für diesen Trend sind:

- ▶ Mindestens 50 % der Weltproduktion der Rohstoffe Niob, Bor, Platin, Kobalt, Tantal, Chrom, Zirkon, Palladium und Lithium werden in jeweils einem Land gewonnen. Zu diesen Ländern gehören Australien, Südafrika, Brasilien, Türkei, Russland und DR Kongo.
- ▶ Mindestens 50 % und teilweise sogar bis zu 90 % der Weltproduktion von Seltenen Erden, Wolfram, Germanium, Vanadium, Indium, Antimon, Flusspat, Graphit und Magnesium werden in einem einzigen Land gewonnen - nämlich in China.

Dies zeigt die Marktmacht weniger Länder. Wir sprechen von Länderoligopolen und in einigen Fällen sogar von Monopolen. Neben klassischen Marktrisiken müssen heute somit auch sogenannte Länderrisiken berücksichtigt werden. Bei Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel, Zink, Zinn, Stahl und Kokskohle verarbeitet China 50 bis 60 % der Weltbergbauförderung. Das ist schon fast eine Art Weltwirtschaft für sich selbst. Wir kommen in Deutschland bei der Diskussion des Themas Rohstoffgewinnung nicht an diesen Gegebenheiten vorbei.

GeoResources: Warum ist es erforderlich, den Menschen in unserer Gesellschaft die Brisanz ihrer Aussagen bewusst zu machen?

Prof. Watzel: Ein Problem ist für mich die Entfremdung von der Urproduktion. China hat sich zur „Werkbank oder Fabrik der Welt“ entwickelt. Zahlreiche Produkte unseres täglichen Lebens, an die wir uns so gewöhnt haben – vom Smartphone über unsere Kleidung bis hin zu Stahl und Maschinen – werden dort hergestellt, auch wenn ihr Firmenlogo amerikanisch oder europäisch ist.

Wir nehmen den „Apfel“ als Marke noch wahr, aber die Produktionsstätten nicht mehr und die Gewinnung von Rohstoffen und Raffinadeprodukten für die Produktionsstätten schon gar nicht. Der Trend des deutschen Wirtschaftswunders, dass sich unser Bewusstsein für ein technisches Produkt von der Urproduktion – der Rohstoffgewinnung – entkoppelt, hat sich in der globalisierten Wirtschaft verstärkt und beschleunigt. Genau hier muss ein gesellschaftlicher Diskurs ansetzen:

- ▶ Woher kommen die Rohstoffe für die Produkte unseres täglichen Lebens, beispielsweise für mein Smartphone? Unter welchen Umwelt- und Sozialbedingungen werden sie gewonnen? Bin ich bereit, deutlich mehr für ein fair produziertes Smartphone zu zahlen?
- ▶ Wie lassen sich Entwicklungen von Deutschland oder Europa aus positiv beeinflussen? Von steuern will ich gar nicht sprechen. Lassen sie sich überhaupt beeinflussen, wenn sich allein in China in den letzten 30 Jahren eine Mittelschicht gebildet hat, die der in Europa und den USA zusammen kaum nachsteht – weder im Umfang noch an Kaufkraft?

Das sind die Fragen für den gesellschaftlichen Diskurs um die Rohstoffgewinnung. Und für einen qualifizierten Diskurs benötigen wir das Bewusstsein, diese Fragen überhaupt zu stellen, und hinreichendes Wissen, um sie erfolgreich zu erörtern.

GeoResources: Wie sieht es denn mit unseren heimischen Rohstoffen und dem Bewusstsein dafür aus?

Prof. Watzel: Am 21. Dezember 2018 wurde im Beisein von Herrn Bundespräsident Steinmeier in Bottrop das letzte Stück Steinkohle in Deutschland gewonnen und zutage gebracht. Bei der aktuellen Diskussion um das Ende von Kohlengewinnung und -nutzung in Deutschland kann man den Eindruck bekommen, dass dies nur noch eine Frage des finalen Ausstiegsdatums ist und anschließend das gesamte Thema Rohstoffgewinnung für Deutschland erledigt sei.

Rohstoffgewinnung in Deutschland – das ist für viele der Kohlenbergbau: schwarz, schmutzig und subventioniert. Ein gern tradiertes, urdeutsches Bild – aber ein unvollständiges Bild. Wir müssen über den Rand dieses Bildes hinausschauen, wenn wir eine realistische Perspektive einnehmen wollen – hinsichtlich der Bandbreite heimischer Rohstoffgewinnung und der Zeitachse mit Blick in die Zukunft.

In Deutschland wurden 2018 rd. 600 Mio. t mineralische Rohstoffe für die Baustoffproduktion und Grundstoffindustrie gewonnen. In der Steine-Erden-Industrie waren 2018 etwa 150.000 Menschen sozialversicherungspflichtig beschäftigt und erwirtschafteten einen Jahresumsatz von rd. 34 Mrd. €. Bei diesen Rohstoffen ist Deutschland Selbstversorger und die „Handelsbilanz“ ist mehr oder weniger ausgeglichen. Jeder Mensch in Deutschland nutzt im Schnitt rd. 7 t

mineralische Rohstoffe pro Jahr – das entspricht 20 kg am Tag oder dem Gewicht von zwei gefüllten Einkaufstaschen.

Natürlich ist die Gewinnung von Rohstoffen ein Eingriff in Landschaft und Natur. In jeder Standortgemeinde muss man den gesellschaftlichen Diskurs daher keinesfalls anstoßen. Er ist allgegenwärtig. Man wird schwerlich Menschen finden, die in ihrer Nachbarschaft Steinbrüche, Kiesgruben oder Aufbereitungsanlagen gutheißen – auch wenn wir alle täglich Rohstoffe nutzen. Sie stecken in Häusern und Gebäuden, Straßen und Brücken, Eisenbahnlinien und Bahnhöfen, Glas, Kosmetik oder Zahnpasta. Die Sicherung heimischer Rohstoffe kann in einem dicht besiedelten Land wie Deutschland gar nicht ohne gesellschaftlichen Diskurs vorstattengehen. Flächennutzungskonflikte können nicht einfach durch räumliche Entzerrung gelöst werden. Die Sicherung erfolgt organisatorisch in Planungs- und Genehmigungsverfahren durch demokratisch legitimierte Regularien und Instanzen.

Presse-Headlines wie „Kiez statt Kies“, „Nein zum Steinbruch“ oder „Der Steinbruch kommt langsam näher“ zeigen sehr deutlich die Ablehnung. Überschriften wie „Kommt die Baupflicht bald in ganz Deutschland? Die Baulandkommission rät zu einer Gesetzes verschärfung, um Grundstückseigner zum Bauen zu zwingen“ (FAZ am 30.06.2019) verdeutlichen wiederum den



**Ihr Partner bei
Geokunststoffen,
firmenübergreifend.**

Neu: IVG Homepage nutzerfreundlich „runderneuert“ – jetzt besuchen!





25
JAHRE

Geokunststoffe,
immer ein guter Grund.

www.ivgeokunststoffe.de

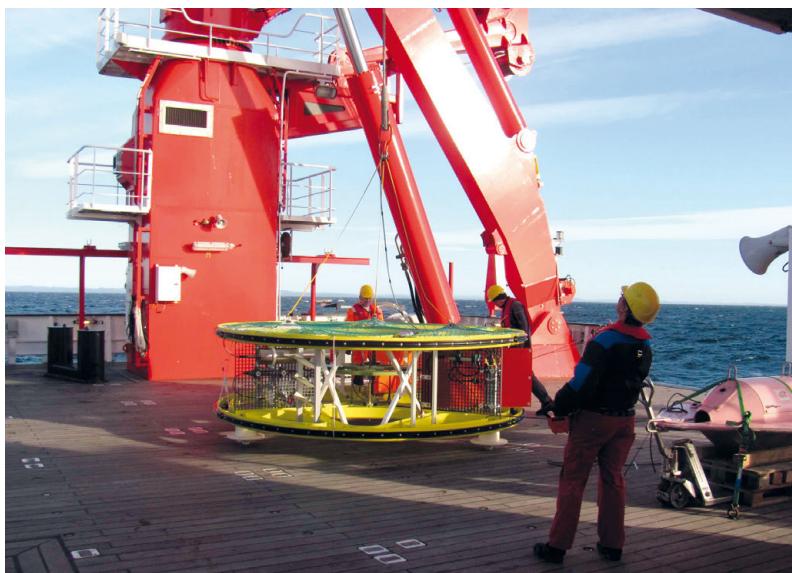


Bild 3: Mit speziellen Messgeräten erkunden die Forscherinnen und Forscher der BGR die Tiefsee nach Rohstoffen

Quelle: BGR

Bedarf. Die genannten Schlagzeilen zeigen die beiden Endpunkte der Diskussionsbandbreite über die Gewinnung heimischer Rohstoffe, an die sich wiederum weitere Fragen anschließen:

- ▶ Warum ersetzen wir den Baustoffbedarf nicht durch Recycling?
- ▶ Wie steht es um die Ressourceneffizienz bei den Baustoffen?
- ▶ Wie lässt sich der Bau(stoff)bedarf vermeiden?
- ▶ Kann man die Rohstoffe nicht besser importieren?
- ▶ Wie gelingt die gesellschaftliche Akzeptanz?

Aus meiner Sicht ist es von zentraler Bedeutung, in diesen Spannungsfeldern den gesellschaftlichen Diskurs zu stärken – durch Zahlen, Daten und Fakten, durch Wissen und wissenschaftliche Begleitmaßnahmen, durch Plattformen für Austausch und Vermittlung.



Bild 4: Ein BGR-Mitarbeiter prüft Kobalterz in einem artisanalen Abbaubereich im Südosten der DR Kongo

Quelle: BGR

GeoResources: Wie können wir unseren veralteten und unvollständigen Blickwinkel zu einem zeitgemäßen und globalen erweitern?

Prof. Watzel: Die Kinder und Kindeskinder des deutschen Wirtschaftswunders – die Generationen „Motorisierung“ – sind mit der Schlüsselfrage aufgewachsen, wie lange Öl und Kohle reichen. Das hat unsere Sicht auf Rohstoffe leider auch einengend bestimmt. Mit einem Ende der Nutzung von Öl und Kohle ist das Thema „Energierohstoffe“ allerdings nicht erledigt.

Auch erneuerbare Energien können nicht ohne den Einsatz von Rohstoffen gewonnen werden. Damit meine ich nicht Beton und Stahl für Fundamente und Masten von Windenergieanlagen, auch nicht die 30 % Quarzsand, die in Form von glasfaserverstärkten Kunststoffen in jedem Rotorblatt stecken. Ich meine die wenigen Prozente seltener Metalle, die in der Elektrik und Elektronik von Windenergieanlagen oder Solarpanels verbaut werden. Das sind Stoffe, mit denen wir es nicht täglich zu tun haben. Zu ihnen gehören Neodym, Praseodym, Dysprosium, Scandium, Gadolinium, oder Promethium. Die Gruppe dieser Hochtechnologiemetalle ist von zentraler Bedeutung für Elektromobilität und Energieeffizienz, für Superlegierungen und Leichtbau.

In diesen Rohstoffen steckt der eigentliche Wert von Technologieprodukten der Zukunft, der „brain“ des Technikprodukts. Sie bestimmen spezifische Materialeigenschaften wie Hitzebeständigkeit, Korrosionsschutz und Elastizität. Sie werden nur in geringen Mengen eingesetzt, weshalb sie auch als „Gewürzmetalle“ bezeichnet werden. Die Weltproduktion reicht von 10 bis 100.000 t/a. Die Metalle kommen in Gehalten von wenigen Milligramm bis Gramm pro Tonne Gestein vor und werden oft als Nebenprodukt anderer Erze gefördert.

Deutschland ist bei den Hochtechnologiemetallen, den Schlüsselstoffen für Zukunftstechnologien, quasi vollständig importabhängig. In den kommenden Generationen wird die Schlüsselfrage womöglich lauten, wie lange diese Rohstoffe reichen.

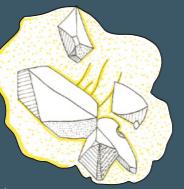
Diese Importabhängigkeit manifestiert sich im Marktgeschehen in Form von Preis- und Lieferrisiken. Es kommen weitere Dimensionen hinzu. Die Umwelt- und Sozialstandards, unter denen heimische Rohstoffe gewonnen werden, bestimmt unsere demokratische Gesellschaft selbst. Auf die entsprechenden Standards in weiten Teilen der Welt haben wir keinen unmittelbaren Einfluss. Wir erheben aber den Anspruch, dass die Rohstoffe unter qualifizierten Sozial- und Umweltbedingungen gewonnen werden. Wir wollen keine Rohstoffe, die mithilfe von Kinderarbeit oder unter der Herrschaft von Rebellengruppen oder Militärregimen abgebaut werden. Ebenso lehnen wir eine umweltbelastende Gewinnung vom Meeresboden der Tiefsee oder in den sensiblen Ökosystemen der Arktis ab.

Wir möchten, dass alle anderen Mitbewerber im Rohstoffmarkt unsere Ansprüche an Standards teilen,

1 BORAX: BOR

Chemische Formel: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Eine Legierung aus Bor, Neodym und Eisen wird zur Herstellung der starken Permanentmagnete der Lautsprecher, Kopfhörer und der Vibrationseinheit gebraucht. Bor wird aus Borat-Mineralen wie beispielsweise dem Borax oder Colemanit gewonnen. Die Türkei und die USA sind die weltgrößten Produzenten von Bor.



2 PALLADIUM (elementar)

Chemische Formel: Pd

Palladium wird für den elektrischen Schaltkreis und die Kontakte benötigt. Palladium wird in seiner elementaren Form, als Legierung mit anderen Platinmetallen (z.B. Platin und Iridium) oder in Kombination mit Eisen gefunden. Palladium wird hauptsächlich als Beiproduct beim Abbau von Kupfer und Nickel gewonnen. Russland und Südafrika sind momentan die wichtigsten Produzenten von Palladium.

3 WOLFRAMIT: WOLFRAM

Chemische Formel: $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$

Durch seine Stabilität und die hohe Schmelztemperatur eignet sich Wolfram in Smartphones für elektrische Verbindungen und Kühlélémente sowie der Verteilung von überschüssiger Hitze. Wolframat und Scheelit sind die häufigsten Minerale, in denen Wolfram vorkommt. Wolfram gilt aufgrund der unethischen Abbaubedingungen im Kongo als Konfliktmineral. Weltweit sind China (mit mehr als 80 % der Weltproduktion) sowie Vietnam und Russland die wichtigsten Produzenten.



4 GRAPHIT: KOHLENSTOFF

Chemische Formel: C

Graphit leitet Strom und ist hitzeresistent. Es wird als negative Elektrode in den Akkus der Smartphones gebraucht. Graphit ist eine natürliche Form der Mineralisation des Kohlenstoffs, der in metamorphen und magmatischen Gesteinen sowie Meteoriten vorkommt. Nahezu der gesamte Bedarf wird durch China gedeckt. Kleinere Mengen stammen aus Indien.



5 QUARZ: SILIZIUM

Chemische Formel: SiO_2

Der Prozessor eines Smartphones, das „Gehirn“, welches die Eingaben umsetzt, besteht aus dünnen Siliziumlagen. Ein Gemisch aus Quarz (SiO_2) und Aluminiumoxid (Al_2O_3) wird zudem für die Oberfläche des Touchpads benötigt. Kalium wird dabei als Zusatz zur Verstärkung des Glases verwendet. Silizium wird hauptsächlich aus hochreinem Quarzsand gewonnen. China ist mit Abstand der weltgrößte Produzent, gefolgt von Russland und Norwegen.

MONAZIT: SELTENE ERDEN

Chemische Formel: $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})(\text{PO}_4, \text{SiO}_4)$

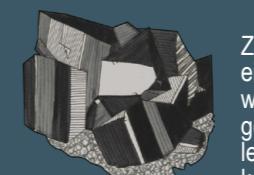
Das Mineral Monazit ist eine äußerst wichtige Quelle für die sog. Metalle der Seltenen Erden – Elemente der Lanthaniden innerhalb des Periodensystems sowie Yttrium und Scandium. Die Metalle der Seltenen Erden werden in kleinen Mengen für Schaltkreise, in der Vibrationseinheit, in Lautsprechern und im Glas für Farbeffekte verwendet. Monazit und Bastnäsit sind wichtige Quellen dieser Elemente. Momentan stammen mehr als 90 % dieser Elemente aus China.



KASSITERIT: ZINN

Chemische Formel: SnO_2

Zinn wird in Smartphones für das Zusammenlöten der einzelnen Komponenten benötigt. Zusammen mit Indium wird Zinn außerdem zur Herstellung von Indium-Zinn-Oxid genutzt, welches als sehr dünne, transparente und leitfähige Schicht in den Touchscreens zum Einsatz kommt. Die Hauptvorkommen von Zinn sind Kassiterit-Minerale in hydrothermalen Gängen oder sedimentären Lagerstätten, sog. Seifen. Die momentan führenden Produzenten sind China, Indonesien und Myanmar.



GOLD (elementar)

Chemische Formel: Au

Kleinste Mengen an Gold werden in Smartphoneplatinen gebraucht, da Gold sehr stabil und leitfähig ist.



Gold wird in sedimentären Seifenlagerstätten wie z. B. an Flüssen gefunden, was mit dem ursprünglichen Anreicherungsplatz von Gold in hydrothermalen Gängen zusammenhängt. Die weltweit bedeutendsten Produzenten von Gold sind China, Australien und die USA.

BAUXIT: ALUMINIUM

Chemische Formel: $\text{Al}(\text{OH})_3$ oder $\text{AlO}(\text{OH})$

Aluminium ist eines der mengenmäßig wichtigsten Elemente in einem Smartphone. Es wird z.B. für die Hülle, das Batteriegehäuse, die Platine, die Glasoberfläche und sogar in der Kameralinse als Al_2O_3 als ein synthetisches Saphirglas – fast so hart wie Diamant – gebraucht. Fast das gesamte Aluminium wird aus Bauxiterzen gewonnen. Momentan sind Australien, China und Brasilien die weltweit wichtigsten Produzenten.



14 BERYLL: BERYLLIUM

Chemische Formel: $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$

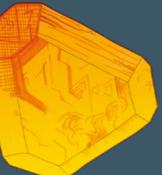
Beryllium wird zur Herstellung von Batterie-Kontakten und Kondensatoren verwendet. Beryllium wird aus dem Mineralen Beryl und Bertrandit gewonnen. Die weltgrößten Produzenten sind die USA, China und Mosambik.



13 SPHALERIT: ZINK

Chemische Formel: $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$

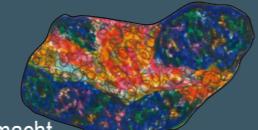
Zink wird in den Platinen sowie als Legierungen in Kombination mit Aluminium für die Verstärkung der Gehäuse verwendet. Fast 95 % aller Zinks werden aus Sphaleriterzen gewonnen. Sphalerit ist von besonderer Bedeutung, da es oftmals auch Spuren von Gallium enthält. Indium und Gallium werden in den Prozessoren zur Anpassung der elektrischen Leitfähigkeit sowie im Touchscreen verwendet. Die wichtigsten Lieferländer von Sphalerit sind China, Peru und Australien.



12 CHALCOPYRIT: KUPFER

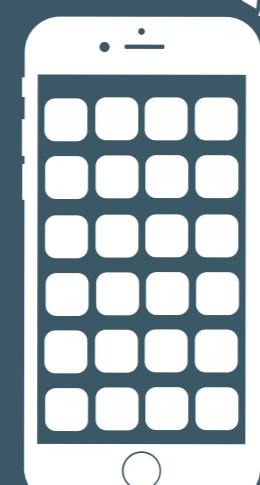
Chemische Formel: CuFeS_2

Die hohe Leitfähigkeit in Bezug auf Wärme und Strom macht Kupfer zum idealen Element für die Verdrahtung innerhalb eines Smartphones. Chalcopyrit ist das häufigste Mineral, in dem Kupfer vorkommt. Außer in Chalcopyrit kommt Kupfer auch in den Mineralen Bornit, Chalkosin sowie in elementarer Form vor. Die Länder Chile, Peru und China sind die Hauptproduzenten von Kupfer in der Welt.



1	H
3	Li
4	Be
11	Na
12	Mg
19	Ca
20	Sc
21	Ti
22	V
23	Cr
24	Mn
25	Fe
26	Co
27	Ni
28	Cu
29	Zn
30	Ga
31	Ge
32	As
33	S
34	Se
35	Br
36	Kr
37	Rb
38	Y
39	Pr
40	Zr
41	Nb
42	Ta
43	W
44	Ru
45	Rh
46	Pt
47	Ag
48	Cd
49	Hg
50	Sn
51	Bi
52	Pb
53	I
54	Xe
55	Cs
56	Ba
57	La
72	Hf
73	Ta
74	W
75	Re
76	Os
77	Ir
78	Pt
79	Hg
80	Tl
81	Pb
82	Bi
83	Po
84	At
85	Rn
86	Rn
87	Fr
88	Ra
89	Ac
104	Rf
105	Ds
106	Sg
107	Bh
108	Mt
109	No
110	Ds
111	Cn
112	Nh
113	Hs
114	Mc
115	Lv
116	Nb
117	Og
118	Lr

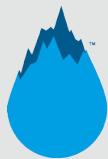
Wussten Sie, dass in Ihrem Smartphone eine Vielzahl von wertvollen Metallen und seltenen Elementen verbaut ist? Tatsächlich enthält ein durchschnittliches Smartphone 75 der 81 stabilen (nicht-radioaktiven) Elemente des Periodensystems, von denen 62 Metalle sind. Alle Elemente in Ihrem Smartphone, ob häufig oder selten vorkommend, stammen aus Rohstoffvorkommen, meist Eisenerzen, die ihrerseits aufgefunden, abgebaut, verarbeitet und veredelt werden mussten. Nur ein kleiner, wenn auch wachsender Teil der Rohstoffe stammt aus dem Recycling. Vor dem Hintergrund eines ständig zunehmenden Bedarfs an Smartphones, Bedenken bezüglich der Versorgungssicherheit sowie Problemen im Hinblick auf Umweltverträglichkeit und soziale Auswirkungen werden innovative Technologien benötigt, um Rohstoffvorkommen zu erschließen und deren effizienten Einsatz zu fördern.



ROHSTOFFE IN EINEM SMARTPHONE

RohstoffWissen! e.V.

Lessenicher Straße 1
53123 Bonn, Germany
Tel.: +49 228 69 66 02
E-Mail: info@rohstoffwissen.org



**ROHSTOFF
WISSEN!**

**Sie benötigen das Poster größer?
Bestellen Sie kostenlos bis zu 5 Exemplare in DIN A1**

Das Angebot gilt nur, solange der Vorrat reicht.

Wir freuen uns, wenn Sie sich an den
Herstellungs- und Versandkosten beteiligen
und so unsere Arbeit unterstützen.

Konto: Volksbank Köln Bonn eG
IBAN: DE71 3806 0186 1004 6480 10
BIC: GENODED1BRS.

unterstützen und sich als faire Einkäufer im globalen Markt verhalten. Das ist ein sehr hoher Anspruch. Die Herausforderung besteht nicht darin, ihn zu formulieren, sondern ihn erfolgreich und gegen Widerstände umzusetzen.

GeoResources: Haben Sie eine Vorstellung, wie wir diese Herausforderungen meistern können?

Prof. Watzel: Damit Primärrohstoffe verantwortungsvoll gewonnen werden, bedarf es langfristig tragfähiger Konzepte und Standards auf globaler Ebene. Deutsche Institutionen können und müssen bei der Ausarbeitung dieser Standards gestaltend mitwirken. Wir tun dies bereits heute: Die BGR widmet sich der Frage nach verantwortungsvoller Rohstoffgewinnung, unter anderem in Projekten zum Tiefseebergbau (**Bild 3**), der Zertifizierung von Rohstoffen aus dem Kongo (**Bild 4**) und der Beratung zur Entwicklung eines modernen Bergrechts in Partnerländern der Technischen Zusammenarbeit in Südostasien oder in Vorhaben zu einem verantwortungsvollen Bergbau in den Andenländern. Die verantwortliche Erschließung von Rohstoffquellen schafft dabei vor allem auch für deutsche Unternehmen mit ihrem Know-how neue Investitionsmöglichkeiten. Ich freue mich, eine Einrichtung zu leiten, die auf diesem komplexen Feld maßgeblich engagiert ist.

Mir sind aber noch weitere Aspekte wichtig, da Wohlstand und die Technologien für die Zukunftsfähigkeit unserer Wirtschaft auch künftig Rohstoffe benötigen: Je mehr diese Rohstoffe durch die Primär-gewinnung aus der Geosphäre in die Technosphäre gelangen, umso bedeutender werden Recycling und Kreislaufwirtschaft. Und mit dem Blick auf weite Teile der Welt gilt für mich ganz besonders, dass Rohstoffgewinnung für Wohlstand sorgen muss, nicht für Kriege und Korruption.

GeoResources: Können Sie uns und unseren Lesern ein Fazit mit auf den Weg geben?

Prof. Watzel: Rohstoffnutzung und -gewinnung sind notwendig. Sie sind Bestandteil unserer Zivilisation und Grundlage des Wohlstands. Weil sie notwendig sind, müssen sie ganzheitlich gedacht und gelebt werden. Alles, was ganzheitlich betrachtet wird, braucht einen vorauslaufenden bzw. begleitenden gesellschaftlichen Diskurs. Ganzheitlichkeit ist nicht die Sache eines Einzelnen. Ein qualifizierter Diskurs ist wissensbasiert, noch besser wissenschaftsbasiert. Aus meiner Sicht geht es in Deutschland dabei um vier konkrete Punkte:

1. Deutschland wird Rohstoffe für Schlüsseltechnologie weiterhin importieren müssen. Ressourcennutzung ist ein globales Thema. Wir müssen Exploration, Gewinnung und Aufbereitung, Märkte und das sie begleitende politische Geschehen weltweit aufmerksam beobachten.



Bild 5: Neue Dauerausstellung im Deutschen Bergbau-Museum – Rundgang Bodenschätze
Quelle: Helena Grebe

2. Wir brauchen ein klares Bekenntnis zu Ressourceneffizienz und Recycling. Es gilt, technologieoffen, innovationsfördernd und im globalen Kontext alle technisch möglichen und wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeiten zu nutzen.
3. Wir müssen die heimische Rohstoffgewinnung sichern. Heimische Gewinnung garantiert hohe Umwelt- und Sozialstandards, Wertschöpfung und Technologieentwicklung.
4. Es gilt im konstruktiven gesellschaftlichen Dialog, Bewusstsein für das Rohstoffthema zu schaffen – insbesondere bei Konsumenten und Entscheidungsträgern.

GeoResources: Herr Prof. Watzel, wir nehmen viele Gedankenregungen und Aufgaben für die Zukunft mit. Auch über einen Besuch im Deutschen Bergbaumuseum (**Bild 5**) oder bei der BGR denken wir nach. Wir hoffen, dass wir und auch die Leser unserer Fachzeitschrift in Zukunft noch bewusster mit dem Thema Rohstoffe und Rohstoffgewinnung umgehen. Wir möchten den gesellschaftlichen Diskurs positiv mitan-kurbeln und -gestalten.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Die BGR in Hannover ist die zentrale geowissenschaftliche Beratungseinrichtung der Bundesregierung.

Kontakt:

Tel.: +49 511 643 2679 E-Mail: info@bgr.de

Auf sicherer Schiene durch Kopenhagen

Katharina Maria Siegel, Fischerwerke GmbH & Co. KG, Waldachtal, Deutschland

Zur Verbesserung der Infrastruktur baut die dänische Hauptstadt Kopenhagen ihr Metrosystem aus. Der Cityringen ist ein zentraler Bestandteil. Moderne Befestigungstechnik erhöht die Sicherheit des unterirdischen Schnellbahnsystems.

Tunnelbau • Metro • Infrastruktur • Befestigungstechnik • Dänemark

Zum Projekt Cityringen

Bereits jetzt nutzen nach Angabe des Betreibers Metroselskabet I/S fast 65 Mio. Passagiere pro Jahr das Kopenhagener Metronetz. Und der Zuzug in die dänische Hauptstadt ist hoch. Seit 2011 entsteht der Cityringen, der Ende 2019 eröffnet werden soll. Das unterirdische Schnellbahnsystem wird u. a. das dänische Parlament, das Rathaus, bedeutende Nationaldenkmäler und den Hauptbahnhof verbinden. Die neue Line M3 enthält 17 neue U-Bahn-Stationen.

Als Bauunternehmen wurde das Copenhagen Metro Team beauftragt, ein Joint Venture italienischer

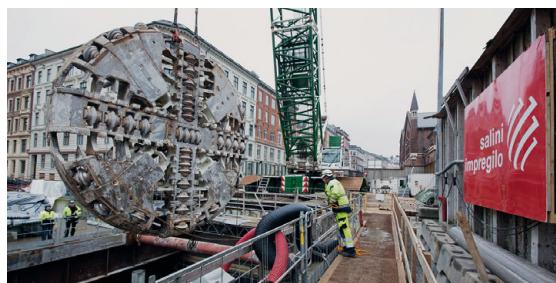


Bild 1: EPB-TBM-Vortrieb der Tunnelröhren

Quelle: CMT / Salini Impregilo

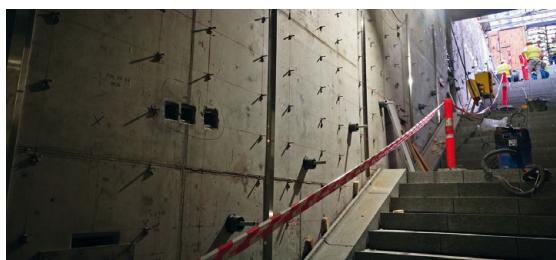


Bild 2: Zahlreiche Befestigungslösungen der Unternehmensgruppe Fischer

Quelle: Unternehmensgruppe Fischer



Bild 3: Installationssysteme für Medienleitungen zur Ver- und Entsorgung mit Strom und Wasser sowie Be- und Entlüftung

Quelle: Unternehmensgruppe Fischer

Unternehmen. Per EPB-TBM-Vortrieb wurden zwei Röhren mit je 5,78 m Durchmesser auf 15,5 km Länge 25 m tief unter der Erde durch Kopenhagener Kalkstein gebohrt (**Bild 1**). Der Cityringen ist eins der größten Metrobauprojekte in Europa.

Befestigungs- und Sicherungssysteme

Die Unternehmensgruppe Fischer lieferte temporäre und dauerhafte Befestigungs- und Installationssysteme und begleitete die Montage (**Bilder 2 und 3**). Die Systeme sind nach europäischen und internationalen Standards getestet, verfügen zumeist über die ETA (Europäisch Technische Zulassung) und bestehen aus hochwertigen Materialien, wie hochkorrosionssicherem Stahl. Sie sind widerstandsfähig gegen Feuer, seismische Einflüsse sowie dynamische und Stoßlasten.

Temporäre Kanäle, Kabel und Rohre für Belüftung, Beleuchtung sowie Wasserversorgung und -abtransport wurden im Cityringen mit dem Nagelanker FNA II und der Betonschraube FBS abgestimmt auf die jeweilige Last befestigt und anschließend demontiert. Der FNA II sicherte zudem die Dränageleitung mit vorgebohrten Metallbügeln auf der Tunnelsohle gegen Auftrieb. So werden Verschiebungen der Dränage beim Befüllen mit Zement verhindert. Weitere Einsatzbereiche des FNA II waren die Befestigung von Brandschutzplatten und die Anbringung von Verstärkungsnetzen für den gespritzten Brandschutzputz.

Die Edelstahlvariante des FBN II diente der wasserdichten Anpressung der Abdichtungsbahnen der Tunnelsegmente im Bereich von Wanddurchführungen an Bahnhöfen. Die Elektroinstallation wird dauerhaft mit Bolzenankern FAZ II und FBN II sowie Nagelankern FNA II gesichert. Ein Schienenbefestigungssystem befestigt Schienen an Eisenbahnschwellen. Stromschienen werden mit Epoxidharzmörtel FIS EM und Ankerstangen FIS A sicher befestigt. Natursteine und handgeformte Ziegel zur Fassadenbekleidung in den Stationen werden mit Hinterschnittankern und Unterkonstruktionen montiert. Lasten werden mit den Systemen formschlüssig und völlig spreizdruckfrei eingeleitet. Die korrosionsbeständigen und brandgeprüften Installationssysteme fixieren die Rohre und Kabel für die Ver- und Entsorgung des Tunnels mit Strom und Wasser sowie Be- und Entlüftung. Die Lösungen für passiven Brandschutz tragen zur Minimierung der Ausbreitung von Feuer, Rauch und giftigen Gasen bei.

Katharina Maria Siegel

ist Pressereferentin von „fischer Befestigungssysteme“.

Kontakt: katharinamaria.siegel@fischer.de

Maschinentechnische Entwicklungstendenzen im maschinellen Tunnelbau im Lockergestein

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, Bayar Bayrakci, B. Eng. und Prof. Dr.-Ing. Ulrich Burbaum,
Fachbereich Bauingenieurwesen, Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt, Deutschland

1 Einleitung

Sir Marc Isambard Brunel entwickelte 1806 die Idee einer Schildmaschine. Der Schild wies einen rechteckigen Querschnitt auf und setzte sich aus zwölf nebeneinanderstehenden Rahmen zusammen, die in jeweils drei Kammern unterteilt waren [1]. In jeder dieser Kammern wurde das Bodenmaterial an der Ortsbrust durch einen Mineur gelöst. Die Vortriebsgeschwindigkeit lag in diesem Projekt bei ca. 3 bis 4 m Tunnelvortrieb in der Woche [2].

Rund 200 Jahre nach dem ersten Einsatz einer Schildmaschine hat sich der maschinelle Tunnelbau beeindruckend fortentwickelt. Der Boden an der Ortsbrust wird im Vollschnitt mittels eines Schneidrads gelöst. Die Stützung der Ortsbrust kann mittels eines Erdbreis, einer Flüssigkeit oder Druckluft erfolgen. Die Sicherung des Tunnels erfolgt mit Stahlbetontübbingen. Die Spitzengeschwindigkeit des Vortriebs kann wie z. B. beim Bau der Barcelona Metro Line 9 360 m in der Woche betragen [3].

Um die maschinentechnischen Entwicklungstendenzen im maschinellen Tunnelbau zu analysieren, wurden bis zu 274 Projekte ausgewertet, bei denen Schildmaschinen verschiedener Maschinenhersteller zum Einsatz kamen. Dabei wurden folgende Parameter analysiert:

- ▶ Schilddurchmesser
- ▶ Antriebsleistung
- ▶ Drehmoment
- ▶ Vortriebsleistung

Die Daten wurden dabei in Abhängigkeit von der zeitlichen Entwicklung aufgetragen. Bei der Auswertung erfolgte zum einen eine Betrachtung der Projekte ohne Berücksichtigung des Schildmaschinentyps und zum anderen wurden Teile der Projekte separat analysiert, wobei in die beiden Gruppen flüssigkeitsgestützte Schildmaschinen/Mixschilder und erddruckgestützte Schildmaschinen differenziert werden konnte.

2 Schilddurchmesser

Im Bild 1 ist eine Gesamtdarstellung der Entwicklung des Schilddurchmessers über einen Zeitraum von 1869 bis 2019 für verschiedene Typen von Schildmaschinen abgebildet. Grundlage für die Darstellung sind 271 Projekte. Deutlich zu erkennen ist, dass seit den 1990er-Jahren die Schilddurchmesser immer größer werden. Hervorzuheben sind hier die Projekte Tuen Mun - Chek Lap Kok Link

Insbesondere seit den 1970er-Jahren sind die Marktanteile des maschinellen Tunnelbaus gegenüber dem konventionellen Tunnelbau gewachsen. Immer größere Schildmaschinen werden realisiert. Auf der Grundlage von bis zu 274 Projekten wurden die Parameter Schilddurchmesser, Antriebsleistung, Drehmoment und Vortriebsleistung von Schildmaschinen ausgewertet. Dieser Artikel zeigt die zeitliche Entwicklung dieser Parameter auf.

Tunnelbau • Maschineller Tunnelbau • Lockergestein • Entwicklung

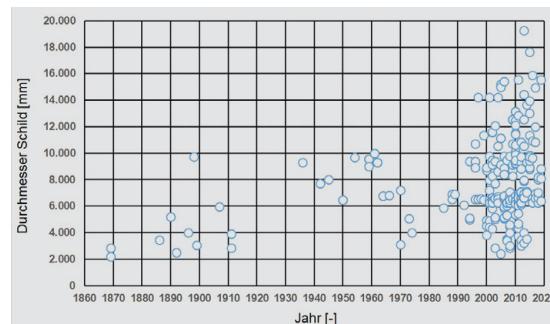


Bild 1: Zeitliche Entwicklung des Schilddurchmessers (271 Projekte)

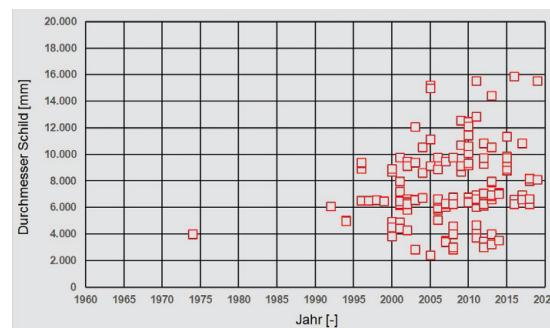


Bild 2: Entwicklung des Schilddurchmessers von erddruckgestützten Schildmaschinen (166 Projekte)

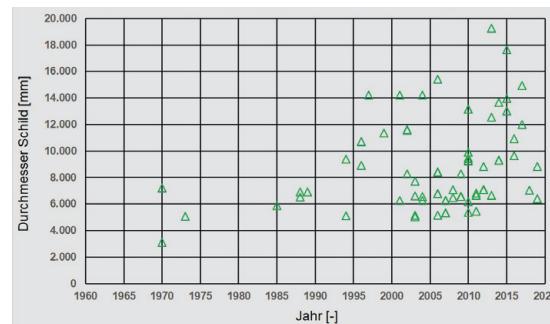


Bild 3: Entwicklung des Schilddurchmessers flüssigkeitsgestützter Schildmaschinen/Mixschilder (75 Projekte)

in Hongkong mit 17.630 mm Schilddurchmesser oder der Orlovskij-Tunnel in St. Petersburg mit 19.250 mm Schilddurchmesser. **Bild 2** zeigt die Entwicklung des Schilddurchmessers über einen Zeitraum von 1974 bis 2019 für erddruckgestützte Schildmaschinen und **Bild 3** über einen Zeitraum von 1970 bis 2019 für flüssigkeitsgestützte Schildmaschinen/Mixschilde. Zurückzuführen ist die Vergrößerung des Schilddurchmessers auf die Anforderungen, z.B. mehrspurige Straßentunnel oder die Anordnung mehrstöckiger Fahrebenen. Aus den größer werdenden Schilddurchmessern resultieren größere Antriebsleistungen und Drehmomente für das Schneidrad, wie die nachfolgenden Auswertungen bestätigen.

3 Antriebsleistung

Die Antriebsleistung einer Schildvortriebsmaschine ist als die vom Schneidradantrieb beim Bodenabbau erzeugte Gesamtleistung definiert. Bei der Betrachtung der Entwicklung der Antriebsleistung für den Zeitraum von 1986 bis 2019 (**Bilder 4 und 5**) ist ein einheitliches Bild zu erkennen. So bewegt sich beim Großteil der Projekte die Antriebsleistung bis ca. 4.000 kW. Darüber hinaus gibt es vereinzelte Projekte z.B. M-30 By-Pass Sur Túnel Norte in Madrid oder Galleria Sparvo zwischen Bologna und Florenz mit einer Antriebsleistung von 12.000 kW.

4 Drehmoment

Um das Bodenmaterial an der Ortsbrust zu lösen, ist ein passendes Drehmoment für das Schneidrad erforder-

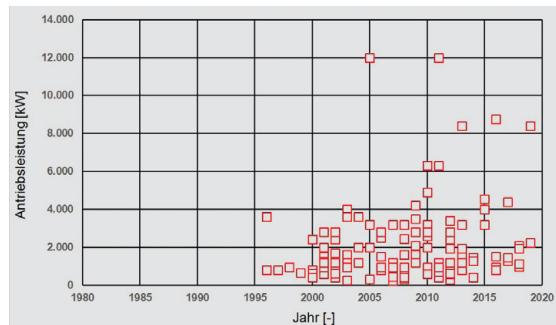


Bild 4: Entwicklung der Antriebsleistung erddruckgestützter Schildmaschinen (147 Projekte)

lich. Das Schneidraddesign bzw. die Abbauwerkzeuge haben dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Größe des erforderlichen Drehmoments. Bei der Betrachtung der Entwicklung des Drehmoments zeichnet sich ein ähnliches Bild wie bei der Antriebsleistung ab. Auch hier liegt der Großteil der Projekte in einem Bereich bis ca. 40.000 kNm (**Bilder 6 und 7**). Darüber hinaus gibt es Projekte, z. B. M-30 By-Pass Sur Túnel Norte in Madrid und Santa Lucia bei Florenz, mit einem Drehmoment von 95.923 kNm bzw. 101.296 kNm.

5 Vortriebsleistung

Die Angabe der Vortriebsleistung bzw. der aufgefahrenen Meter Tunnel am Tag gestaltet sich sehr komplex, da hier verschiedene Faktoren zu berücksichtigen sind. Zum Beispiel ist zu berücksichtigen, ob im Projekt der Vortrieb in einer 8-Stunden-Schicht oder im Durchlaufbetrieb 24 Stunden stattgefunden hat. Ebenso spielt die Geologie eine entscheidende Rolle. Je nach Verschleiß der Abbauwerkzeuge sind diese zu wechseln und verursachen dadurch planmäßig Stillstandszeiten. Des Weiteren kann es zu Störfällen mit unvorhersehbaren Stillstandszeiten kommen.

In den **Bildern 8 bis 10** sind sowohl Mittelwerte als auch Extremwerte dargestellt. Die mittleren Vortriebsleistungen wurden anhand von Vortriebsabschnitten ohne Störfälle bzw. unvorhersehbare Stillstandszeiten ermittelt. Bei den Extremwerten handelt es sich um kurze Vortriebsabschnitte, in denen Spitzenwerte erreicht wurden. Bei den Werten wurde nicht berücksichtigt

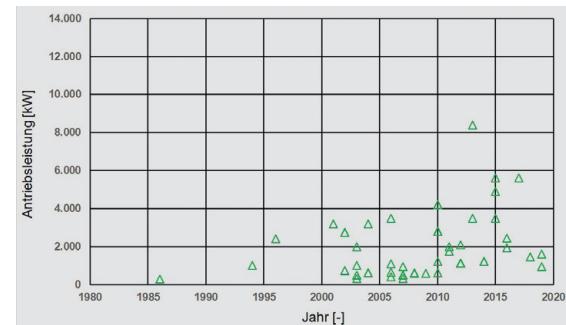


Bild 5: Entwicklung der Antriebsleistung flüssigkeitsgestützter Schildmaschinen/Mixschilde (51 Projekte)

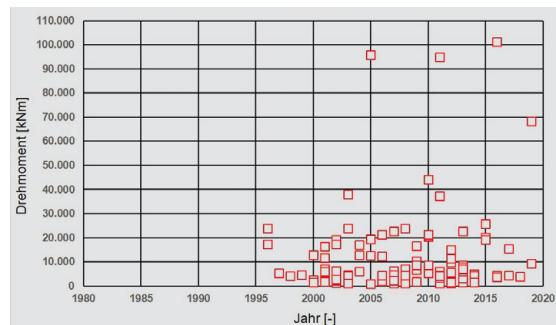


Bild 6: Entwicklung des Drehmoments erddruckgestützter Schildmaschinen (139 Projekte)

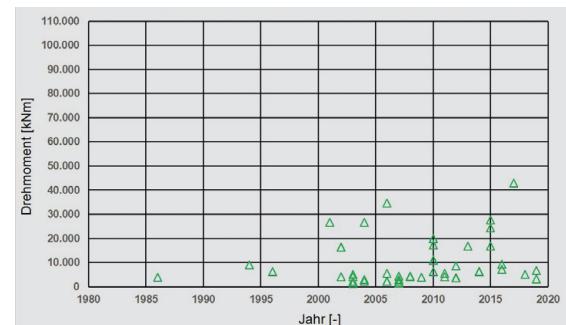


Bild 7: Entwicklung des Drehmoments flüssigkeitsgestützter Schildmaschinen/Mixschilde (49 Projekte)

bzw. umgerechnet, ob die Tagesleistung innerhalb einer 8-Stunden-Schicht oder im Durchlaufbetrieb aufgefahren wurde. Die dargestellten Werte sollen nicht als Grundlage einer Bauzeitenkalkulation dienen, sondern vielmehr die Bandbreite aufzeigen.

In den Pionierjahren des maschinellen Tunnelbaus ist deutlich zu erkennen, dass nur geringe Vortriebsleistungen erzielt wurden (**Bild 8**). Ab den 1950er-Jahren steigen die Vortriebsleistungen an und ab 1995 sind sehr deutlich sehr hohe Vortriebsleistungen als Spitzenwerte zu verzeichnen. Beim Vergleich der erddruckgestützten Schildmaschinen mit den flüssigkeitsgestützten Schildmaschinen/Mixschilden scheinen mit den erddruckgestützten Schildmaschinen höhere Spitzenvortriebsleistungen möglich zu sein (**Bilder 9 und 10**).

6 Abhängigkeiten

Wie im Kap. 2 ausgeführt, resultieren aus den größer werdenden Schilddurchmessern größere Antriebsleistungen und Drehmomente für das Schneidrad. In den **Bildern 11 und 12** ist die Abhängigkeit der Antriebsleistung vom Durchmesser des Schildes für erddruckgestützte Schildmaschinen bzw. flüssigkeitsgestützte Schildmaschinen/Mixschilder dargestellt. Die Abhängigkeit des Drehmoments des Schneidrads vom Durchmesser des Schildes ist in den **Bildern 13 und 14** für erddruckgestützte Schildmaschinen bzw. flüssigkeitsgestützte Schildmaschinen/Mixschilder abgebildet. In den **Bildern 11 bis 14** zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Größe des Schilddurchmessers und der Antriebsleistung bzw. dem Drehmoment des Schneidrads.

Die Abhängigkeiten lassen sich durch verschiedene Regressionsfunktionen beschreiben, die in den **Bildern 11 bis 14** dargestellt sind. Ebenso ist in den **Bildern 11 bis 14** das Bestimmtheitsmaß R^2 angegeben, das ein Gütemaß für die Regressionsfunktion ist.

7 Fazit

In den letzten 25 Jahren ist eine sehr starke Weiterentwicklung der technischen Leistungsfähigkeit der Schildmaschinen zu verzeichnen. Die Auswertungen zeigen, dass die Entwicklungen nicht gegen einen Ma-

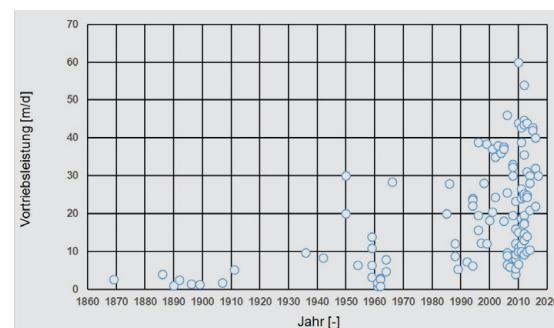


Bild 8: Entwicklung der Vortriebsleistung (115 Projekte)

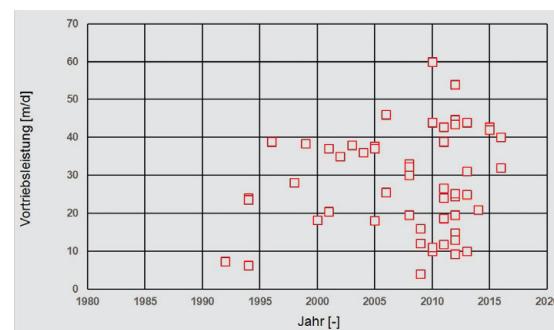


Bild 9: Entwicklung der Vortriebsleistung erddruckgestützter Schildmaschinen (55 Projekte)

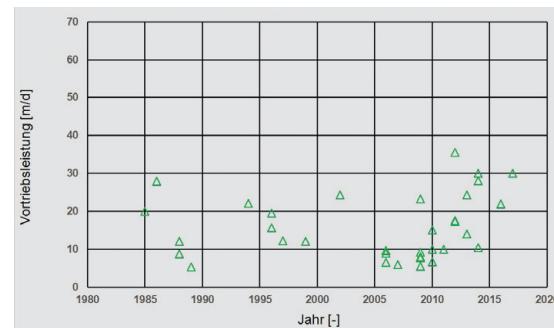


Bild 10: Entwicklung der Vortriebsleistung flüssigkeitsgestützter Schildmaschinen/ Mixschilder (34 Projekte)

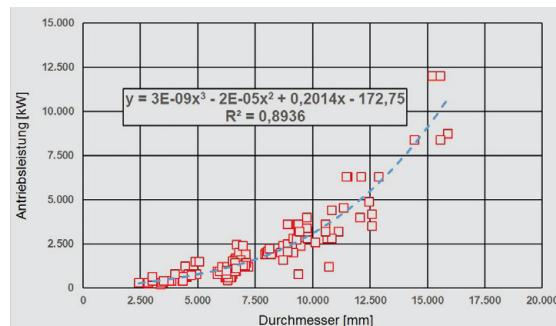


Bild 11: Antriebsleistung erddruckgestützter Schildmaschinen abhängig vom Schilddurchmesser (147 Projekte)

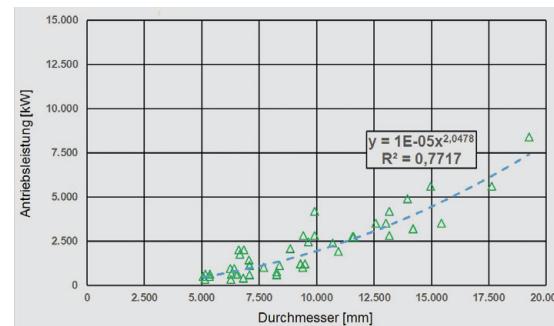


Bild 12: Antriebsleistung flüssigkeitsgestützter Schildmaschinen/ Mixschilder abhängig vom Schilddurchmesser (50 Projekte)

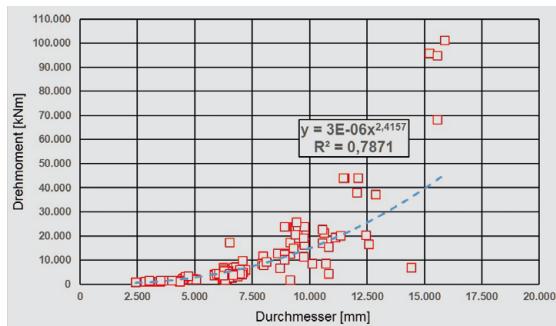


Bild 13: Drehmoment erddruckgestützter Schildmaschinen abhängig vom Schilddurchmesser (139 Projekte)

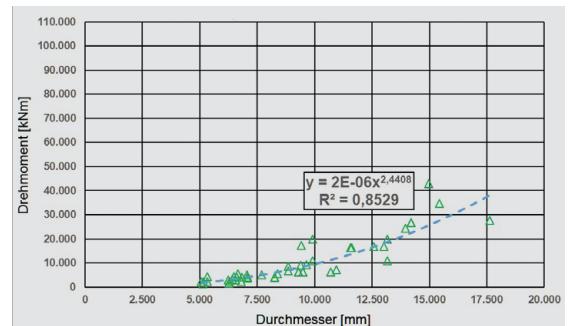


Bild 14: Drehmoment flüssigkeitgestützter Schildmaschinen/Mixshilde abhängig vom Schilddurchmesser (48 Projekte)

ximalwert zu konvergieren scheinen. Eine technische Grenze scheint daher noch nicht erreicht zu sein. Die Fachwelt darf daher gespannt auf die Entwicklungen der nächsten Jahre blicken.

8 Literatur

- [1] Maidl, B.; Herrenknecht, M.; Maidl, U.; Wehrmeyer, G.: Maschineller Tunnelbau im Schildvortrieb, 2. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, 2011.
- [2] Maidl, B.: Faszination Tunnelbau: Geschichte und Geschichten - ein Sachbuch, Ernst & Sohn Verlag, 2018.
- [3] Herrenknecht AG: Barcelona Metro Line 9, <https://www.herrenknecht.com/de/referenzen/referenzdetail/barcelona-metro-line-9/>, Abfragedatum: 28.05.2019.

Bayar Bayrakci, B. Eng.

studierte im Masterstudiengang Bauingenieurwesen an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt.



Kontakt: bayar.bayrakci@stud.h-da.de

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt

vertreibt im Fachbereich Bauingenieurwesen an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt die Forschungs- und Lehrgebiete Geotechnik und Tunnelbau.



Kontakt: juergen.schmitt@h-da.de

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Burbaum

vertreibt im Fachbereich Bauingenieurwesen an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt die Forschungs- und Lehrgebiete Geotechnik und Tunnelbau.



Kontakt: ulrich.burbaum@h-da.de

Großprojekt Brenner Basistunnel – effiziente Logistik zur Materialbeschaffung

Würth Group, Künzelsau, Deutschland

Der Brenner Basistunnel (BBT) zwischen Österreich und Italien soll 2027 eröffnet werden. Der Brenner ist der meistbefahrene Alpenpass. Auf dem europäischen Handelsweg von Skandinavien bis ans Mittelmeer verbindet der BBT das österreichische Bundesland Tirol mit dem italienischen Südtirol. 40 % des Güterverkehrs, der die Alpen überquert, wird über diese Route abgewickelt. Die Fahrt über die Schienen der 150 Jahre alten Brennerbahn ist beschwerlich.

Die neu entstehende, 64 km lange Flachbahn soll den Güterverkehr auf die Schiene bringen und die Brennerstraße entlasten (**Bild 1**). Aktuell dringen die Tunnelbauexperten von vier Stellen aus – zwei in Österreich und zwei in Italien – in den Alpenkamm vor. Mit riesigen Bohrmaschinen und Sprengladungen kämpfen sie sich durch Quarzphyllit, Schiefer, Gneis und Granit (**Bilder 2 und 3**). Wenn Ende 2027 die neue Verbindung ihrer Bestimmung übergeben wird, rollen Güterzüge mit 120 km/h durch die Röhre, Personenzüge erreichen gar eine Spitzengeschwindigkeit von 250 km/h. Von Innsbruck bis Franzensfeste bzw. Fortezza benötigt man dann nur noch 25 Minuten Fahrzeit. Von den rund zehn Mrd. € Baukosten übernehmen Österreich und Italien je 30 %, 40 % steuert die EU bei.

Effiziente Materialbeschaffung

Würth Italien betreut in Franzensfeste achtzig Kunden – Großunternehmer sowie kleine und größere Subunternehmer. Um ganz nah am Kunden zu sein, hat Würth Italien, obwohl die Zentrale nur eine Stunde vom Franzensfester Baulos entfernt liegt, im Juni 2017 direkt an der Baustelle einen eigenen, sogenannten Bauloc Shop eröffnet. Solch ein Shop (**Bild 4**) orientiert sich stets am Bedarf des jeweiligen Baufortschritts. Rund 1.500 verschiedene Produkte liegen dort für die Kunden bereit – von Verbindungselementen bis zur Dübeltechnik, von Kfz-Teilen bis zur Messtechnik oder vom Baubedarf bis zum Arbeitsschutz ausgewählt mithilfe der vorhandenen Erfahrungen im Tunnelbau. Drei Mitarbeiter kümmern sich mittlerweile Vollzeit um dieses Projekt. Der Verkäufer hält Dauerkontakt zu den Kunden und liefert auch selbst direkt aus, einer ist für die Logistik zuständig, einer betreut das Backoffice. Auf eine zügige Abwicklung kommt es in der Regel besonders an.

Von der anderen Seite des Bergs verfolgte Würth Österreich die Arbeit der italienischen Kollegen mit großem Interesse, um ebenfalls die BBT-Baustelle von

Im Brenner Basistunnel entsteht die längste unterirdische Bahntrasse der Welt. Die Würth Group bietet den an diesem Großprojekt beteiligten Unternehmen Logistikleistungen für eine effiziente Materialbeschaffung.

Tunnelbau • Großprojekt • Logistik • Zulieferer • Service • Effizienz • Befestigungstechnik

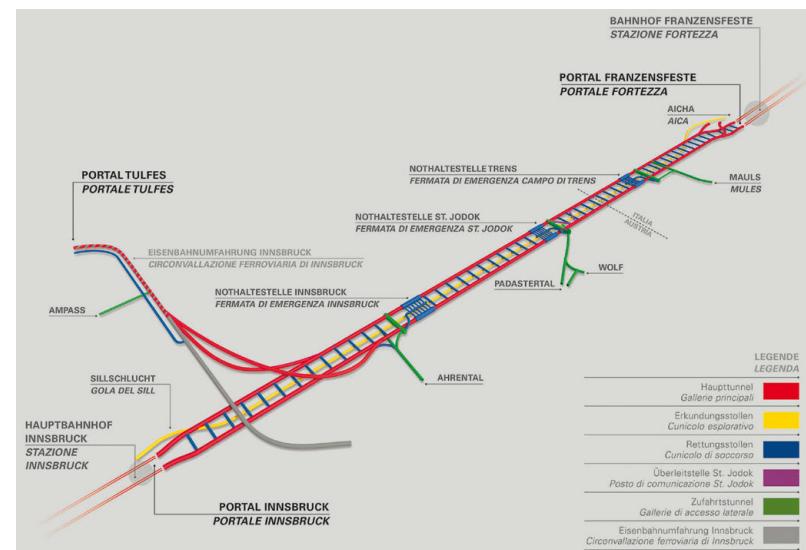


Bild 1: BBT – Übersicht des Tunnelsystems

Quelle: BBT SE



Bild 2: BBT – Mineure bei der Arbeit

Quelle: BBT SE

Baustellen-Projektmanagement

Mit einem innovativen Servicekonzept verfolgt Würth das Ziel, Bauprojekte von der Planungs-, über die Ausschreibungs und Bauphase bis hin zur Fertigstellung zu begleiten und zu unterstützen. Verschiedene Module und Systeme werden kundenindividuell zu einer projektbezogenen Gesamtlösung kombiniert. Dazu zählt die individuelle Beratung während der Planung und der Ausführungsphase. Ein wesentliches Element des Baustellen-Projekt-Managements sind sogenannte Bauloc Stationen und Magazine. Das sind spezielle Container, die direkt vor Ort aufgestellt werden. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass Arbeitsprozesse nicht wegen fehlender Kleinteile oder unpassendem Werkzeug unterbrochen werden müssen. So lassen sich Verzögerungen im Bauablauf und daraus resultierende Kosten vermeiden.

Als zusätzliche Dienstleistung für Großbaustellen gibt es zudem Shops vor Ort und einen 24-Stunden-Notfallservice. Diese Angebote sollen den zeitlichen, personellen und finanziellen Aufwand der Kunden für die Materialbeschaffung reduzieren. Das Team übernimmt beispielsweise auch die Konstruktion einzelner Baugruppen auf Basis der Baupläne und den statischen Nachweis. Das Baustellen-Projekt-Management umfasst auch das Bereitstellen vorkommissionierter Waren, arbeitsplatzbezogener Entnahmesysteme sowie abschließ- und rollbarer Serviceboxen.



Bild 3: Tübbinglager

Quelle: BBT SE

österreichischer Seite aus mit Arbeitsmaterial zu versorgen. Im Herbst letzten Jahres begannen die Arbeiten am neuen Hauptbaulos Pfons-Brenner, wo allein eine Mrd. € verbaut werden sollen. Anfang Oktober 2018 wurde ein neuer Bauloc Shop eröffnet, direkt an der Zufahrtsstraße zur Baustelle, Parkplätze sind ausreichend vorhanden. Mehr als 3.000 Produkte, auf 350 m² Verkaufsfläche präsentiert, können im Fels verbaut oder

zur Instandhaltung von Maschinen eingesetzt werden. Auch hier wird nicht nur verkauft, sondern direkt ausgeliefert.

2022 beginnt der Innenausbau der unterirdischen Bahntrasse. Gefragt sind dann ganz andere Spezialisten und somit auch andere Produkte. Das Projekt Brenner Basistunnel ist eine Chance, aber auch ein Abenteuer. So ist auf italienischer Seite eine 24-Stunden-Verkaufsniederlassung vorgesehen, weil auf der Tunnelbaustelle im Berg rund um die Uhr gearbeitet wird.

Quellenverzeichnis

- [1] Würth Group: Der Berg ruft. Onlinemagazin Kaleidoskop. Dezember 2018. Online: <https://www.kaleidoskop-wuerth.com/bbt/>
- [2] Würth Group: Baustellen-Projekt-Management. Fachpressmitteilung

Würth Group

Das Würth Baustellen-Projekt-Management bietet Planungsleistung, Schulungen, Beratung und Baustellenlogistik.

Kontakt:

baustelle@wuerth.com

www.wuerth.de



mago-pack

mago-Tunnelbau-Spezialplatten
Lastverteilungsplatten
für den Tunnelbau

mago-tunneling-specialboards
Load distribution plates
for tunnel constructions

Weitere Informationen, Prüfzertifikate und -zeugnisse: | More details and test certificates:
TU@mago-pack.de ■ T +49 (0) 441 219 855-0 ■ F-29

Erfolgreich eingesetzt:
Successfully used:

- Katzenbergtunnel, NBS Karlsruhe-Basel
- City-Tunnel, Leipzig
- Finnetunnel, Weimar
- Kaiser-Wilhelm-Tunnel, Cochem
- U-Bahn-Linie 4, Hamburg
- Brenner-Zulaufstrecke Nord
- Sluiskiltunnel, Terneuzen (NL)
- Stadtbahntunnel, Karlsruhe
- Boßlertunnel, NBS Wendlingen-Ulm
- Koralmstunnel KAT 3, Steiermark
- Tunnel Rastatt, NBS Karlsruhe-Basel
- Cityringen, Erweiterung Metro Kopenhagen
- Metro Tel Aviv, Israel
- U5 EUROPA-Viertel, Frankfurt/Main
- Woluwe Regenwasser-Rückhaltebecken, Brüssel

Tunnelbau trifft Bergbau – Besondere technische Herausforderungen bei der Projektierung und Planung des Grubenwasserkanals Ibbenbüren

Dipl.-Ing. Dennis Edelhoff und Dr.-Ing. Carsten Peter, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Bochum, Deutschland
 Dipl.-Ing. Jürgen Kunz und Dipl.-Ing. Heinz-Dieter Pollmann, RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, Ibbenbüren, Deutschland

Veranlassung und Planungsziele

Im Tecklenburger Land betreibt die RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH das nördlichste Steinkohlenbergwerk Deutschlands. Die Lagerstätte war in zwei Bereiche unterteilt: Das bereits in den 1970er-Jahren stillgelegte Westfeld und das bis Ende 2018 aktive Ostfeld.

Beginnend ab 1979 erfolgte der planmäßige Anstieg des Grubenwassers im Westfeld, welcher bis 1982 andauerte. Seit Erreichung des Niveaus von +63 mNN wird das Grubenwasser des Westfelds durch den Dickenberger Stollen über den Stollengraben in die bestehende Anlage zur Grubenwasseraufbereitung (AzGA) Gravenhorst geleitet und weiter in die Hörsteler Aa entwässert. In der Anlage zur Grubenwasseraufbereitung erfolgt eine Eisenfällung durch Belüftung und Neutralisation mittels Kalkmilch mit anschließender Sedimentation.

Die Grubenwasserhaltung des bis Ende 2018 aktiven Ostfelds erfolgt über die Oeynhausenschächte und den Ibbenbürener Förderstollen zu den Sedimentationsteichen in Püsselbüren. Im Anschluss erfolgt die

Die ARGE Grubenwasserkanal Ibbenbüren plant den Bau eines Grubenwasserkanals für das stillgelegte Steinkohlenbergwerk der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH. Dieser Artikel erläutert die technischen Herausforderungen, die mit maschinellem Tunnelvortrieb und Tübbingausbau bewältigt werden sollen.

Tunnelbau • Bergbau • Grubenwasserhaltung • Kanalbau • TBM • Planung

Ableitung in die Ibbenbürener Aa. Das Bild 1 stellt die Entwässerungssituation schematisch dar.

Die Planungen im Rahmen der Schließung des Bergwerks Ibbenbüren sehen den Beginn des Anstiegs des Grubenwassers Ende 2019 vor. Auf dem Niveau von +63 mNN soll ab Ende 2023 das Grubenwasser angenommen und über den neu zu errichtenden Grubenwasserkanal gesammelt und im Freigefälle der Anlage zur Grubenwasseraufbereitung Gravenhorst, in der derzeit ausschließlich das Wasser aus dem Westfeld be-

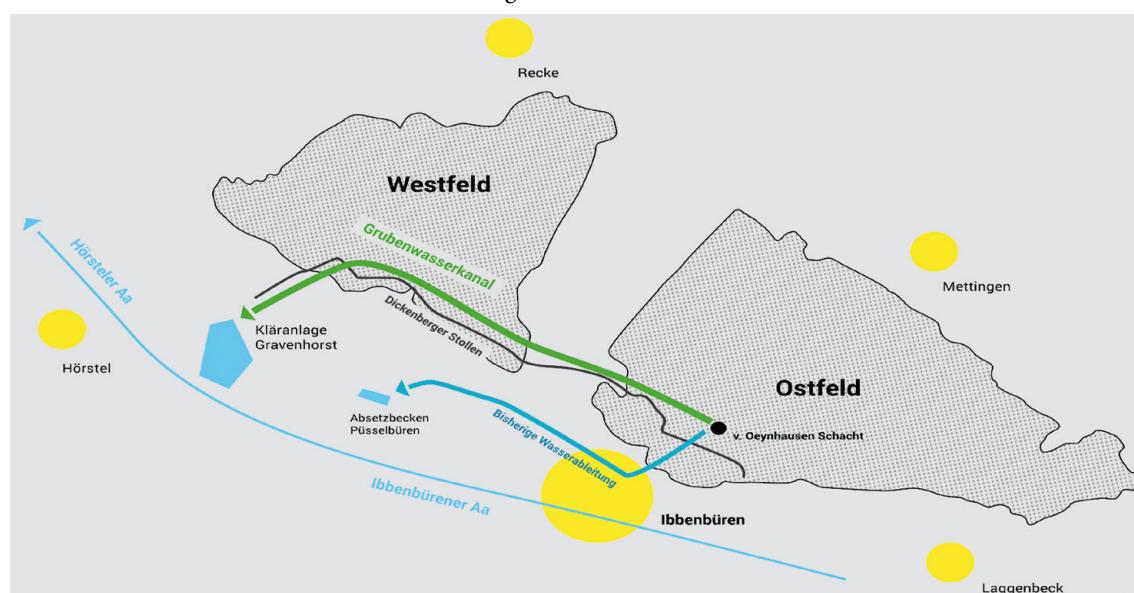


Bild 1: Übersicht über die aktuelle und zukünftige Entwässerung

Quelle: RAG

handelt wird, zugeführt werden. Um das Niveau ohne Aufstau über die gesamte Länge des Grubenwasserkanals zu gewährleisten, wird der Ausbau dränierend über planmäßige Durchdringungen in Kombination mit einer wasserdurchlässigen Hinterfüllung ausgebildet.

Im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchungen und Vorplanung der RAG wurde ein maschineller Vortrieb mit Tunnelvortriebsmaschine und Tübbingausbau als Vorfahrtlösung definiert. Im Spätsommer 2018 wurde die ARGE Grubenwasserkanal Ibbenbüren, bestehend aus den Ingenieurbüros Dorsch International Consultants GmbH (Offenbach), IMM Maidl & Maidl GmbH & Co. KG (Bochum) und Dr. Pecher AG (Erkrath), mit den Planungsleistungen für den Grubenwasserkanal beauftragt.

Geologie und Hydrologie

Auf Basis der im Vorfeld durchgeführten Erkundungsbohrungen und der Kartierung im Rahmen des Bergbaus erfolgt die Auffahrung des Grubenwasserkanals grundsätzlich im Festgestein des Karbongebirges mit unterschiedlichen Anteilen von im Wesentlichen Kalk/Mergel, Sandstein, Konglomerat und Sandschieferton. Die Gebirgsfestigkeiten liegen im Mittel bei 65 MPa mit Spitzenwerten von rund 140 MPa. Aufgrund des inhomogenen Baugrunds muss jederzeit mit Klüften und Kluftkommunikation gerechnet werden. Nicht anzunehmen, aber auch nicht völlig auszuschließen ist auch das Auftreten von in den Kohleflözen gebundem Methangas (CH_4).

Die Mineralisation spielt hinsichtlich Dränagefähigkeit und Revisionsaufwand im Betrieb sowie Dauerhaftigkeitsaspekten eine wichtige Rolle. Das bis dato am Mundloch des Stollens zur Entwässerung des stillgelegten Westfelds beprobte Grubenwasser weist hohe Konzentrationen von Sulfat und Eisen auf. Das tiefen Grubenwasser des Ostfelds ist derzeit noch durch hohe Chloridgehalte dominiert. Mit Anstieg des Grubenwasserspiegels auf das geplante Niveau ist ein dem Westfeld ähnliches Wasser zu erwarten mit anfangs höheren Konzentrationen, welche sich über einen mehrjährigen Zeitraum deutlich reduzieren werden. Aufgrund der festgestellten Inhomogenität des Baugrunds sind Standwasserbereiche und je nach Lage auch größere Druckhöhen (bis ca. 2 bar) möglich.

Seit Anfang 2019 läuft ein ergänzendes Baugrunderkundungsprogramm mit rund 20 Bohrungen, mit dem die bisherigen Informationen einerseits besichert und andererseits zusätzliche, u. a. verfahrenstechnische Aspekte analysiert werden sollen.

Bauwerke

Zu den Bauwerken gehören neben dem Grubenwasserkanal ein Mittelschacht, ein Auslaufbauwerk und der aus dem Bergbaubetrieb vorhandene von Oeynhausen-Schacht I. Der Schacht 1 (von Oeynhausen Schacht I) bildet den Anschlusspunkt des Grubenwasserkanals, da

hier die in das Grubengebäude des Ostfelds eingebauten Wasserhaltungen enden. Bisher förderten die Pumpenanlagen zur Absenkung des Grubenwasserspiegels zu dem in Schacht 1 auf 85 mNN beginnenden Ibbenbürener Förderstollen. Der Schacht 1 weist einen teilweise mit Stahlbetontübbings, teilweise mit Sandsteinmauerwerk ausgebauten Innendurchmesser von 4,40 m auf und soll Ende 2019 teilverfüllt werden (Hängedamm). Hierbei werden Hüllrohre für den Aufstieg des Grubenwassers eingebaut.

Ein neu zu erstellender Mittel- bzw. Zwischen schacht wurde im Bereich des Bockradener Grabens vorortet. Er liegt damit etwa in der Mitte des herzustellenden Kanals. Die Schachtteufe beträgt ca. 70 m bis zum projektierten Grubenwasserkanal. Die Abmessungen (Kreisquerschnitt) der Baugrube ergeben sich aufgrund von Vortriebsaspekten zu rund 30 m Durchmesser. Die Konstruktion der Baugrube stellt hohe Anforderungen an die Spezialtiefbauarbeiten (u. a. gestaffelter Bohrpfahl- und Schlitzwandbau). Innerhalb der Baugrube wird nach Abschluss der Vortriebsarbeiten ein Betriebs schacht errichtet.

Derzeit wird in Abhängigkeit des Vortriebskonzepts überprüft, wie eine Reduzierung der Baugrubenabmes sungen erfolgen kann und ob eine Durchfahrt im verfüllten bzw. noch nicht gänzlich ausgehobenen Zu stand möglich ist. Hier müssen die betrieblichen Aspekte und auch sicherheitstechnische Belange berücksichtigt werden.

Trasse und Gradienten

Für den Grubenwasserkanal wurde ursprünglich eine Trasse entwickelt, die, beginnend mit einem Anschluss an das Grubengebäude über die Schächte 1 und 2 der Zeche Oeynhausen, nahezu gradlinig auf einer Länge von ca. 6 km in nordwestliche Richtung und im Weiteren in Richtung Südwesten bis zum Stollengraben abknickt. Auf einer Gesamtlänge von ca. 7,2 km war der Gruben wasserkanal angelehnt an den Dickenberger Stollen.

Die ursprüngliche Aufgabenstellung umfasste im Zusammenspiel mit der Weiterführung der Trassen-/ Gradientenplanung die Durchfahrt von Alten Männern (ehemalige Abbaubereiche; Kohleflöze, die je nach Abbauverfahren verbrochen oder noch teilweise offen sind, ggf. mit vorhandenem Verbaumaterial und Wasser), um die Entwässerung dieser Bereiche sicherzustellen. Die relevanten alten Abbaubereiche befinden sich in den Flözen Dickenberg, Glücksburg, Buchholz sowie Flottwell. Im Bild 2 ist die Verortung der Flöze dargestellt.

Im Zusammenwirken mit der RAG wurde eine Optimierung der ursprünglichen Trasse durchgeführt, bei der die Alten Männer nicht mehr direkt durchörtert werden. Die hierfür ursächlichen Randbedingungen werden im Abschnitt zum Bauverfahren beschrieben.

Um dennoch die Wasserfassung aus diesen Bereichen zu gewährleisten, wird eine nachträgliche Verbindung aus dem aufgefahrenen Grubenwasserkanal heraus

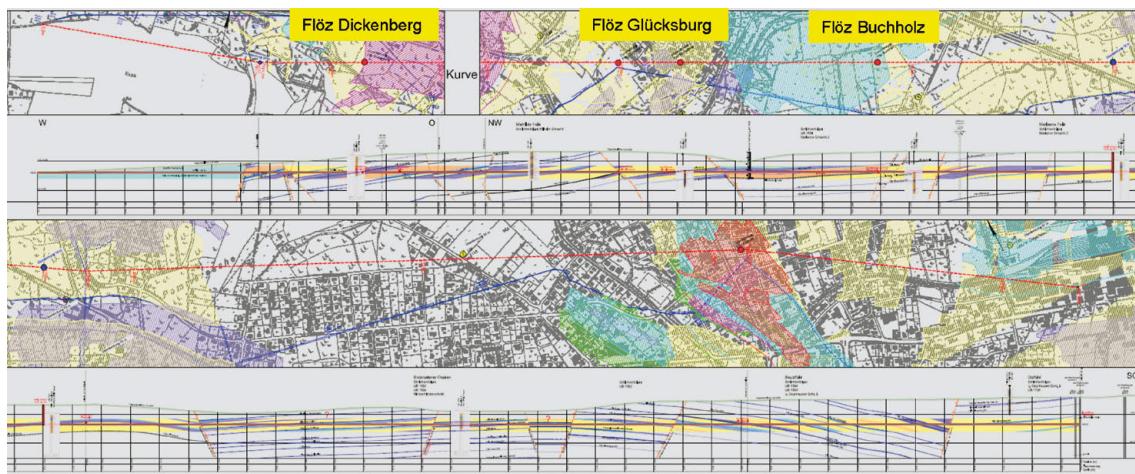


Bild 2: Übersicht Flöze/Alte Männer

Quelle: RAG

hergestellt. Neben der Trassenentwicklung wurde die Gradienten des Grubenwasserkanals so festgelegt, dass eine Entwässerung im Freigefälle mit 0,25 bis 0,050 % erfolgt.

Bauverfahren des Grubenwasserkanals und Kanalquerschnitt

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden die Maschinentypen Gripper-TBM (rotierender Bohrkopf, jedoch kein Schild, Abstützung mittels Hydraulikpratzen an der Gebirgslaibung, Sicherung mittels Spritzbeton,

Ausbaubögen und Bewehrungsmatten) und TBM-S (Schildmaschine mit Materialaustrag über Förderband, keine aktive Stützung der Ortsbrust) sowie Tunnelvortriebsmaschinen/Schildmaschinen mit Flüssigkeits- und Erddruckstützung diskutiert. Im Zuge der weitergehenden Entwurfsplanung wurden die Typen Gripper-TBM und TBM-S aufgrund der prognostizierten Grubenwassersituation verworfen. Die Schildmaschinentypen mit Flüssigkeitsstützung und -förderung (im Allgemeinen Mix-/Hydroschild) sowie mit Erddruckstützung und Schneckenförderung wurden aufgrund ihrer Eignung für wasserführende Geologien



Zentrale
Technologiezentrum a. d. Ruhr-Universität
Universitätsstraße 142, D-44799 Bochum
Tel. +49 (0) 234 / 9 70 77 - 0
Fax +49 (0) 234 / 9 70 77 - 88
info@imm-bochum.de
www.imm-bochum.de

Kompetenz im Tunnelbau und Ingenieurbau

- Straßentunnel
- Eisenbahntunnel
- U-Bahntunnel
- Rohrvortrieb / grabenloser Leitungsbau
- Kavernen / Bergbauschächte
- Bahnhofsbauwerke
- Feste Fahrbahn
- Sanierung



- Planung
- Berechnung
- Prüfung
- Beratung
- Gutachten (IHK)
- Bauüberwachung
- Processcontrolling
- Qualitätssicherung

Wir stehen für Qualität und Erfahrung – seit 40 Jahren!



Bild 3: Tunnelvortriebsmaschine und Lagerplatz für Tübbingsegmente (beispielhaft)

Quelle: IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG

weitergehend analysiert. Bei beiden Schildmaschinentypen erfolgt der Ausbau mit Tübbingringen. Beispieldhaft sind eine Tunnelvortriebsmaschine und Tübbingsegmente im **Bild 3** dargestellt.

Prinzipien Schildmaschine

Das Prinzip der Hydro-/Mixschilde beruht auf der Stützung der Ortsbrust mittels einer Flüssigkeit, in der Regel einer Bentonit-Wasser-Suspension, deren Mischungsverhältnis sich auch unter Zugabe weiterer Additive unter anderem danach richtet, wie grob- bzw. feinporig die zu durchfahrenden Böden sind. Diese Flüssigkeit, in der sich das Schneidrad bewegt, wird in die mittels einer Druckwand vom Arbeitsraum des Schildes getrennte Abbaukammer gepumpt und mit Druck beaufschlagt (Zweikammersystem). Dies geschieht in der Regel über eine Luftblase, die hinter einer Tauchwand, die die Abbaukammer teilt, auf den Flüssigkeitsspiegel drückt. Das an der Ortsbrust abgebaute Material wird mit der Stützflüssigkeit vermischt, über Rohrleitungen an die Oberfläche gefördert (hydraulische Förderung) und der Separierung zugeführt. Die separierte und regenerierte Stützflüssigkeit wird dem Förderkreislauf wieder zugegeben [1, 2].

Bei einer Schildmaschine mit Erddruckstützung befindet sich ein plastischer Erdbrei in der Abbaukammer, der sich im Gleichgewichtszustand zwischen der Beaufschlagung durch den Vortriebsdruck der Schildmaschine einerseits und der Einwirkung des Erd- und Wasserdrucks andererseits befindet. Dieser Zustand ist erreicht, wenn bei konstantem Vortriebsdruck keine weitere Verdichtung des Erdbreis mehr auftritt. Erhöhungen des Drucks in der Abbaukammer und eine weitere Verdichtung des Erdbreis und dadurch des anstehenden Bodens können zu Hebungen der Oberfläche, zu Verringerungen des Drucks, zum Nachdrängen des anstehenden Bodens und zu Senkungen der Oberfläche führen. Die daraus resultierende Notwendigkeit eines permanenten Abgleichs des Vortriebsdrucks und der Abförderung von Material aus der Abbaukammer, für gewöhnlich mittels eines Schneckenförderers, stellt hohe Anforderungen an die messtechnische Überwachung des Systems [1, 2].

Durchfahrung der Alten Männer

In der Detailanalyse der Vorplanung und unter Zugrundelegung von Projektreferenzen musste die geplante Trassenführung mit direkter Durchfahrung von Alten Männern ausgeschlossen werden. Hierfür ursächlich ist die unklare Beschaffenheit der Alten Männer. Als grundsätzlich mögliche Zustände können offene und stabile Strukturen bis hin zu teilverbrochenen und teilverbauten Bereichen angetroffen werden. Darüber hinaus kann erschöpfliches und nicht erschöpfliches Grubenwasser in den Alten Männern anstehen. Die theoretischen Spaltweiten, d.h. Mächtigkeiten und Nachfall, können mit Werten bis zu 2,50 m aus dem Risswerk entnommen werden.

Im **Bild 4** ist eine dreidimensionale Durchdringungssituation des Grubenwasserkanals (ursprüngliche Trassierung) mit dem Flözbereich Glücksburg West und Ost dargestellt. Wie aus der Darstellung interpretierbar ist, können einige Situationen bei Durchfahrung der prognostizierten Alten Männer eintreten, die zu schwerwiegenden Störungen des Bauablaufs bis hin zur Aufgabe des Vortriebs führen können. Hierbei ist insbesondere eine große (offene) Spaltweite in Kombination mit Verbau und einem unerschöpflichen Wasserangebot zu nennen. Eine Begehung der Abbaukammer unter Druckluft Einsatz zur Bergung von Hindernissen oder Schadensbehebung ist ggf. nur eingeschränkt möglich. Ebenfalls ist keine ausreichende Stabilität für die TVM und Nachläufer bei Annäherung an die schräg einfallenden Alten Männer gewährleistet, sodass ein Einbruch bzw. Verkippen der Vortriebsmaschine möglich sind.

Unter Berücksichtigung der möglichen Störszenarien und in Abwägung möglicher Beherrschungsmaßnahmen (Injektionen, Vorauskundung, Vereisung etc.) sowie Berücksichtigung arbeitssicherheitsrelevanter Aspekte ist ein Vortrieb mit TVM (Schildmaschine) durch die Alten Männer mit erheblichen Risiken verbunden und wird daher planerisch nicht weiterverfolgt.

Im Rahmen der Vorüberlegungen wurden auch Untersuchungen zu alternativen Vortriebskonzepten durchgeführt, um der ursprünglichen Aufgabenstellung gerecht zu werden. Hierzu zählten Machbarkeitsanalysen zu einer konventionellen, bergmännischen Auffahrung im Spreng- oder Fräsvortrieb. Hinsichtlich möglicher Vortriebsleistungen und Geräteeinsatz wurden Gespräche mit Herstellern von Teilschnittmaschinen geführt und Schneidleistungsberechnungen durchgeführt. Ebenfalls fanden erste Gespräche mit einem Sachverständigen für Sprengtechnik zu den Besonderheiten von Sprengarbeiten in Bereichen von Kohlenflözen sowie Erschütterungsemissionen statt. Die ursprüngliche Intention, die Nachteile eines TVM-Vortriebs durch Alte Männer durch den größeren Auf Fahrquerschnitt im konventionellen Vortrieb ($\sim 30 \text{ m}^2$) und die damit auch verbundene, größere Flexibilität zu kompensieren, konnte nach weiterer Planungs- und Analysearbeit nicht bestätigt werden. Analog der TVM-Variante ist eine sichere Beherrschung einer gro-

ßen Spaltweite in Kombination mit einer unerschöpflichen Wasserspeisung mit ggf. großer Druckhöhe nicht gewährleistet.

Zur Realisierung des Grubenwasserkanals wurde die bereits dargestellte Trassenanpassung vorgeschlagen und im Zusammenwirken mit der RAG durchgeführt. Hierbei erfolgt keine direkte Durchörterung von Alten Männern, diese werden mit einem Abstand von ca. 8 bis 10 m überfahren. Der Anschluss dieser teilweise wasserführenden Bereiche erfolgt im Nachgang aus der Tübbingröhre heraus.

Mit der aktuellen Trassen- und Gradientenführung liegen die maschinen- und verfahrenstechnischen Herausforderungen in der Beherrschung von Klüften mit und ohne Wasserzufluss. Als grundsätzliche Verfahrensvariante ist derzeit ein kombiniertes Schildmaschinenkonzept mit Flüssigkeitsstützung/-transport und Erddruckstützung in der Detailanalyse. Hinsichtlich der grundsätzlich auf jedem Vortriebsmeter anzutreffenden Wasserzuflüsse – teilweise in großer Kubatur und mit großer Druckhöhe – ist nach derzeitigem Kenntnisstand ein geschlossener, druckdichter Kreislauf von der Abbaukammer bis nach über Tage zielführend.

Querschnittsgestaltung

Der Querschnittsgestaltung wurde von Anfang an große Aufmerksamkeit gewidmet, da sich hier wesentliche Abhängigkeiten für die Konstruktion, Dauerhaftigkeit und Wasserführung bündeln. Infolge eines Auffahrkonzepts mit Schildmaschine wird der Grubenwasserkanal aus Tübbingringen hergestellt, deren Detailausbildung (Anzahl Segmente, Bauteildicke, Bauteillänge etc.) derzeit noch erfolgt.

Ein Beispiel der zahlreichen, diskutierten und designten Konzepte enthält Bild 5. Die darin dargestellten Querschnitte berücksichtigen die getrennte Ableitung des Grubenwassers aus dem Ost- und Westfeld, bis sich die Mineralisation des Wassers aus dem Ostfeld dem des Westfelds angeglichen hat. Des Weiteren stellt die Abbil-

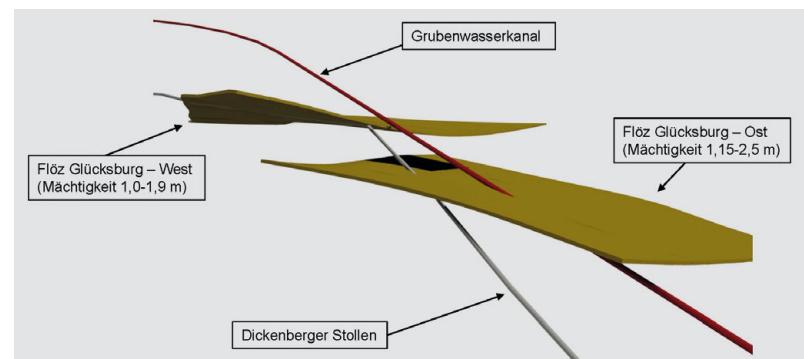


Bild 4: Durchfahrung Alter Mann (Schema)

dung den jüngsten Planungsstand zur Querschnittsdimension dar, mit der sich die bisherigen Überlegungen hinsichtlich eines DN 3200-Querschnitts aufgrund der Anforderungen aus Gerinneausbildung, Baulogistik und Sicherheitskonzept geändert haben (Vergroßerung auf DN 3600).

Neben der Wasserableitung im Kanalquerschnitt besteht ein planerischer Schwerpunkt in der Konstruktion und dauerhaften Ausbildung der Dränagebohrungen und der zwischen Tübbingring und Gebirge befindlichen Verfüllung (Einkornkies). Hier sind die Einwirkungen aus hohen Sulfat- und Eisenkonzentrationen zu berücksichtigen.

Betriebliche Anforderungen

Aufgrund der Tiefenlage und der großen Schachtabstände ergeben sich besondere Anforderungen an das Betriebskonzept.

Für die Begehung des Grubenwasserkanals ist eine entsprechende Bewetterung notwendig. Wenn möglich, sollte der Lufteintrag über die Schächte erfolgen und auf einen durchgehenden Lüftungskanal in der Strecke verzichtet werden. Die Anordnung und Bemessung der Lüftungsanlagen werden im Rahmen der Planung der technischen Ausrüstung weiter unter-

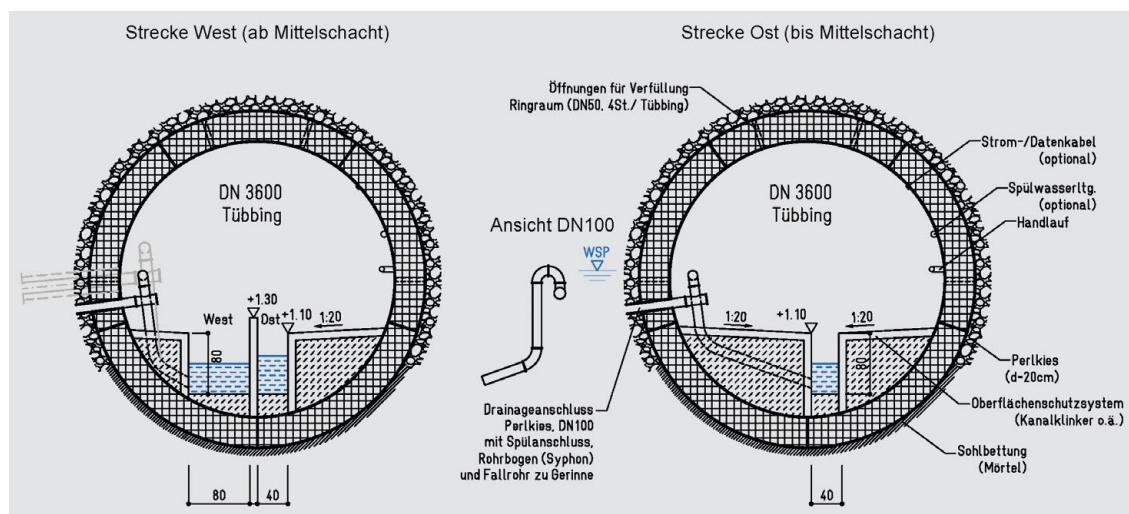


Bild 5: Querschnittsgestaltung Grubenwasserkanal (Zwischenstand der Planung)

sucht. Aufgrund der Tiefe der Schächte von rd. 100 m (Schacht 1) und rd. 70 m (Mittelschacht) müssen ggf. Aufzüge für den Personen- und Materialtransport vorgesehen werden.

Aufgrund der Eisenausfällungen ist von einer regelmäßigen Reinigung des Fließgerinnes auszugehen, auch weil sich Eisenausfällungen im Laufe der Zeit verfestigen (Goethit) und dann schwerer zu entfernen sind. Bei der Reinigung werden die bisherigen Erfahrungen der RAG Anthrazit Ibbenbüren (z. B. am Stollenbach) und die künftig zu erwartenden Eisenkonzentrationen im Grubenwasser berücksichtigt.

Zur Reinigung des Gerinnes werden verschiedene Varianten betrachtet (Hochdruckreinigung, Bürsten o. Ä.). Auf Grundlage eines in Bearbeitung befindlichen Gutachtens der Ruhr-Universität Bochum zur Verocke rung wird in der weiteren Planung ein auf den zu erwartenden Eisenhydroxidanfall, die Reinigungsintervalle und die hydraulischen Randbedingungen ausgelegtes Reinigungssystem festgelegt bzw. entwickelt.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Grubenwasserkanal Ibbenbüren stellt aufgrund der beschriebenen Besonderheiten, wie z. B. der Grund- und Grubenwassersituation und der Klüftigkeit, hohe

Anforderungen an die Maschinen- und Verfahrenstechnik. Die Dimensionen des Zwischenschachts stellen hohe Ansprüche an die Tragwerksplanung und die Bauausführung. Infolge der Mineralisation des Wassers sind diverse Fragestellungen zur Dauerhaftigkeit des Dränagekonzepts sowie zur Baustoffwahl zu berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

- Edelhoff, D.; Kunz, J.; Pollmann, H.-D. (2019): Ingenieurtunnelbau trifft Bergbau – Besondere technische Herausforderungen bei der Projektierung und Planung des Grubenwasserkanals Ibbenbüren. Mining Report Glückauf 155 (2019), No. 3, S. 261-269
- [1] Thewes, M. (2014): Tunnelbau im Schildvortrieb. Verfahrenstechniken und Planungsgrundlagen. In: Bergmeister, K. (Hrsg.): Beton-Kalender 2014. Unterirdisches Bauen, Grundbau, Eurocode 7. 103. Jahrgang. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG
- [2] Maidl, B.; Herrenknecht, M.; Maidl, U.; Wehrmeyer, G. (2011): Maschineller Tunnelbau im Schildvortrieb. 2. Auflage. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Dennis Edelhoff, MBA

ist Bereichsleiter für maschinellen Tunnel- und Rohrvortrieb der IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH, Bochum, Deutschland.



Kontakt: d.edelhoff@imm-bochum.de

Dipl.-Ing. Jürgen Kunz

ist Prokurst bei der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, Ibbenbüren, Deutschland.



Kontakt: juergen.kunz@rag.de

Dr.-Ing. Carsten Peter

ist Gesellschafter der IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH, Bochum, Deutschland.



Kontakt: c.peter@imm-bochum.de

Dip.-Ing. Heinz-Dieter Pollmann

ist Leiter der Markscheiderei der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, Ibbenbüren, Deutschland.



Kontakt: heinz-dieter.pollmann@rag.de

Schachtbewetterungsanlagen in innovativer Containerbauweise für Projekte in Weißrussland und England

Patrick Schneider, M. Sc., CFT GmbH Compact Filter Technik, Gladbeck, Deutschland

In den Jahren 2018 und 2019 lieferte die CFT GmbH Compact Filter Technic, Gladbeck, Deutschland, projektspezifisch ausgelegte und gefertigte Bewetterungsanlagen für das Schachtteufen zweier Kalibergwerke, die sich derzeit in Bau bzw. in der Erschließung befinden: das weißrussische Bergwerk Nezhinsky des Unternehmens IOOO Slavkaliy sowie das im Nordosten Englands gelegene Bergwerk Woodsmith Mine des Unternehmens Sirius Minerals Plc.

Bei dem Projekt in Weißrussland erfolgte die Lieferung der Bewetterungsanlagen über die heutige Redpath Deilmann GmbH, Dortmund, Deutschland. Bei dem Projekt in England erfolgte die Lieferung an die DMC Mining Services (UK) Ltd, Scarborough, United Kingdom. Beide Unternehmen sind mit den Schachtteufarbeiten beauftragt. Sowohl in Weißrussland als auch in England werden die Schachtbauarbeiten durch den Einsatz einer neuen Maschinengeneration für das maschinelle Schachtabteufen durchgeführt.

Die Bewetterung während der Arbeiten im Schacht erfolgt durch übertätigig aufgestellte Bewetterungsanlagen in Containerbauweise. Die Bewetterungsanlagen sorgen unter anderem dafür, dass die Menschen im Schacht genauso wie die Maschinen vor Ort unter bestmöglichen Luftbedingungen arbeiten. Die Anlagen leisten somit einen elementaren Beitrag zur Arbeitssicherheit sowie zum Umwelt- und Gesundheitsschutz. Gleichzeitig unterstützen sie die Wirtschaftlichkeit und Langlebigkeit der eingesetzten Maschinen.

Schachtteufen in Weißrussland

Den Auftrag für das Schachtteufen im weißrussischen Kalirevier, das ca. 200 km südlich der Hauptstadt Minsk liegt, erhielt die Redpath Deilmann GmbH im Juli 2017. Der Auftrag umfasst das Abteufen von zwei 750 m tiefen Schächten im Gefrierverfahren.

Die beiden Schächte mit einem Durchmesser von jeweils 8 m werden durch zwei von der Herrenknecht AG entwickelte Schachtbohrmaschinen vom Typ SBR (Shaft Boring Roadheader) parallel abgeteuft. Maschinen dieses Typs haben an ihrem unteren Ende einen um 360° schwenkbaren und teleskopierbaren Schneidausleger.

Das durch die Schneidtrommel gelöste Material wird auf ihrer ganzen Breite angesaugt und durch ca. 30 m lange Saugleitungen zu einem Saugtank gefördert, der nach dem Prinzip des Zyklons arbeitet und das gelöste Gestein vom Luftstrom separiert. Das Gestein wird anschließend an einen Bergekübel übergeben und nach über Tage gefördert. Der Staubanteil in der Saug-

Für Kalibergwerke in Weißrussland und England konfigurierte, baute und montierte die CFT GmbH Compact Filter Technic innovative Schachtbewetterungsanlagen in Containerbauweise. Dieser Artikel erläutert die Anlagen und macht deutlich, dass sich die innovative Bauweise bewährt hat.

Bergbau • Schachtteufen • Bewetterung • Effizienz • Weißrussland • England

luft, der im Zyklon nicht abgeschieden werden kann, wird im weiteren Verlauf durch einen CFT Trockenentstauber vom Typ CSBR auf einen Reststaubgehalt von $\leq 0,05 \text{ mg/m}^3$ reduziert. Die Filteranlage ist auf der SBR montiert und wird im Unterdruck betrieben. Der Unterdruck für diese – auch pneumatische Förderung genannte – Absaugung des geschnittenen Materials wird durch drei im Reingasbereich angeschlossene Drehkolbengebläse mit einer Antriebsleistung von jeweils 315 kW erzielt.

Dieser neuartige Maschinentyp (**Bild 1**) fand in Weißrussland seine zweite Anwendung, nachdem bereits im Jahr 2012 mit dem Abteufen von zwei Kalischächten in Kanada für das Bergwerk Jansen der BHP Billiton Erfahrungen mit diesem System gemacht worden waren [1]. Für das in Bau befindliche Bergwerk in Weißrussland wird bei Vollbetrieb eine jährliche Förderleistung von rund 1,2 Mio. t Kaliumchlorid erwartet [2].

Anforderungen an die Bewetterungsanlage

Die ersten Sondierungsgespräche zwischen Redpath Deilmann und CFT fanden bereits im Juli 2017 statt.



Bild 1: CFT-Schachtbewetterungsanlage für Weißrussland

(v. l. n. r. Heizregistercontainer, Lüftercontainer mit aufgebautem Steuercontainer und Wetterkühler)

Quelle der Bilder: CFT GmbH Compact Filter Technic, wenn keine andere angegeben



Bild 2: Shaft Boring Roadheader (SBR)
der Herrenknecht AG

Quelle: Herrenknecht AG

Zu Beginn wurden hierbei die Anforderungen an die Bewetterungsanlage sowie die weiteren Rahmenbedingungen für den späteren Betrieb der Anlagen festgelegt. Nach Berechnung der erforderlichen Luftmengen und Luttenwege lag der Fokus der technischen Gespräche auf der Temperierung der Frischluft, die durch Schachtlutten zur SBR (Bild 2) gefördert wird. Für die intensiven Gespräche zum Thema Lufttemperatur waren maßgeblich drei Gründe vorhanden:

► **Schutz des Gefrierkörpers gegen Aufauen**

Da das Teufen auf den ersten 160 m im Gefrierverfahren stattfindet, kann starke Abwärme im Schacht zu einem partiellen Aufauen des Gefrierkörpers führen. Während des Abteufens kann nämlich durch die verbaute Technik auf der Schachtbohrmaschine trotz bereits erfolgter Maschinenkühlung von einem weiteren Abwärmeeintrag in die aufsteigende Schachtluft von ca. 800 kW ausgegangen werden. Die Lufttemperaturen in Weißrussland belaufen sich im Sommer auf Tagesmaximaltemperaturen von 30 °C mit 70 % relativer Luftfeuchtigkeit im Freien. Die von den Lüftern angesaugte Luft wird hierbei aufgrund der Verdichtung der Luft weiter erwärmt. Während des Transports der Luft durch die Schachtlutte zur SBR wird die Lufttemperatur darüber hinaus noch zusätzlich erhöht. Diese weitere Erwärmung ist auf die Abwärme der Schachtbohrmaschine zurückzuführen, die den Schacht

hinaufströmt und die Schachtluft erwärmt. Um einen negativen Einfluss der Wärme auf den Gefrierkörper zu vermeiden und Temperaturen zu ermöglichen, bei denen die im Schacht eingesetzte Technik problemlos arbeiten kann, war eine übertägige Kühlung der Frischwetter erforderlich. Das Ziel besteht darin, dem Schacht möglichst kühle Luft als Frischwetter zuzuführen, die durch Wärmeeinträge im Schacht auf eine Mischtemperatur erwärmt wird, die kein Aufauen des Gefrierkörpers verursacht.

► **Lufttrocknung zur Kondensatvermeidung**

Ein weiteres Ziel, das mit der Kühlung der Luft verbunden war, war die Lufttrocknung. Der Transport der Luft ohne vorherige Kühlung bzw. Trocknung hätte aufgrund der Taupunktunterschreitung an der gefrorenen Schachtwand unmittelbar zu einer Kondensatabbildung an den Schachtwänden geführt. Weiterhin galt es, eine Nebelbildung – im Extremfall sogar eine Regenbildung – im Schacht zu vermeiden. Durch den Einsatz einer Wetterkühlung tritt in diesem Fall automatisch eine Lufttrocknung ein, da die Taupunktunterschreitung schon an den Rohrwendeln im Wetterkühler erfolgt und das Kondensat mittels Tropfenabscheider der Luft entzogen wird, bevor diese weiter in Richtung Schacht und SBR strömt.

► **Erhöhung der Frischwettertemperatur im Winterbetrieb**

Auch die Wintermonate wurden hinsichtlich ihrer Temperaturen berücksichtigt. Gemäß Klimatabellen musste in den Wintermonaten mit Temperaturen von -10 °C bei 100 % relativer Luftfeuchtigkeit gerechnet werden. Gerade zu Beginn der Arbeiten, wenn noch keine große Teufe erreicht und die Schachtlutte daher noch nicht lang ist, hätte die Luft in der kalten Jahreszeit an der Schachtsohle mit einer zu geringen Temperatur austreten können. Für das Erwärmen der Luft wurde daher in der weiteren Auslegung der Bewetterungsanlage ein elektrisches Heizregister vorgesehen.

Neben den bewetterungstechnischen Themen war die Layoutplanung der Gesamtanlage ein wichtiges Thema. Als innovative Lösung wurde seitens CFT der Bau einer Bewetterungsanlage in Containerbauweise vorgeschlagen. Hierbei werden genormte ISO-Container so modifiziert, dass Anlagenteile, wie Lüfter, Heizregister, Wetterkühler oder die Steuerungselektrik, darin eingebaut werden können. Die Vorteile der Containerbauweise liegen in einem besseren Lärmschutz, einer höheren Mobilität der Anlagen durch Modulbauweise sowie kürzeren Montagezeiten vor Ort. Ein weiterer besonderer Vorteil ist die Einsparung eines sonst aufgrund von Wetterschutzgründen üblichen Lüfterhauses für die Aufstellung der Anlagenkomponenten. Anlagen in Containerbauweise können im Freien aufgestellt werden und bringen den erforderlichen Wetterschutz für die verbauten Komponenten und die Steuerungstechnik bereits von Hause aus mit.

Konzeption und Projektierung der Bewetterungsanlage

Die technische Auslegung und Auswahl der benötigten Anlagenkomponenten (**Tabelle 1**) erfolgte gemeinsam mit den Unternehmen Korfmann Lufttechnik GmbH, Witten, Deutschland, und WAT Wärme-Austausch-Technik GmbH, Hamminkeln, Deutschland.

Nach Festlegung der Rohrleitungswege und Widerstände der weiteren im Anlagenverbund eingesetzten Baugruppen erfolgten die Berechnung und Auswahl der erforderlichen Ventilatoren (**Bild 3**). Die Berechnung ergab, dass der Lüfter gemäß SIA 196 [3] eine Liefermenge von $28,0 \text{ m}^3/\text{s}$ erbringen muss, um an der Schachtsohle einen erforderlichen Volumenstrom von $25,9 \text{ m}^3/\text{s}$ zu erreichen. Der Gesamtdruckverlust der Bewetterungsanlage inklusive Zubehör und übertägiger Komponenten wurde mit 7.400 Pa errechnet.

Um diesem Anforderungsprofil gerecht zu werden, kamen zwei in Reihe geschaltete gegenläufige Korfmann Axialventilatoren vom TYP GAL 14-900/900 zum Einsatz (**Bild 4**). Mit einem Flügelraddurchmesser von 1,40 m und einer elektrischen Motorleistung von 90 kW je Lüfterstufe weist die Ventilatorstation eine elektrische Gesamtleistung von 360 kW auf. Die Lüfter sind zwecks Schwingungsentkopplung zur Gesamtanlage auf Schwingungsdämpfern montiert und werden mittels Sensorik überwacht. Durch den Einbau in einen vollständig schallgedämmten 40-Fuß-ISO-Container konnte ein hohes Maß an Schallschutz erreicht werden. Um kurze Stillstandzeiten im Servicefall zu ermöglichen, wurden an den Seiten der Container Revisionsöffnungen zum schnellen Austauschen eines Lüfters eingebaut.

Für einen effizienten und bedienerfreundlichen Anlagenbetrieb übernimmt eine Anlagensteuerung im Automatikbetrieb die Steuerung der Anlage nach vorgegebenem Volumenstrom. Dies erfolgt durch eine automatische Anpassung der Motorfrequenz. Die Anlagensteuerung ist in einem separaten 20-Fuß-Steuercontainer eingebaut (**Bild 1**).

Zur Ermittlung der erforderlichen Kühlleistung führte WAT eine Klimavorausberechnung der Schachttemperaturen während des Abteufens durch. Die Grundlage hierfür bildeten – neben der genannten Auslegungstemperatur und Luftfeuchtigkeit in den Sommermonaten – der zusätzliche Wärmeeintrag der Lüftermotoren in den Frischwettervolumenstrom sowie die Abwärmeleistungen der Schachtbohrmaschine mit ihrer Auswirkung auf die Schachtlutte. Um den Wärmeeintrag der Lüfter direkt zu erfassen, wurde der Wetterkühler hinter den Lüftern positioniert und im Überdruck betrieben.

Als Zieltemperatur hinter dem Wetterkühler wurden 4°C als wirtschaftliche Kühlgrenztemperatur festgelegt. Den Ergebnissen der Berechnungen folgend kam ein Rohrwendelkühler mit einer Kälteleistung von 2.200 kW zur Anwendung. Während des Kühlbetriebs bei Temperaturen von 30°C mit 70% relativer Luftfeuchtigkeit fallen rund 1.500 Liter Kondenswasser pro

Tabelle 1: Übersicht der technischen Daten der Schachtbewetterungsanlage in Weißrussland, 1x je Schacht

Allgemein	Typ	Schachtbewetterungsanlage
Bauart	Containerbauweise	
Versorgungsspannung	400 V	
Länge	ca. 30,0 m	
Breite	ca. 6,0 m	
Höhe	ca. 5,2 m	
Gesamtgewicht	ca. 50 t	
Betriebsmodus	24 h/d, Automatikbetrieb nach vorgegebenem Volumenstrom	
Lüftermodul	Typ	2 gegenläufige Axiallüfter GAL 14-900/900
Betriebsart	blasend	
Volumenstrom	$28,0 \text{ m}^3/\text{s}$	
Druck	7.400 Pa	
Lauftraddurchmesser	1.400 mm	
Elektrische Leistung	$4 \times 90 \text{ kW} = 360 \text{ kW}$	
Wetterkühler	Typ	Rohrwendelkühler RWK 2.200
Kühlleistung	2.200 kW	
Wetterheizung	Typ	Elektrisches Heizregister
Elektrische Heizleistung	520 kW	

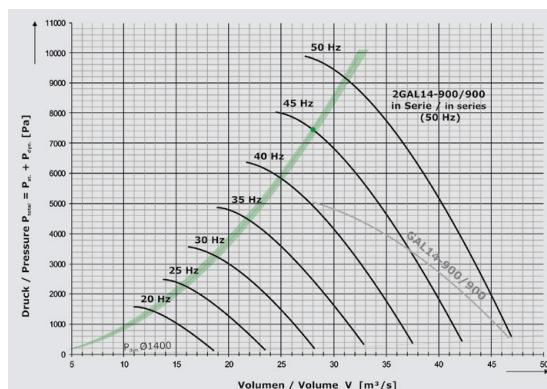


Bild 3: Kennlinie Axialventilator mit 2 GAL 14-900/900



Bild 4: Lüfterstation mit 2 GAL 14-900/900

Stunde an, die durch einen Tropfenabscheider aus dem Luftstrom separiert werden. Als Besonderheit weisen Rohrwendelkühler der Marke WAT geringe Druckverluste bei großer Wärmetauscherfläche auf. Das Kaltwasser zum Betreiben der Wetterkühler wird durch kundenseitig vorhandene Gefrieranlagen zur Verfügung gestellt.

Um die Temperaturen im Schacht im Sommer- und Winterbetrieb konstant zu halten, wurde für das Heizregister eine Zieltemperatur von +2°C für die weitere Auslegung gewählt. Mit dem zusätzlichen Wärmeeintrag der Lüfter sind die Temperaturen am Ende der Schachtbewetterungsanlage somit – unabhängig von der Jahreszeit – identisch einregelbar.

Das elektrische Heizregister hat eine Leistung von 520 kW, unterteilt in acht Heizregisterstufen. Eine der acht Registerstufen ist thyristorgesteuert, während die

übrigen sieben Stufen über ein Schütz zugeschaltet werden. Der Vorteil dieser Anlagenkonfiguration ist die auf einen halben Grad Celsius genaue Steuerung der Zieltemperatur im Heizbetrieb. Die Schaltschränke zur Steuerung des Heizregisters sind zentral im Steuercontainer untergebracht.

Werksaufbau und Montage der Bewetterungsanlage auf dem Bergwerk

Im Herbst 2018 fand auf dem Gelände der CFT der Aufbau der vollständigen Bewetterungsanlage statt (**Bilder 5 und 6**). Das Gesamtgewicht der Anlage beträgt ca. 50 t, wobei das schwerste Anlagenmodul – der Lüftercontainer – ein Gewicht von 16,5 t aufweist. Die Bewetterungsanlagen für Schacht 1 und 2 wurden nacheinander aufgebaut und umfangreichen Werkstests zur Funktionsprüfung unterzogen.

Nachdem die Gesamtanlage für den Transport wieder in ihre einzelnen Module zerlegt worden war, erfolgte die Auslieferung termingerecht im November 2018. Für den Aufbau inklusive der ersten Inbetriebnahme war aufgrund der Modulbauweise nur ein Zeitraum von einer Woche erforderlich (**Bild 7**). Beide Anlagen wurden an das Prozess-Leitsystem der Baustelle angeschlossen, um einen ständigen Zugriff auf Daten und Zustände der Bewetterungsanlagen zu erhalten. Im Anschluss an die Inbetriebnahme fand auf dem Bergwerk eine Schulung zum Betrieb der Anlagen statt. Seinen erfolgreichen Abschluss nahm das Projekt im Dezember 2018 mit der Montage und Inbetriebnahme der Bewetterungsanlage für Schacht 1.



Bild 5: Werksaufbau der Schachtbewetterungsanlage für Schacht 2



Bild 6: Geöffnete Revisionsöffnung des Lüftercontainers, dahinter Axialventilatoren



Bild 7: Inbetriebnahme der Schachtbewetterungsanlage für Schacht 2 auf dem Bergwerk in Weißrussland

Schachtteufen in England

Im Oktober 2018 erhielt die CFT einen weiteren Auftrag zur Konzeptionierung und zum Bau von Bewetterungsanlagen für Schachtteufarbeiten in Containerbauweise. Projektpartner war in diesem Fall die Firma DMC Mining Services (UK) Ltd., die mit dem Teufen von insgesamt vier Schächten zur Erschließung der Woodsmith Mine im North-Yorkshire-Nationalpark beauftragt worden war.

Die zwei Hauptschächte des späteren Polyhalitbergwerks weisen nach ihrer Fertigstellung eine Teufe von 1.600 m auf und werden ebenfalls mit Herrenknecht Schachtbohrmaschinen vom Typ SBR abgeteuft. Um die strengen Vorschriften des Nationalparks für die Baugenehmigung zu erfüllen, wird das über die zwei Hauptschächte geförderte Material durch einen 37 km langen Materialtransporttunnel auf einem Förderbandsystem aus dem Nationalpark nach Teesside an der Nordostküste Englands transportiert. Dort finden die weitere Verarbeitung und die anschließende Verladung auf Schiffe statt. Zur Errichtung dieses Materialtransporttunnels werden zwei weitere Schächte mit einer Teufe von 250 bis 350 m in konventioneller Form geteuft [4]. Im Vollbetrieb wird eine Jahresproduktion von bis zu 20 Mio. t Polyhalit pro Jahr erwartet.

Die Genehmigung zur Erschließung des Bergwerks innerhalb des Nationalparks war mit strengen Auflagen zum Schutz der Natur verbunden. Zu den wesentlichen Vorgaben gehörte auch die Einhaltung des Schalldruckpegels an verschiedenen Stellen der näheren Umgebung von 42 bis 55 dBA.

Projektierung und Werksaufbau der Bewetterungsanlage

Die Detailplanung der Bewetterungsanlage fand ab Oktober 2018 statt. In diesem Rahmen wurde für jeden der vier Schächte jeweils eine in den Schacht einblasende Zuluftstation für die Frischluftversorgung sowie eine aus dem Schacht saugende Abluftstation vorgesehen (**Bilder 8 und 9**). Die Frischluft strömt dabei immer im Bereich der Schachtsohle aus, während die Absaugung der Abwetter in der Nähe des Schachtkopfs erfolgt.

Die Bewetterungsanlagen für die beiden Hauptschächte sind aus technischer Sicht identisch (**Tabelle 2**). Um die Frischwetterversorgung mit einem Volumenstrom von $29,2 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einem Druck von 8.700 Pa realisieren zu können, kommen zwei in Reihe geschaltete gegenläufige Korfmann Axialventilatoren vom TYP GAL 14-900/900 sowie ein weiterer Axialventilator vom TYP AL 14-900 zum Einsatz. Die Zuluftstation weist damit eine elektrische Gesamtleistung von 450 kW auf und ist in einem vollständig schallgedämmten 40-Fuß-ISO-Container verbaut. Zur weiteren Schalldämmung wurde ansaugseitig ein eigens auf die Schallquelle ausgelegter 10-Fuß-ISO-Container mit eingebautem Kulissenschalldämpfer an den Lüftercontainer eingeplant. Die Ventilatoren werden mittels Sensorik überwacht und sind darüber hinaus zwecks Entkopplung zum Gesamtsystem auf Vibrationsdämmmatten gelagert.

Im Gegensatz zu den Schachtteufarbeiten in Weißrussland erfolgt das Abteufen der Schächte in England nicht im Gefrierverfahren. Dennoch ist das Kühlen der Luft aus zwei Gründen von besonderer Bedeutung: Erstens muss aus Arbeitsschutzgründen sichergestellt sein, dass die Temperaturen im Bereich der Arbeitsplätze auf der Schachtbohrmaschine bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Zweitens darf es bei der im Schacht verbaute Technik nicht zu Störungen durch zu heiße Umgebungstemperaturen kommen. Von Seiten des Kunden waren hier eine Kühlleistung von 2.000 kW je Schacht sowie der Einsatz von Lamellenwärmetauschern zur Wetterkühlung vorgegeben. Lamellenwärmetauscher bestehen aus Rohren mit aufgesetzten Lamellen zur Vergrößerung der Wärmetauscherfläche und ermöglichen somit eine kompakte Bauweise. Beim luftseitigen Durchströmen der Wärmetauscher kühlt die Luft an den kalten Lamellenrohren ab. Die Temperatur der Lamellenrohre wird durch die Wassertemperatur bestimmt, die den Wärmetauscher wasserseitig durchströmt. Die Konstruktion der WAT sieht zwei Wärmetauscher je Schacht mit einer Leistung von 1.000 kW vor. Die Wetterkühleinheiten sind jeweils in einem ei-



Bild 8: Werksaufbau der Schachtbewetterungsanlage für den Service-Shaft

(v. l. n. r.: Abluftcontainer, 2 luftgekühlte Kaltwassermaschinen, Zuluftcontainer mit aufgebautem E-House Container sowie 2 Kühlcontainer übereinander)



Bild 9: Werksaufbau aus einer weiteren Perspektive
(im Vordergrund 2 Kühlcontainer mit jeweils 1.000-kW-Lamellenwetterkühler)

Tabelle 2: Übersicht der technischen Daten der Schachtbewetterungsanlage in England, 1 x je Hauptschacht

Allgemein	Typ	Schachtbewetterungsanlage
	Bauart	Containerbauweise
	Versorgungsspannung	11.000 V
	Länge	ca. 35,1 m
	Breite	ca. 13,3 m
	Höhe	ca. 5,5 m
	Gesamtgewicht	ca. 86,0 t
	Betriebsmodus	24 h/d
Lüftermodul Zuluftstation	Typ	2 gegenläufige Axiallüfter + 1 Axiallüfter
	Betriebsart	blasend
	Volumenstrom	$29,2 \text{ m}^3/\text{s}$
	Druck	8.700 Pa
	Lauftraddurchmesser	1.400 mm
	Elektrische Leistung	5 x 90 kW = 450 kW
Wetterkühler	Typ	Lamellenwärmetauscher
	Kühlleistung	2.000 kW
Lüftermodul Abluftstation	Typ	Axiallüfter
	Betriebsart	saugend
	Volumenstrom	$46,2 \text{ m}^3/\text{s}$
	Druck	1.250 Pa
	Lauftraddurchmesser	1.600 mm
	Elektrische Leistung	110 kW

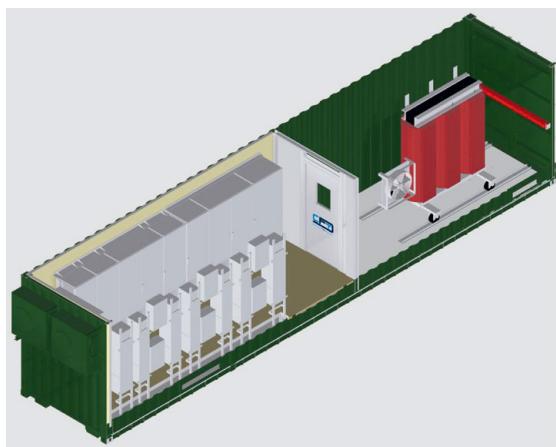


Bild 10: Blick in den Steuercontainer
(links Steuerraum mit Schalschränken, rechts Transformatorraum)

genen 20-Fuß-ISO-Container verbaut und kühlen die Frischwetter beim Durchströmen auf eine Zieltemperatur von 4°C am Ende der Schachtbewetterungsanlage herunter. Ihre volle Leistung erzielen die Wärmetauscher gemäß technischer Auslegung bei einer Vorlauftemperatur von 1°C beim wasserseitigen Eintritt in den Wetterkühler.

Der Kaltwasserkreislauf ist hierbei ein geschlossenes System. Das wasserseitig aus den Wärmetauschern ausströmende Wasser weist nach Durchströmung des Wetterkühlers eine Austrittstemperatur von ca. 12°C auf und wird durch zwei Pumpen zu zwei luftgekühlten Kaltwassermaschinen vom Typ Carrier 30XBP gefördert. Die luftgekühlten Kaltwassermaschinen mit einer jeweiligen Kälteleistung von 1.000 kW kühlen das Wasser anschließend wieder auf die für den Wetterkühlprozess erforderlichen 1°C herunter, bevor die Pumpen das Wasser erneut in die Lamellen-Wärmetauscher fördern.

Das Bewetterungskonzept sieht neben der Frischwetterversorgung eine zusätzliche Absaugung der Abwetter vor. Das vorgegebene Absaugvolumen von 46,2 m³/s wird durch den Einsatz eines Axialventilators vom TYP AL 16-1100 mit einem Laufraddurchmesser von 1,60 m und einer Motorleistung von 110 kW realisiert. Der Schallschutz wird hierbei durch den Einbau in einen schallgedämmten 40-Fuß-ISO-Container mit zusätzlichem Kulissenschalldämpfer gewährleistet.

Sämtliche Anlagen zur Steuerung der Schachtbewetterungsanlage – bestehend aus Zuluftstation, Wetterkühlung und Abluftstation – wurden in einen speziell modifizierten 40-Fuß-ISO-Container eingebaut (**Bild 10**). Da die Energieversorgung kundenseitig mit einer vorgegebenen Spannung von 11 kV erfolgt, war der Einsatz eines Transfomers erforderlich. Das Detailengineering ergab folglich die Unterteilung des Steuercontainers in einen von außen begehbar Steuerraum, in den alle erforderlichen Schalschränke und Frequenzumrichter für die Anlagensteuerung eingebaut wurden, sowie einen vom Steuerraum aus begehbar separaten Transformatorraum, in dem der erforderliche

Transformator mit einer Scheinleistung von 2.200 kVA eingebaut wurde.

Der Werksaufbau der Bewetterungsanlagen fand im Zeitraum April bis August 2019 beginnend mit den Schachtbewetterungsanlagen der MTS-Schächte auf dem Gelände der CFT statt und wurde jeweils von intensiven Werkstests begleitet.

Fazit zur Containerbauweise bei Schachtteufarbeiten

Bei Schachtteufarbeiten hat sich die mobile Containerbauweise als wirtschaftliche Lösung bewährt, die aufgrund ihrer flexiblen Wiederverwendbarkeit neue Einsatzmöglichkeiten bietet (s. auch Video [5]). Soll das System an einen anderen Einsatzort verlegt werden, unterstützen die schnelle Demontage und anschließende Montage mit reibungslosen Abläufen die Einhaltung der vorgegebenen Zeitpläne. Hinzu kommen der einfache Transport und die Möglichkeit einer unkomplizierten Zwischenlagerung. Der Verzicht auf Einhausungen der Anlagenkomponenten macht den Einsatz des Systems zusätzlich effizient. Weiterhin wird die Containerbauweise höchsten Ansprüchen an den Schallschutz gerecht.

Quellenverzeichnis

- [1] Ahlbrecht, T. (2019): Abteufen von zwei Kali-Schächten in Weißrussland unter Anwendung einer neuen Maschinen-Generation. 21. Kolloquium Bohr- und Sprengtechnik der TU Clausthal, Tagungsband, S. 21-30
- [2] Redpath Deilmann GmbH: Neuer Auftrag über den Bau von zwei Gefrierschächten in Weißrussland. Pressemitteilung vom 17. Juli 2017. Online: [https://www.deilmann-haniel.com/index.php?id=52&tx_ttnews\[tt_news\]=46&cHash=fffe980e60c53ae01e769c409d39872a](https://www.deilmann-haniel.com/index.php?id=52&tx_ttnews[tt_news]=46&cHash=fffe980e60c53ae01e769c409d39872a)
- [3] SIA 196: 1998-11: Baulüftung im Untertagbau
- [4] Sirius Minerals Plc: Our Business. Online: <https://www.siriusminerals.com/about-us/our-business>
- [5] CFT GmbH Compact Filter Technic: Containerised Shaft Ventilation System. Video. Online: cft-gmbh.de/video-shaftsinking

**Patrick Schneider,
M.Sc.,**

ist bei der CFT GmbH Compact Filter Technic, Gladbeck, Deutschland, tätig. Als Teil des Vertriebsteams ist er zudem für die Projektierung und Leitung von Projekten zuständig.



Kontakt: patrick.schneider@cft-gmbh.de

Sicherheit hat Gene aus dem Steinkohlenbergbau

Dr.-Ing. Eckart Pasche, Willich, Deutschland

Der Steinkohlenbergbau ist in Deutschland inzwischen Geschichte. Aber er war immer Technologietreiber. So wenden die Ingenieurunternehmen, die aus ihm erwachsen sind, ihr Wissen heute in anderen Bereichen an. Das Know-how aus dem Bergbau begegnet uns überall auf der Welt und schreibt Erfolgsgeschichte.

„Wer sich in den Tiefen der Erde auskennt, der scheut sich weder vor den Weiten des Weltalls noch vor den globalen technischen Herausforderungen, die es durch Ingenieurskunst zu lösen und zu bestehen gilt“, sagt Maik Tiedemann, Geschäftsführer des Essener Unternehmens DMT GmbH & Co. KG.

Das Unternehmen versteht sich als Leader des Engineeringbereichs der TÜV Nord Group (**Bild 1**). Seine Wurzeln reichen bis in das Jahr 1737 zurück, als die erste Organisation zur Verbesserung der Sicherheit im Bergbau in Deutschland gegründet wurde. Heute umfasst DMT 14 Gesellschaften mit mehr als 30 Niederlassungen weltweit. Rund 1.000 Mitarbeiter erwirtschaften einen jährlichen Umsatz von 120 Mio. € in über 10.000 Projekten in mehr als 150 Ländern.

Sicherheit von Seilen

Wenn Dächer, Brücken oder Offshoreschwimmkräne von Seilen gehalten werden, hängen Leben von ihnen ab. Die Bochumer Seilprüfstelle – das DMT-Prüflaboratorium für zerstörungsfreie und zerstörende Prüfung – prüft und analysiert Seile und sorgt für deren Sicherheit (**Bilder 2 und 3**). Sie wurde ursprünglich für den Bergbau entwickelt, wo Förderseile den Transport von Kohle und Material sowie die Seilauffahrt der Bergleute

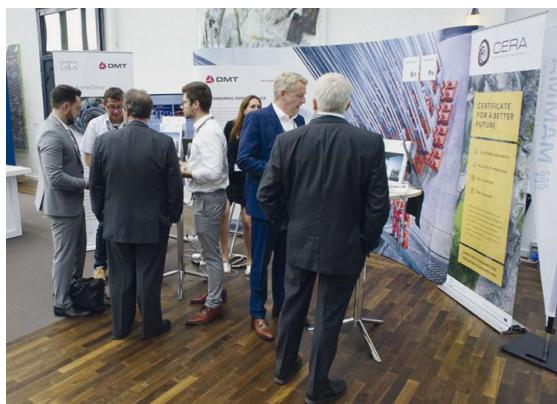


Bild 1: Präsentation des Unternehmens DMT beim MiningForum 2019 in Berlin

Quelle: Manfred König

Das Essener Unternehmen DMT GmbH & Co. KG zeigt mit Engineering Performance, dass Verfahren aus dem Bergbau vielseitig einsetzbar sind.

Bergbau • Wissenstransfer • Querdenken • Sicherheit • Unternehmen • Dienstleistung

sicherstellten. Jetzt kommt dieses Know-how bei Großkonstruktionen aus Trag-, Spann- und Zugseilen überall auf der Welt zum Einsatz.

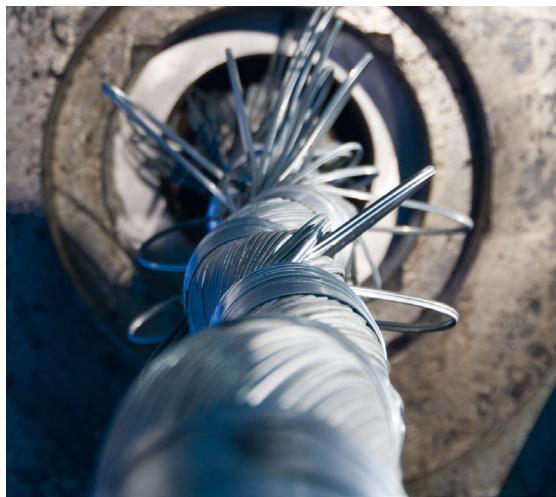
Das Millennium Wheel „London Eye“, mit 135 m das höchste Riesenrad Europas, kann mit einer einzigen Rotation bis zu 800 Gäste befördern (**Bild 2**). Zu deren Schutz veranlasst der Betreiber regelmäßige Prüfungen an sicherheitsrelevanten Bauteilen. DMT führt Langzeitermüdungsversuche an Proben eines originalen „Rotationskabels“ in der Seilprüfstelle durch und trägt damit zum sicheren Betrieb der Kultattraktion bei.

Auch die Prüfung der Seile der mit 40,5 ha größten Dachfläche der Welt, der Zeltdachkonstruktion des



Bild 2: Millenium Wheel „London Eye“

Foto: ©2019 with express permission from Adobe

**Bild 3:** Seilprüfung

Quelle: DMT GmbH & Co. KG

Hadschterminals am Flughafen Jeddah obliegt DMT, ebenso wie der einst weltweit längsten Hängebrücke, der Brooklyn-Bridge in New York. Sie war die erste, für die Tragseile aus Stahl verwendet wurden.

Ebenso prüft DMT das spektakuläre Dach des 90.000 Zuschauer fassenden Wembleystadions in London, das sich binnen einer Stunde komplett öffnen oder schließen lässt. Getragen wird es von einer weithin sichtbaren, 135 m hohen Bogenkonstruktion, die sich über die Arena spannt und mit ihrer Bogenspannweite von 315 m die größte lichte Weite weltweit aufweist.

Unterseeisch diagnostiziert die Seilprüfstelle die „Big Hydra“-Seile, die im Golf von Mexiko Offshore-Kranschiffe mit dem Meeresgrund verbinden, um in 2.000 m Wassertiefe Pipelines zu verlegen.

Messtechnologie für Vortriebe

Doch die eigentliche Heimat von DMT liegt in der Erde. Wenn Tunnel durch Gebirge getrieben oder unter dem Meeresgrund gebohrt werden, können schon geringste Abweichungen hohe Kosten verursachen oder

**Bild 4:** Präzisionsmessgerät Gyromat im Einsatz

Quelle: DMT GmbH & Co. KG

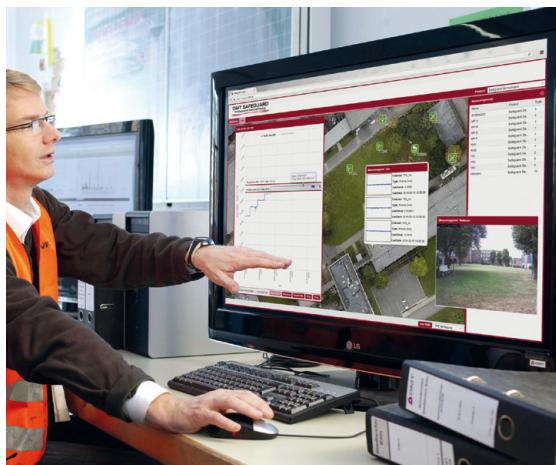
Menschenleben gefährden. Vor 25 Jahren wurde mit dem Eurotunnel unter der Straße von Dover zwischen Frankreich und England der weltweit längste Unterwassertunnel eröffnet. Seine Gesamtlänge beträgt 50 km, davon 37 km unter dem Meeresboden. Zwei Röhren waren jeweils vom Festland sowie von der britischen Insel vorgetrieben worden. Sie hätten sich beim Durchschlag unter dem Kanal deutlich verfehlt, wie Maik Tiedemann betont, wenn die Tunnelbauer nicht vom DMT-Präzisionsmessgerät Gyromat unterstützt worden wären (**Bild 4**).

Mit ihm wird die vorgegebene Richtung beim Tunnelbau kontinuierlich kontrolliert, um genau dort anzukommen, wo es beabsichtigt ist. Der Gyromat basiert auf dem genauesten vollautomatischen Vermessungskreiselsystem zur Bestimmung der Nordrichtung. Das ursprünglich zur Vermessung von untertägigen Strecken im Bergbau entwickelte schlagwettergeschützte Gerät arbeitet hochgenau mit einer extrem kleinen Abweichung von maximal 1,2 cm auf 1 km.

So kommt diese international führende Messtechnologie bei vielen Tunnelvortrieben zum Einsatz: im Gotthard-Basistunnel, im Himalaya, am Brenner, in Hongkong, beim Teilchenbeschleuniger Cern in Genf, bei den megalithischen Tempeln von Malta, bei Abwassertunnels in den USA, Wasserkraftwerken in Lesotho und Island sowie bei vielen U-Bahnprojekten. Der Gyromat birgt eindeutig ein Wissensmonopol aus dem Bergbau an der Ruhr.

Monitoring der Dütebrücke bei Osnabrück

Seit 2015 wird die Dütebrücke der Autobahn A 1 im laufenden Betrieb komplett saniert. Die Bauwerkssituation erfordert es, das bestehende Bauwerk zu überwachen und den weiteren Betrieb des Restbauwerks zu sichern. Hiermit wurde DMT beauftragt und setzt dazu die Online-Monitoring-Plattform Safeguard (**Bild 5**) ein, bei der eine Vielzahl von geotechnischen und geo-

**Bild 5:** Online-Monitoring-Plattform Safeguard

Quelle: DMT GmbH & Co. KG

däischen Sensoren ein exaktes Bild zum Ist-Zustand der Brücke und wichtige Indikatoren zur Bauwerksintegrität liefern. So wird für Sicherheit von Mensch, Maschine, Material und Bauwerk gesorgt. Dabei ist das Monitoring von Brücken nur ein Anwendungsbeispiel der Monitoringlösungen von DMT. Ladekräne, Gebäude, Halden, Maschinen, Kessel – im Grunde alle Objekte, in die ein Sensor integriert werden kann, können in die Onlineplattform eingebunden werden (**Bild 6**).

Fazit

Auch wenn der Steinkohlenbergbau in Deutschland Vergangenheit ist: Das in langen Jahrzehnten erworbenen technische Know-how zur Sicherheit zahlt sich heute weltweit aus. Die kulturprägende Kraft des deutschen Steinkohlenbergbaus wirkt fort, weil sein Wissensschatz auf vielfache Weise weitergegeben wird und Innovation schafft. So wirbt das DMT-Projekt- und Risikomanagement selbstbewusst: „Wenn es machbar ist, haben wir es wahrscheinlich schon getan.“

DMT hat damit gezeigt, dass der Wandel gelingen kann, und ist heute wegen der vorhandenen Ingenieur- und Consultingexpertise weltweit ein gefragter Dienstleister in den Märkten Anlagenbau und Verfahrenstechnik, Infrastruktur und Bauwesen und natürlich noch immer im Bereich der Rohstoffe.



Bild 6: Vielfältige Einsatzmöglichkeiten für die Online-Monitoring-Plattform Safeguard

Quelle: DMT GmbH & Co. KG

Dr.-Ing. Eckart Pasche

ist freier Fachjournalist, Redaktionsbüro News Network in Willich, Deutschland. Seine Themenschwerpunkte sind Energie, Kerntechnik, Rohstoffe, Bergbau, Tunnelbau und Technikgeschichte.

Kontakt: eckart.pasche@epasche.de

LIEDERBUCH FÜR BERG- UND HÜTTELEUTE

15. Auflage

Erste vollständig überarbeitete Neuauflage seit 65 Jahren

Erstmals: Alle Lieder haben Noten, moderner Notensatz



Liederbuch für Berg- und Hüttenleute

Berg- und Hüttenmännischer Verein e. V. (Hg.)

15. Auflage 2016, GeoResources, Duisburg

176 Seiten, hochwertige Ausführung,

Kunstledereinband mit Prägung

Werkdruckpapier, Fadenheftung

11 cm x 16 cm

ISBN 978-3-9818403-0-8

Einzelpreis: 19,80 EUR

Individualisierte Ausgaben auf Anfrage.

Informationen und Bestellungen:

E-Mail: vertrieb@georesources.net

Tel.: +49 2841 60 789-67

GeoResources Zeitschrift und Journal

Termin- und Themenplan 2020*

Für das Jahr 2020 planen wir wiederum je vier englische und vier deutsche Ausgaben der Fachzeitschrift GeoResources.

Ausgewählte Ausgaben werden wir um einen **Market Place** mit Unternehmensporträts ergänzen. Den Tabellen können Sie die Erscheinungstermine und die geplanten Sonderschwerpunkte entnehmen. Folgende Rubriken werden in jeder Ausgabe mit Inhalt gefüllt:

A Word on .../ Auf ein Wort Geotechnics/Geotechnik • Tunnelling/Tunnelbau • Mining/Bergbau

Deutsche Ausgabe	Erscheinungstermin	Sonderschwerpunkte
Zeitschrift 1 2020	11. Februar 2020 (KW7)	Bohrtechnik, Spezialtiefbau, HSE, Umwelt- und Klimaschutz
Zeitschrift 2 2020	5. Mai 2020 (KW19)	Böschungssicherung, Rohstoffversorgung, Fördertechnik
Zeitschrift 3 2020	18. August 2020 (KW34)	Neue Bauweisen, Aus-/Weiterbildung/Fachkräfte, Prüf-, Messtechnik, Monitoring
Zeitschrift 4 2020	27. Oktober 2020 (KW44)	Injektionstechnik, Sprengtechnik, Großprojekte, BIM/Mining 4.0

Englische Ausgabe	Erscheinungstermin	Sonderschwerpunkte
Journal 1 2020	24. März 2020 (KW13)	sustainability, special foundation engineering, drilling technology
Journal 2 2020	23. Juni 2020 (KW26)	slope stabilisation, resources/raw materials, hard coal mining
Journal 3 2020	29. September 2020 (KW40)	monitoring, boring and anchoring, education, conveyor technology
Journal 4 2020	01. Dezember 2020 (KW49)	injection technology, testing, monitoring, innovative construction materials/products/methods

* Änderungen vorbehalten

GeoResources Redaktion

Kontakt:

Dr.-Ing. M.A. Katrin Brummermann: kb@georesources.net
Dipl.-Ing. Manfred König: mk@georesources.net

Baugruben

- Verbauwände, Stützwände, Anker, Aussteifungen
- Schlitz- und Dichtwände
- Abdichtungen, Injektionen
- Bodenvereisung
- Finite-Elemente-Berechnungen

cdmsmith.com

Beratung · Planung · Baubegleitung · Projektsteuerung

Impressum

GeoResources Zeitschrift / Journal

5. Jahrgang, Fachzeitschrift für Bergbau, Tunnelbau, Geotechnik und Equipment
Erscheinungsdatum: 21.11.2019
ISSN | Digital 2364-0278 • Druck 2364-8414

Erscheinungsweise:

GeoResources erscheint mit 4 Ausgaben pro Jahr in deutscher (GeoResources Zeitschrift) und 4 Ausgaben in englischer Sprache (GeoResources Journal) als Online-Ausgaben (www.georesources.net). Zusätzlich erscheinen Zeitschrift und Journal in angepasster Auflagenhöhe in gedruckter Form. Bei Interesse an gedruckten Exemplaren setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung, um weitere Informationen zu erhalten (abo@georesources.net).

Bezugspreis:

Online kostenfrei, Printausgaben 100 €/a je Sprache, deutsch und englisch kombiniert 150 €/a, Studenten 50 % Rabatt, inkl. Porto, Verpackung und dt. Steuern.

Chefredaktion:

Dr.-Ing. M.A. Katrin Brummermann
Mobil: +49 151 70 888 162
E-Mail: kb@georesources.net

Dipl.-Ing. Manfred König
Mobil: +49 172 244 16 16
E-Mail: mk@georesources.net

Media und Anzeigen:

E-Mail: advertising@georesources.net
Tel.: +49 2841 60 789 67

Herstellung/Layout/DTP:

Herbert Stimper
E-Mail: hs@georesources.net
Gudrun Klick
E-Mail: info@gudrun-klick.de
www.grafiklick.de

Herausgeber:

GeoResources Portal Manfred König
Oleanderweg 12, 47228 Duisburg
Mobil: +49 172 244 1616
Tel.: +49 2841 60 789 67
E-Mail: press@georesources.net

Druck:

Kiess und Makossa Mediengruppe GmbH,
Gelsenkirchen

Copyright:

Alle Rechte vorbehalten ©GeoResources Portal, Duisburg, www.georesources.net
Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne die Genehmigung des Copyrightinhabers in irgend einer Form, durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren, reproduziert oder in eine von Maschinen oder Datenverarbeitungsanlagen verwendbare Form gebracht und genutzt werden. Ausgenommen sind Wissenschaft und nichtkommerzieller Unterricht. Eine Anzeige der Nutzung ist erwünscht. Die Inhalte der eingereichten Manuskripte bleiben im Eigentum der Autoren (Verfasser), so lange die Einreichung unentgeltlich erfolgte. Die inhaltliche Verantwortung für mit Namen gekennzeichnete Beiträge und gelieferte Fotos und Grafiken übernimmt der Verfasser.

Wissenschaft Forschung

Training
Praxis

Dauer-
ausstellung



QR-Code zur
Newsletteranmeldung

GEORADO

DIE GEOERLEBNISWELT

Save the date - 14./15. Mai 2020
5. Praxistag der Geotechnik

Unsere Netzwerkpartner

GEOBRUGG BRUGG Safety is our nature	GEOALPIN GMBH	TRUMER Schutzbauten	JÄHNIG	GGS TERRACON GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK SYSTEM	geopark
DSI DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL	ISCHEBECK TITAN	HUESKER Ideen, Ingenieure, Innovationen,	TPH. waterproofing systems	GLÖTZL	STABAU FOUNDED ON STEEL
MORATH [®]	MACCAFERRI	MERLO DEUTSCHLAND	HÜTTE BOHRECHNIK	FSR	GKZ Freiberg