

Geomonitoring bei der Unterfahrung der Stadt Cochem durch eine Tunnelvortriebsmaschine

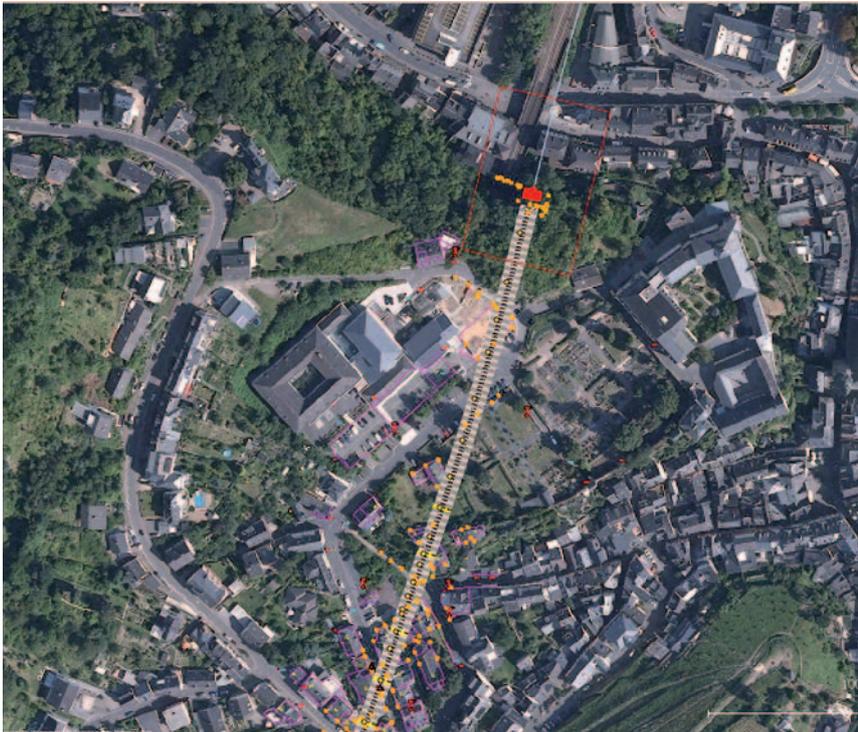


Bild 1: Position der TVM im Satellitenfoto (Grafik: Sterzik)

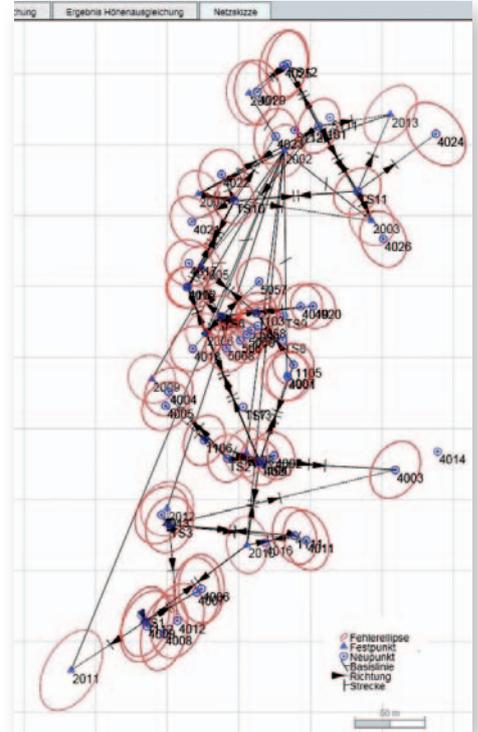


Bild 2: Übersicht des Monitoringnetzes in Cochem

Projekt „Neuer Kaiser-Wilhelm-Tunnel“

Zur Sanierung und Aufrüstung der Bahnstrecke 3100 von Koblenz nach Trier wird im Auftrag der Deutschen Bahn eine neue zweite Tunnelröhre parallel zum alten, ca. 4.200 m langen Kaiser-Wilhelm-Tunnel bei Cochem erstellt. Im Zuge des Tunnelneubaus wird auch der alte Bestandstunnel saniert und an die neuen Sicherheitsstandards der Deutschen Bahn angepasst.

Der neue Kaiser-Wilhelm-Tunnel mit 4.242 m Länge wird von der ausführenden Arbeitsgemeinschaft Neuer Kaiser-Wilhelm-Tunnel (ARGE NKWT), bestehend aus den Firmen ALPINE Untertagebau GmbH, ALPINE Bau Deutschland AG und FCC Construcción S.A., mittels Tunnelvortriebsmaschine (TVM) mit einem Ausbruchsdurchmesser von 10,12 m aufgeföhren. Die Bodenverhältnisse teilen die Vortriebsstrecke in einen ca. 3.750 m langen Abschnitt mit Sand- und Tonstein so-

wie einen Lockergesteinsbereich mit rd. 500 m Länge, der im geschlossenen Erd-druckmodus der TVM vorgetrieben wird und zahlreiche Gebäude und Straßen unterquert (Bild 1).

Automatisches Geomonitoring

Die Unterfahrung der kritischen Bebauung wurde durch gezielte Bodenverbesserungsmaßnahmen und vorlaufende Hebungsinjektionen in Verbindung mit einem aufwendigen Messprogramm angegangen. Trotz Permanentüberwachung mit einer Vielzahl von Sensoren gilt die Unterfahrung der Extremlage mit nur 3 m Überdeckung bei vier Gebäuden im Bereich der Oberbachstraße 14–16b als heikel. Insgesamt liegen in einem 30 m breiten Areal über der Tunneltrasse ca. 50 Gebäude im Einflussbereich der Tunnelvortriebsarbeiten. Um Schäden an den Gebäuden frühzeitig zu erkennen, wurden alle betroffenen Bauwerke sowie Straßen- und Geländemesspunkte rund um die Uhr auf resultierende Bau-grundbewegungen überwacht.

Parallel hierzu erfassten hochgenaue hydrostatische Drucksensoren der Firma GeTec GmbH, Aachen, in den gefährdeten Gebäuden mit minimaler Überdeckung Deformationen im Submillimeterbereich. In der kritischen Phase liefen diese Messdaten in einem oberirdischen Steuerstand der Keller Grundbau GmbH zusammen und wurden von hier aus laufend in das Informationssystem IRIS eingepflegt. Vom Injektionsschacht aus konnten bei Bedarf zeitnah gezielte Hebungsinjektionen unter den Gebäuden ausgeführt werden.

Gemeinsam mit der Bruchsaler VMT GmbH entwickelte die Abteilung Messtechnik der ALPINE BeMo Tunneling, Niederlassung West mit Sitz in Werne, ein umfangreiches Mess- und Systemkonzept zum automatisierten Deformationsmonitoring der Objekte mit Echtzeit-Datentransfer bis zum Schildfahrer im Steuerstand der Tunnelvortriebsmaschine. Das neu entwickelte „Customized Monitoring System TUNIS Geomonitoring“ der VMT wurde hierfür modular an die speziellen Anforderungen zur



Bilder 3 a–e: Monitoringinstallationen in der Cochemer Oberstadt (Fotos: Sterzik)

Überwachung der Anlagen und Bauwerke angepasst. Die fortlaufenden Messungen des Deformationsnetzes erfolgten automatisch durch motorisierte Tachymeter vom Typ Leica TS30.

Zur Steigerung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse wurden zusätzlich GNSS-Basislinien automatisch prozessiert und gemeinsam mit den terrestrischen Messungen in einer Netzausgleichung durch die Software GOCA ausgewertet (Bild 2). Zur Erfassung von Bewegungen im Untergrund waren zusätzlich insgesamt drei Extensometer-Messquerschnitte installiert, die ebenfalls automatisiert betrieben wurden.

Die erfassten Daten wurden hierbei in einem Geosensornetzwerk zusammengeführt und an die Software TUNIS (VMT) übertragen, welche die Datenauswertung und statistische Qualitätskontrolle übernahm. Anschließend erfolgte die Visualisierung der Messdaten in geeigneter grafischer Form durch die Software IRIS.geomonitoring an die Projektbeteiligten (Bauleitungen, Bauüberwachung, Gutachter, Schildfahrer).

Eine gesicherte Datenkommunikation garantiert eine lückenlose Überwachung der Objektpunkte in Echtzeit mit automatischem Alarmmanagement. Sobald die vorab definierten Grenzwerte erreicht waren, erfolgte eine automatische Alarmierung des berechtigten Personenkreises. Die Messergebnisse wurden im Tunnelinformationssystem IRIS.geomonitoring zusammen mit den Prozessdaten des Tunnelbaus und den Maschinendaten gesammelt, dargestellt und im benutzerdefinierten Reportmanagement archiviert.

Systemmerkmale und Komponenten

Das oberirdische automatische Monitoring in der Cochemer Oberstadt besteht im

Überblick aus den folgenden Systemmerkmalen und Komponenten:

- Modularer Systemaufbau für projektbezogene Zusammenstellung der Hard- und Software in Cochem
- Installation von mehr als 150 Objektprismen
- zwölf Tachymeterstandpunkte, die vortriebsabhängig mit bis zu neun Leica TS30 besetzt sind
- GNSS-Erweiterung zur Steigerung der Zuverlässigkeit sowie zur Besetzung von Objektpunkten
- Installation von geotechnischen Messquerschnitten mit vollautomatischer Messung von Stangenextensometern
- Vollautomatische Echtzeitauswertung, Datenaufbereitung, Alarm- und Reportingmanagement
- Visualisierung der Ergebnisse im gesamten Baustellenetzwerk über die gesicherte Internetplattform IRIS (Integrated Risk and Information System)

Unterfahrung der Oberstadt im Oktober/November 2011

Die detaillierte Planung der oberirdischen Messtechnik begann bereits im Dezember 2010 mit dem Entwurf eines umfangreichen Messprogramms. Das Konzept sah vor, dass alle Gebäude und Straßenzüge im Unterfahrungskorridor von 30 m Breite in die Permanentbeobachtung einbezogen werden. Da bei maschinellen Vortriebsarbeiten im Gegensatz zum konventionellen Tunnelbau kaum Möglichkeiten zur Messung der untertägigen Verformungen bestehen, kommt dem Geomonitoring an der oberirdischen Infrastruktur bei diesem Projekt eine besonders hohe Bedeutung zu.

Die Installation von hydrostatischen Druckschlauchwaagen beschränkte sich

auf die Gebäude im Bereich der Hebungsinjektionen. Alle anderen Gebäude sollten mit hochpräzisen Tachymetern überwacht werden. Hierbei fiel die Wahl der Sensoren auf die Baureihe TS30 von Leica Geosystems, da nur diese Instrumente im Hinblick auf die zu messenden Distanzen und die geforderte Genauigkeit den Projektanforderungen entsprachen.

Die technische Ausrüstung zur Installation der Systemkomponenten übernahm die Goecke GmbH, Schwelm, mit einem neuen Schutzsystem für die Tachymeterstationen. Durch spezielle Konsolen mit Überdachungen und Kunststoffblenden konnten die Instrumente



Bild 4: Überwachungsanlage, bemalt von Kindern des lokalen Kindergartens (Foto: Sterzik)



Bild 5: Permanentbeobachtung im Unterfahrungskorridor der Oberbachstraße/Jahnstraße (Grafik: VMT)



Bild 6: Ein „Meshnode“ als Datensammelstelle, hier mit einer Kamera direkt an einem Schulhof (Foto: Sterzik)

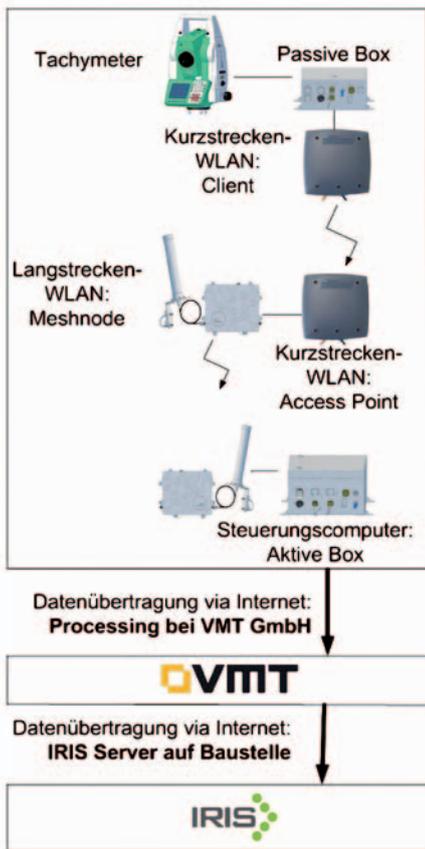


Bild 7: Hardware schema Geomonitoring Cochem Oberstadt, Totalstation an passiver Box mit Client, Anschluss an Access Point über aktive Box und WLAN via Internet nach VMT und Baustelle (Ausschnitt Grafik: VMT)

kostengünstig vor Wettereinflüssen und Vandalismus geschützt werden (Bilder 3a–e). Durch das neuartige Schutzsystem sind die Instrumente nicht mehr als solche erkennbar, die Vorrichtungen werden von Passanten eher für Beleuchtungskörper gehalten. Bei allen Instrumentenstationen konnte somit auf teure Einhausungen verzichtet werden.

Für die „künstlerische Gestaltung“ der Messpfähle und -säulen wurde der lokale Kindergarten engagiert. In Kooperation mit der Bauvermessung vor Ort erhielten die Abdeckungen aufgemalte Gesichter, die Thermobeschichtungen einiger Säulen wurden liebevoll zu kleinen „Männchen“ gepinselt (Bild 4). Für Anwohner und Touristen wurde hierdurch ein positiver Aspekt erzielt. Aus den fremdartigen Überwachungsanlagen wurden lustige Figuren, die vorübergehend zum Stadtbild gehören und Sicherheit produzieren. In der Folge wurde nicht ein einziger Fall von Vandalismus festgestellt, obwohl viele Komponenten direkt zugänglich waren.

Die wetterfest installierten WLAN-Komponenten versendeten die Messdaten der Tachymeter und Wetterfühler permanent im Kurzstreckenfunk über Access Points an „Meshnodes“. Diese sind in der Lage, sich intelligent zu vermaschen und somit den eventuellen Ausfall eines Knotens zu überbrücken. Von den Meshnodes erfolgte der weitere Datentransfer via Richtantenne über ein Langstrecken-WLAN zur zentralen Datenstation und über den Router zum Server der VMT in Bruchsal (Bilder 5–7).

Besonderer Wert wurde auf geeignete Backupsysteme bei eventuellem Ausfall von Komponenten gelegt. Beispielsweise hätte das System bei DSL-Ausfall auch über einen UMTS-Router betrieben werden können. Allerdings wurden die Reservekomponenten bei der Unterfahrung nicht benötigt. Nur ein flächendeckender Stromausfall im gesamten Stadtgebiet von mehr als zwei Stunden Dauer hätte ein ernsthaftes Problem für die Funktion des Systems dargestellt, da die Stromversorgung bei ausgedehnten Netzen dieser Größenordnung nur dezentral über das öffentliche Netz mit USV betrieben werden kann.

Die Kosten der installierten Hardware (ohne Druckschlauchwaage und Extensometer) lagen bei einem Neuwert von ca. 500.000,- EUR. Hinzu kamen noch erhebliche Mietkosten für Softwarekomponenten sowie der beträchtliche Installationsaufwand. Mehrere Wochen war ein Team aus Vermessungsingenieuren, Elektrikern, Bauarbeitern und IT-Spezialisten mit der Errichtung des ausgedehnten Monitoringsystems vor Ort beschäftigt.

Bevor die herannahende Tunnelvortriebsmaschine die Siedlung erreichte, wurde das System in Betrieb genommen und lief zunächst im Testbetrieb. Mit Beginn der Unterfahrung im Oktober 2011 waren kleinere Störungen behoben worden. Im Anschluss funktionierten alle Komponenten des Geomonitoringsystems reibungslos und mit hoher Zuverlässigkeit und Genauigkeit.

Die Projektbeteiligten hatten jederzeit und von jedem Ort aus Zugang zu den aktuellen Messdaten in numerischer und grafischer Form. Die Standardgrafik zeigt hierbei in Echtzeit die aktuelle Maschinenposition im Satellitenfoto mit sämtlichen Sensoren an der Oberfläche. Durch Anklicken einzelner Sensoren können die grafischen und numerischen Informationen der aktuellen Messergebnisse abgerufen und übersichtlich dargestellt werden (Bilder 8 und 9).

Auch im Steuerstand der Tunnelvortriebsmaschine ist ein solches Terminal mit allen Funktionen installiert. Somit kann gegebenenfalls sofort reagiert werden, wenn Gefahr im Verzug ist.

Im kritischen Bereich mit geringster Überdeckung wurden umfangreiche Vorarbeiten zur Abfangung der Gebäudefundamente durchgeführt. Ein eigens hierfür erstellter Injektionsschacht mit einer Tiefe von 15 m und 6 m Durchmesser bei einer Betondicke von 0,25 m ermöglichte Bohr- und Injektionsarbeiten unter den betroffenen Häusern (Bild 10).

Auch durch die Kellersohlen hindurch wurden Bodenverbesserungen durch Injektionen ausgeführt. Bereits bei diesen Vorarbeiten kam ein vorläufiges Schlauchwaagensystem (Fabrikat Glötzl Baumesstechnik, Rheinstetten) injektionsbegleitend zum Einsatz, um ungewollte Bauwerksverformungen zu vermeiden.

Sodann wurde der Gebäudekomplex ca. zwei Monate vor der Vortriebsunterfahrung durch unterirdische Einpressungen vom Schacht aus gezielt um ca. 20 mm gehoben und damit möglichst exakt auf das statisch erforderliche Vorhaltemaß und die Vertikalität der Objekte ausgerichtet. Grundlage für dieses Verfahren war ein Bohrplan mit den Vorgaben für die Hebungsinjektionen (Bild 11).

Die Sensoren der eingesetzten Messanlage zur hydrostatischen Erfassung (System GETEC) der Gebäudedehformationen waren in den Kellerräumen auf etwa gleichem Höhenniveau eingebaut. An 27 Stellen erfolgten permanente Messungen mit hochpräzisen Druckschlauchwaagen in Kombination mit Dreifach-Extensometern (Bild 12).

Die vorsichtige Unterfahrung der Extremlage erfolgte dann erfolgreich Ende Oktober 2011. Im kritischen Bereich an der Oberbachstraße ging das Kalkül der Planer auf: Die prognostizierte und ausgeführte Vorhebung der Gebäude entsprach fast genau den Gebäudesetzungen durch den Tunnelvortrieb, und der Komplex wurde ohne nennenswerte Schäden mit der TVM durchfahren. Zahlreiche Straßen und Gebäude sowie ein Friedhof und ein Schulgebäude lagen am weiteren Weg der TVM in Richtung Innenstadt.

Am 07.11.2011 schlug die Tunnelvortriebsmaschine nahe dem Stadtzentrum in Cochem nach 4,2 km Schildfahrt präzise in die Anschlagwand durch. Ohne den hohen Stand der Messtechnologie, hochpräzise Instrumente und den verlässlichen Betrieb des automatischen Geomonitorings hätte man dieses anspruchsvolle Projekt bei der hier gewählten Trassen- und Gradientenführung nicht realisieren können.



Bild 8: Echtzeit-Ergebnisdarstellung, Ausschnitt (Grafik: Sterzik)



Bild 9: Display im Steuerstand der TVM



Bild 10: Schacht für die Hebungsinjektionen (Foto: Sterzik)

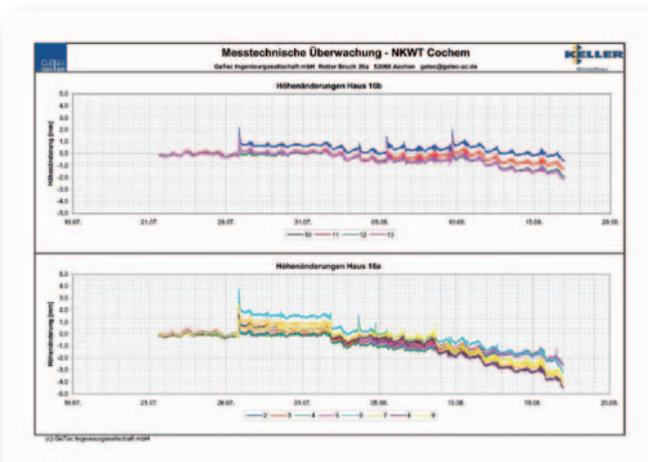


Bild 11: Exakte Schlauchwaagenmessungen begleiten die Hebungs- und Vortriebsarbeiten. (Grafik: Sterzik)

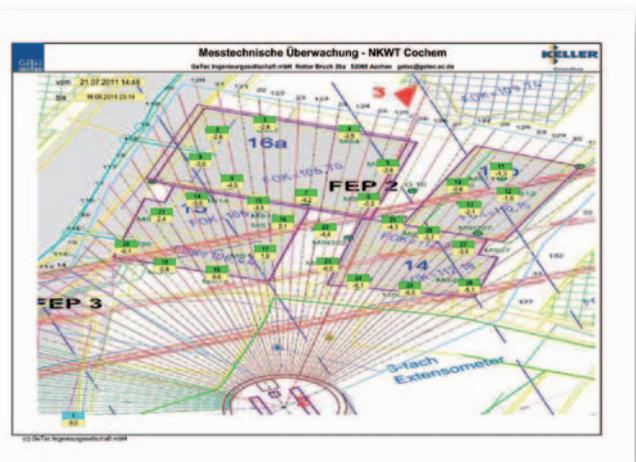


Bild 12: Schematische 3D-Ergebnisdarstellung der Druckschlauchwaagen im kritischen Bereich (Grafik: GeTec)



Bild 13: Am 07.11.2011 hat die TVM nach 4,2 km ihr Ziel in Cochem erreicht.

Literatur

- [1] Krüger, J.: Absteckungsnetze, speziell für Tunnelabsteckungen. In: Hans Pelzer: Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, S. 507–526, 1985
- [2] Niemeier, W.: Anlage von Überwachungsnetzen. In: Hans Pelzer: Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, S. 527–558, 1985
- [3] Weithe, G.: London Heathrow Airport: Innovatives Vermessungskonzept beim Gepäcktunnelbau. Verm.-Ing. 5/1996, S. 204–209
- [4] Weithe, G.: Channel Tunnel Rail Link: Englands HighSpeed-Bahntrasse von London zum Eurotunnel. VDV-Schriftenreihe Band 18 Ingenieurvermessung – Aktuelle Baustellen. Verlag Chmielorz, Wiesbaden, S. 51–66, 2001

- [5] Deicke, R./Bräker, F.: Bau und Vermessung des neuen Gotthard-Basistunnels, Vortrieb von der südlichen Seite. VDVmagazin 3/2007, S. 194–202
- [6] Ausserdorfer, M.: Die „Neue Brennerbahn“ mit Basistunnel. VDVmagazin 1/2010, S. 18–21
- [7] Benecke, N./Schultheiß, V.: Ausgewählte Aufgaben der Vermessung im Tunnelbau am Beispiel des Brenner-Basistunnels. VDVmagazin 3/2010, S. 168–171
- [8] Weithe, G.: Tunnelvermessung am Beispiel des neuen Jagdbergtunnels (BAB A4) in Thüringen. VDVmagazin 5/2010, S. 352–359
- [9] BILDUNGSWERK VDV aktuell: Weise, B.: Der Neue Kaiser-Wilhelm-Tunnel (NKWT) in Cochem, VDVmagazin 1/2011, S. 32–33

Autoren

Dipl.-Ing. Gerhard Weithe
ALPINE BeMo Tunnelling GmbH
NL West
Wahrbrink 10
59368 Werne
gerhard.weithe@alpine-bemo.com

Dipl.-Ing. Paul Sterzik
ALPINE BeMo Tunnelling GmbH
NL West
Wahrbrink 10
59368 Werne
paul.sterzik@bemo-net.de

VDV-Schriftenreihe Band 25

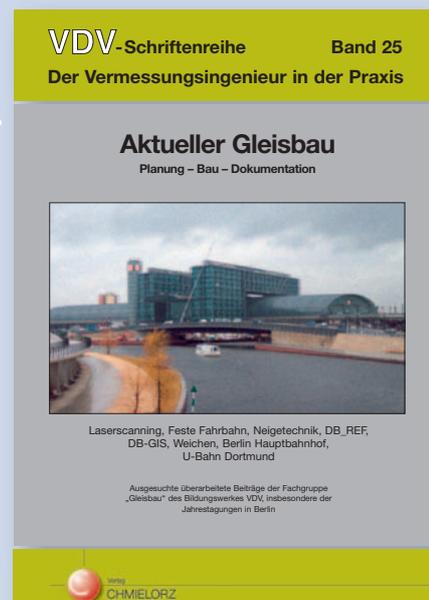
Aktueller Gleisbau Planung – Bau – Dokumentation

Ausgesuchte überarbeitete Beiträge der Fachgruppe „Gleisbau“ des Bildungswerks VDV, insbesondere der Jahrestagungen in Berlin

Aus dem Inhalt:

Laserscanning, Feste Fahrbahn, Neigetechnik, DB-REF, DB-GIS, Weichen, U-Bahn Dortmund...

**Broschur, 148 Seiten Umfang,
ISBN 978-3-87124-331-8, 21,80 EUR zzgl.
Versandkosten/inkl. USt.**



Verlag Chmielorz GmbH – Postfach 22 29 – 65012 Wiesbaden – Fax: 0611/30 13 03 – info@chmielorz.de – www.chmielorz.de