



1	Vorwort	3
2	Meilensteine Jackcontrol	4
3	Design und Beratung	7
4	MSS – Microtunneling Support System	14
	4.1 Übersicht	14
	4.2 MSS-Software	18
	4.3 Hardware	26
	4.4 Firmenlösung	28
5	Zubehör für Vortriebsrohre	32
	5.1 Übersicht	33
	5.2 Die Hydraulische Fuge	40
	5.3 Der EDAR®	47
	5.4 Zementleiminjektion JCGrout	53
	5.5 Innerer Fugenverschluss JCFlex	57
6	Qualitätssicherung im Rohrvortrieb – Das Echtzeit-Monitoringsystem	58
	6.1 Für jeden Vortrieb das optimale Monitoringsystem	59
	6.2 Grundlagen	60
	6.3 Software	64
	6.4 Jack Director®	66
	6.5 Support	67
	6.6 Dokumentation des Vortriebs	67

1 Vorwort

LIEBE FREUNDE DES ROHRVORTRIEBES

Seit dem Erscheinen unseres letzten Gesamtkataloges 2018 hat sich im Hause Jackcontrol sehr vieles bewegt; fast kein Stein ist auf dem andern geblieben: Einer breiten Nachfrage unserer Kundschaft nach einem umfassenden Datenmanagementsystem für Rohrvortrieb gehorchend, hat sich die Jackcontrol 2019 entschieden, dieses umfangreiche wie anspruchsvolle Projekt in Angriff zu nehmen. Nach rund zweijähriger intensiver Entwicklung konnten wir im Frühjahr 2021 mit grossem Stolz unser neues **Micro-tunneling Support System MSS** auf dem Markt einführen. MSS löst seither unsere gute alte JCMonitoring-Software mit grossem Erfolg ab. Während das MSS-Basispaket eine auch für einfache und kurze Vortriebe geeignete, kostengünstige Grundausstattung bereitstellt, können projektbezogen weitere Ergänzungen bis hin zur **3D-BIM-Option** dazu gewählt werden, sodass MSS praktisch allen Projektanforderungen gerecht wird und auf allen bekannten Kombinationen von Rohr-Typen und Druckübertragungsringen angewendet werden kann.

Die neue MSS-Software erfordert zugleich viel leistungsfähigere Hardware (Rechner, Datenleitungen, Bildschirm usw.), sodass mit der Einführung der MSS-Software auch eine neue Hardware-Generation eingeführt wurde. Hier entwickelten wir mit unserem langjährigen Partner VMT GmbH, Bruchsal D, die neue Hardware-Plattform **MT.connect**. MT.connect ist vollständig kompatibel mit den Anwendungen

von VMT und Jackcontrol und wird über die nächsten Jahre die Basis für viele weitere Applikationen im Tunnel bilden; die gemeinsame Anwendung bringt namhafte Synergien und Einsparungen an Zeit und Kosten. Gleichzeitig verwendet MT.connect DSL-Technologie und bringt damit die grosse Welt des Internets mit seinen mannigfaltigen Anwendungsmöglichkeiten (z.B. LAN/WLAN, Internet-Telefonie, VPN, Videostreaming usw.) in den Tunnel, was den Baustellenalltag weiter erleichtert.

Mit der Einführung von MSS stehen wir erst am Anfang und MSS wird sich laufend weiterentwickeln. So konnten wir im Frühjahr 2022 die neue TUNIS-Navigationssoftware von VMT konsequent auf der MSS-Hardware implementieren – mit der gemeinsamen Lösung **MSS^{TUNIS}** als Resultat. Somit können Datenmanagement, Navigation und Vortriebsmonitoring in einem stimmigen Gesamtsystem synergetisch auf ein und derselben Hardware eingesetzt werden. In eine ähnliche Richtung geht auch die neue Anwendung **MSS.on**, welche wir zusammen mit der Firma Herrenknecht entwickelt haben und aktuell im Markt einführen. Mit MSS.on stehen MSS und MT.connect in einer vollständig in die Herrenknecht-Steuercontainer integrierten, fest installierten Lösung zur Verfügung, was regelmässigen Anwendern weitere Kosten- und Zeiteinsparungen bringt.

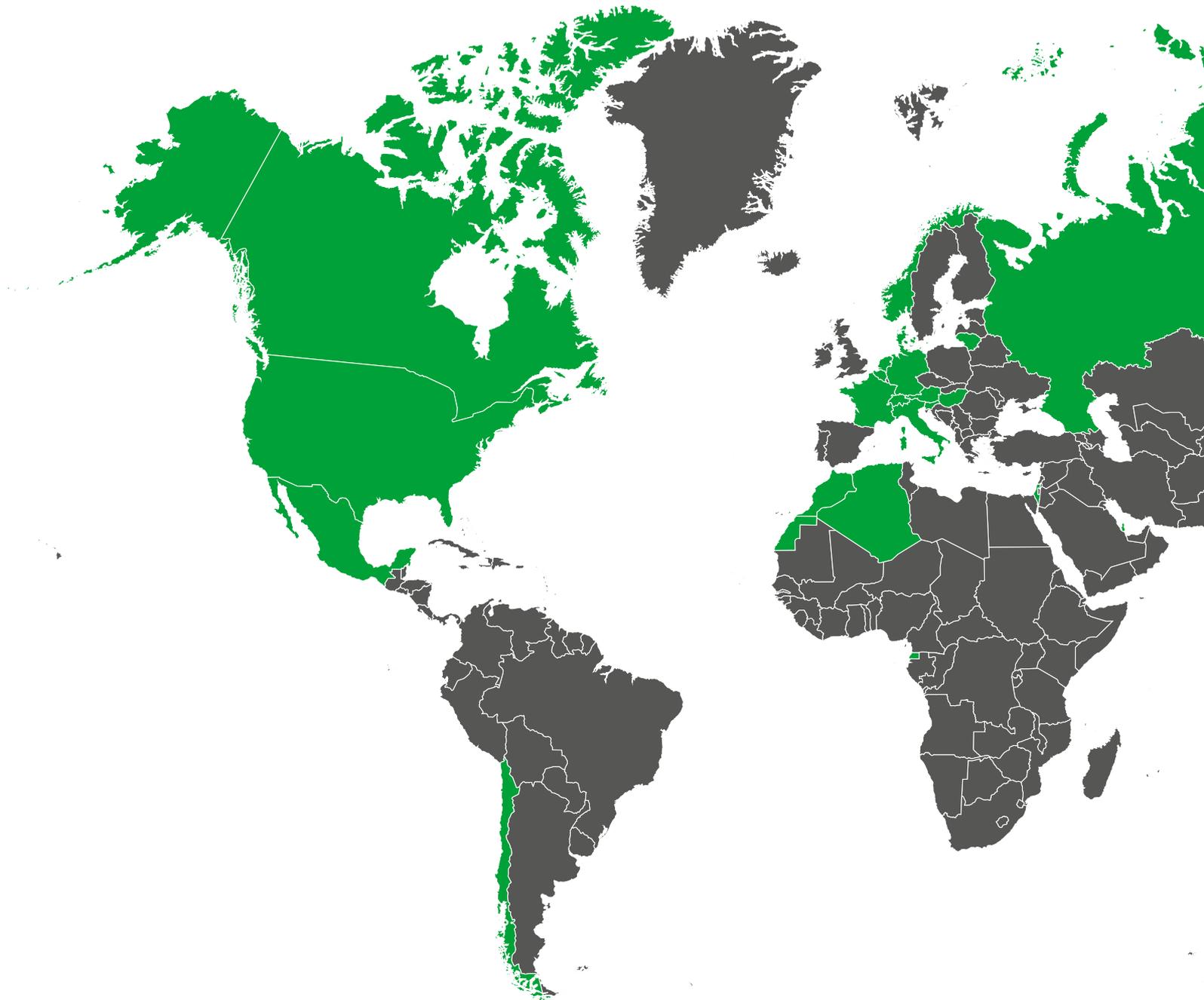
Neben der ganzen Entwicklung im Bereich Software und Hardware haben wir aber auch den Tunnel nicht vergessen und freuen uns, Ihnen im vorliegenden Katalog mit **JCGrout** und **JCFlex** zwei neue Lösungen für die Fugen-Nachbearbeitung bzw. Inneren Fugenverschluss vorstellen zu können – letztlich dürfen wir nicht ausser Acht lassen, dass bei all der schönen Vortriebstechnik das Rohr bzw. der Tunnel im Fokus steht und das vom Bauherrn bestellte Werk bildet. Weiterhin im Sortiment und nicht minder wichtig sind natürlich die bewährten Druckübertragungsmittel **Hydraulische Fuge** und **EDAR®**.

Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen beim Studium unseres neuen Gesamtkataloges und freuen uns jetzt schon auf Ihre Kontaktaufnahme und auf eine konstruktive Zusammenarbeit mit Ihnen!

Ihr Dr. Stefan Trümpi-Althaus



2 Meilensteine Jackcontrol





2005	Erster Einsatz Hydraulische Fuge Vortrieb Hardstrasse Zürich (CH)
2007	Erster Vortrieb ausserhalb der Schweiz Vortrieb Rothenburg ob der Tauber (D)
2008	Erster Vortrieb in Russland Vortrieb PRiSS St. Petersburg (RUS)
2010	Erster Vortrieb auf Stahlrohr Tunnel Schuman-Josaphat, Brüssel (BE)
2010	Vortrieb mit kleinstem Rohrdurchmesser DN 800 mm, DA 1100 mm Unterquerung SBB-Gleisareal (CH)
2011	Grösste Vortriebskraft mit Hydraulischer Fuge (F=26 000 kN) und längste eingesetzte Hydraulische Fuge (L=35 550 mm) Vortrieb GWK Mannheim Block 9 (D)
2011	Kleinster Kurvenradius (R=80 m) Vortrieb Oslo (NOR)
2012	Erstes Projekt im Mittleren Osten Vortriebe Muharraq STP, Manama (BAHR)
2013	Vortrieb mit längsten Vortriebsrohren (L=6,1 m), gleichzeitig erster Vortrieb in Nordamerika Vortrieb SARI Mainline Orange County (USA)
2014	Vortrieb mit grösstem Rohrdurchmesser DN 3500 mm, DA 4200 mm Vortrieb Bottrop Boye, Emscher (D)
2016	Erster Vortrieb in Singapur, Südostasien Vortrieb T3003, MH94–MH93 (Singapur)
2016	Erster Einsatz JCGrout-Zementinjektionen Vortrieb Kraftwerk Cotlan, Rütli (CH)
2017	Einführung EDAR®
2018	Längster Vortrieb und erster Vortrieb in Mittelamerika Vortrieb Altamira Landfall, L = 2224 m, Tampico (MEX)
2018	Erster Vortrieb mit EDAR® durch Jackcontrol Vortrieb Einhausung Schwamendingen Los V, Zürich (CH)
2018	Einführung RAM-Befestigung für Hydraulische Fuge
2019	Erster Vortrieb in Ozeanien City Rail Link, Contract 6, Auckland (NZ)
2020	Erster Vortrieb mit MT.connect-Hardware Sanierung Näppenschwilerbach, Mörschwil (CH)
2021	Erster planmässiger Einsatz MSS Montglasstrasse, München (D)



STARTSCHACHT VORTRIEB PARIS (FR)



3

Design und Beratung

WIR SIND VIELSEITIGER, ALS SIE VIELLEICHT GLAUBEN

Mit unserem gut ausgebildeten und erfahrenen Stab an Ingenieuren, Konstrukteuren, Zeichnern und weiteren Fachexperten decken wir ein breites Spektrum an Disziplinen interaktiv ab:

- Baustatik und Konstruktion (Stahlbau, Stahlbeton, Holzbau)
- Geotechnik und Bodenmechanik
- Wasser- und Ölhydraulik
- Maschinenbau und -konstruktion
- Elektrotechnik
- Mess- und Regeltechnik
- usw.

Dabei sind wir ausgesprochene Querdenker und versuchen, möglichst auf vorhandenes Fachwissen und Erfahrung – allenfalls auch aus ganz anderen Fachbereichen – zurückzugreifen. Unsere gesamte Firmengeschichte ist

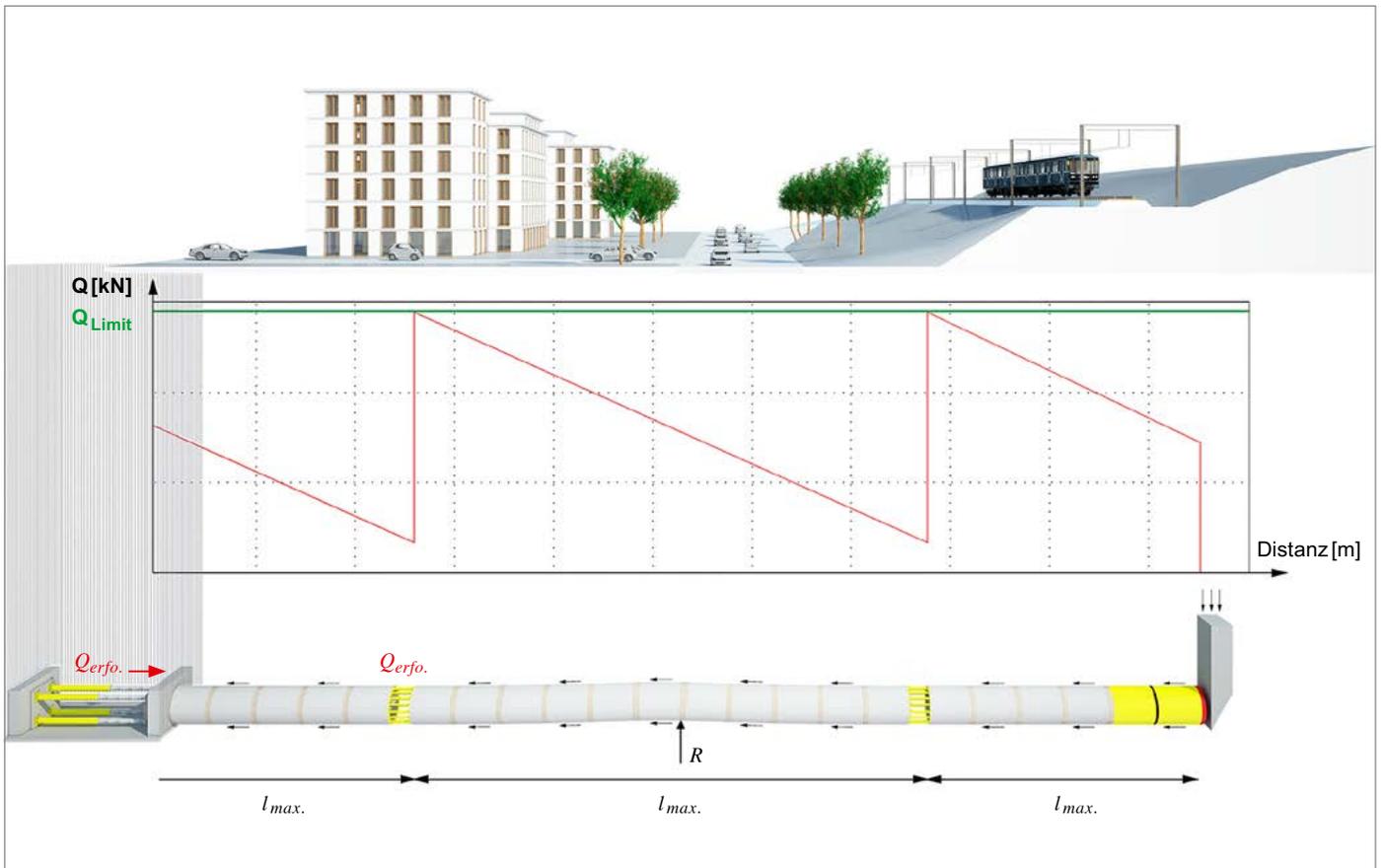
geprägt von der Entwicklung von neuen Produkten und Anwendungen, und entsprechend gerne nehmen wir neue Entwicklungen mit der nötigen Portion Mut, Innovation und Respekt in Angriff.



FUGENPRÜFSTAND



BEWEHRUNGSKORB IN SCHALUNG



Nebst dem Monitoring von laufenden Vortriebsarbeiten mit MSS übernehmen wir für Sie rund um den Rohrvortrieb weltweit folgende Aufgaben:

- Rohrdesign/-statik nach allen weltweit angewendeten Normen (z. B. SIA, DWA, BS, ASCE, ASTM usw.)
- Vortriebskraftberechnung
- Stützdruckberechnung
- Schachtbauwerke in allen Böden und im Grundwasser unter Anwendung aller Techniken des Spezialtiefbaus
- weitere Hilfseinrichtungen wie Kran-Gehänge, Rohrlager, Hilfsbrücken, Rohrschirme usw.
- Sonderlösungen rund um den Rohrvortrieb
- Entwicklung von Sonderanwendungen
- Expertisen

Dazu sind wir mit unserer breiten wie fundierten Erfahrung und auch aktueller Bemessungssoftware (wie z. B. Plaxis®- oder Cubus®-Programmen) bestens befähigt.

Weiter unterstützen wir Gesamtplaner und Bauherren im Bereich Planung von Rohrvortrieben und Microtunnel im Rahmen von übergeordneten Gesamt- bzw. Grossprojekten, wobei wir von den ersten Planungsstudien über Bewilligungsphase und Ausführung bis hin zur Schlussabnahme die gesamte planerseitige Projektverantwortung und die zugehörigen Dienstleistungen übernehmen können. Unsere sehr breite Erfahrung von Hunderten von meist anspruchsvollen ausgeführten Vortrieben und fast so vielen gelösten Problemen stellen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

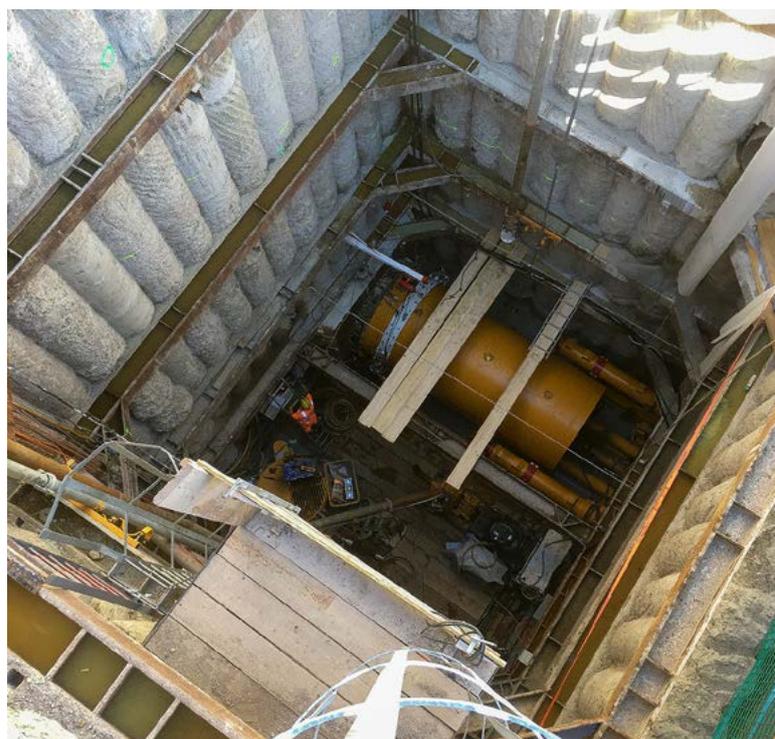
Laufende Weiterentwicklung unserer Fähigkeiten und die Anwendung neuer Methoden sind für uns selbstverständlich; so wenden wir z. B. auch die BIM-Methode täglich an und haben auch für MSS ein entsprechendes Software-Modul entwickelt (siehe auch Kapitel 4).



SCHIFFSTRANSPORT VON VORTRIEBSROHREN (VANCOUVER, BC)



ROHRPRÜFSTAND



STARTSCHACHT IN BOHRPFÄHLWAND



VORTRIEB KRAFTWERK COTLAN, RÜTI (CH): FELDFABRIK FÜR VORTRIEBSDROHRE



VORTRIEB KRAFTWERK DOPPELPOWER, SCHWANDEN (CH):
HILFSBRÜCKE



VORTRIEB HOCHWASSERSCHUTZ REICHENBURG (CH):
ROHRSCHIRM



VORTRIEB TUNNEL SCHUMANN-JOSAPHAT, BRÜSSEL (BE):
STAHLROHRE GEFLANSCHT



VORTRIEBSRÖHRE NORTH DAKOTA (USA)



REALTIME-MONITORING AUF BAUSTELLE



EXPERTISE ROHRSCHADEN



TRANSPORTBEREITE HYDRAULISCHE FUGEN IN GLARUS (CH)

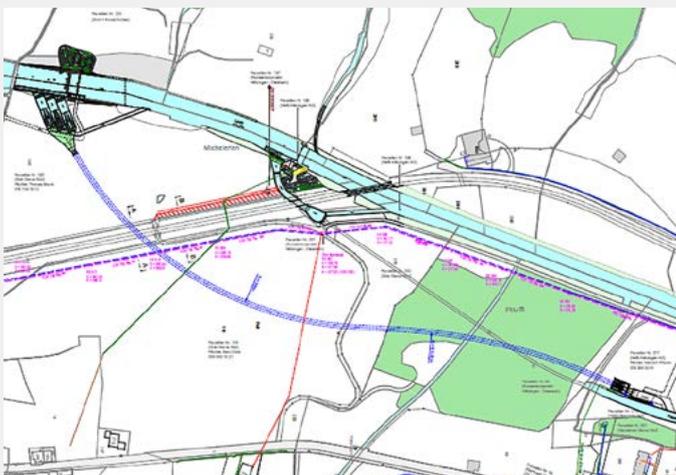
Druckleitung eines Flusskraftwerks in den Schweizer Alpen



Der Standort und die Geometrie der Wasserfassung am Fluss sowie jene der Kraftwerkzentrale und des Unterwasserkanals an einem bestehenden Kanal legten die Tangenten der beiden Enden der Druckleitung fest. Aufgrund der maximalen Überdeckung von 14,3 m, der Geologie- und Grundwasserbedingungen sowie des Terrains (bewaldet, Runse) kamen nur geschlossene Microtunnelingverfahren in Frage.

Zur hydraulischen Optimierung und aufgrund vorhandener Infrastruktur über- und untertage stellte sich eine S-Kurve in der Horizontalen mit einer steilen Vertikalkurve am Ende des Vortriebs zur Minimierung der Zielschachttiefe und damit der teuren Wasserhaltung als optimale Linienführung heraus.

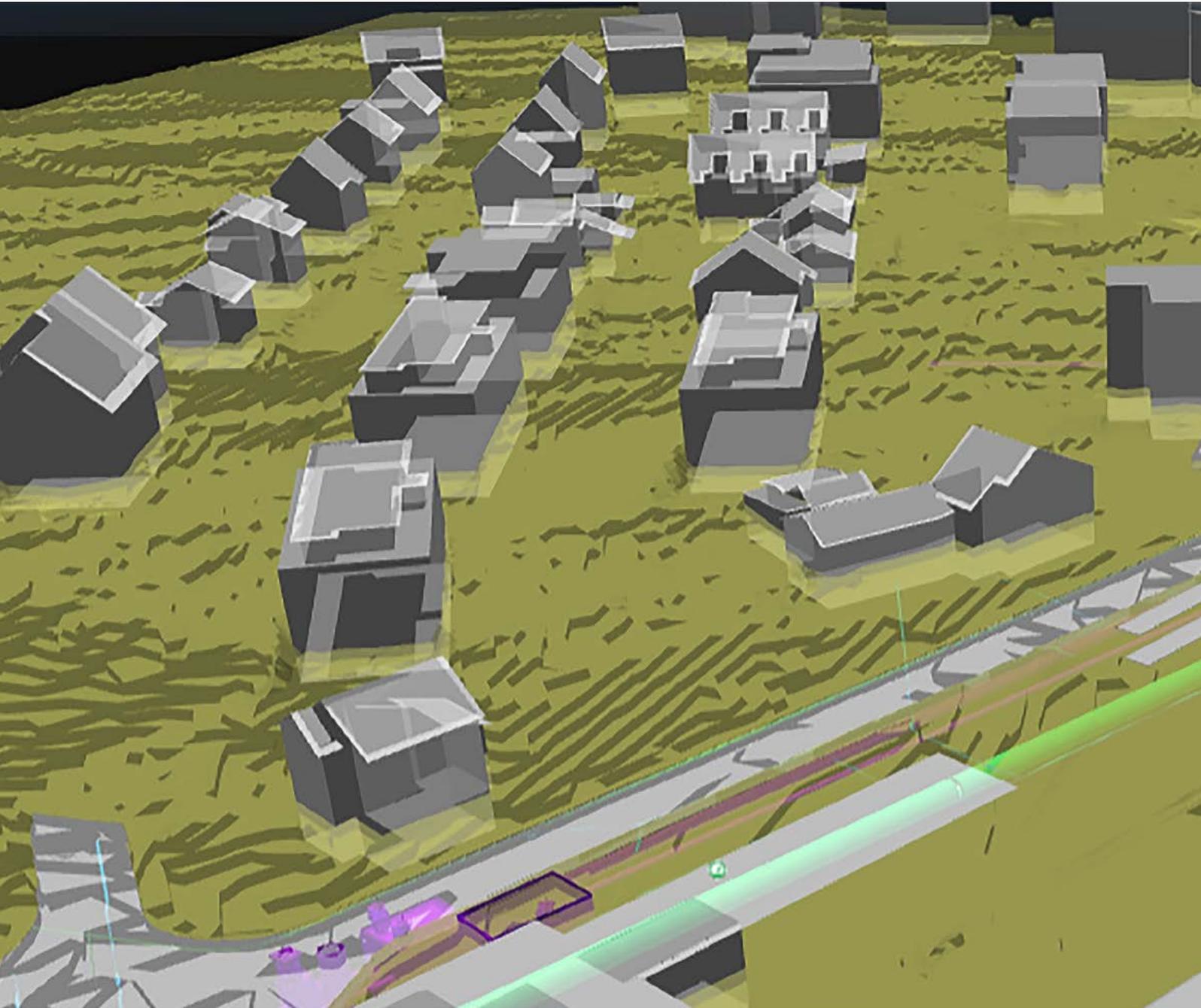
Der enge Kurvenradius am Ende des Vortriebs in Kombination mit dem grossen Rohrdurchmesser führte zu grossen Fugenwinkeln, wobei auf der Kurveninnenseite der Fugenspalt lediglich 15 mm betrug, während auf der Kurvenaussenseite eine Spaltweite von bis zu 75 mm gemessen wurde.



SITUATION

AUF EINEN BLICK

Projektname	Kraftwerk Rufi
Ort	Hätzingen GL, Schweiz
Zweck	Druckleitung
Fertigstellung	2016
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Unterquerung eines Gewölbekanal ■ Unterquerung Bahnlinie/ Geomonitoring ■ kleine Überdeckung
Gesamtlänge	534 m
DN	3200 mm
DA	3800 mm
Linienführung	räumliche S-Kurve
Minimaler Kurvenradius	260 m
Rohrwerkstoff	Stahlbeton
Rohrlänge	3 m/4 m
Minimale Überdeckung	unter Gewölbekanal: 0,6 m unter Bahnlinie: 7,45 m
Geologie und Grundwasser	gesättigter Bachschutt/-schotter; stark durchlässiger, loser sandiger/siltiger Kies mit Steinen und Blöcken. Grundwasserpegel 4 m über Rohrscheitel.
Hydraulische Fuge	JC250/zwei Umläufe. Zulässige Vortriebskraft 22 000 kN/2240 t.
Navigationssystem	VMT SLS Microtunneling LT
TBM	Herrenknecht AVND3000
Bauherrin	Hefti Hätzingen AG
Planer	Jackcontrol AG, Schweiz
Vortriebsunternehmer	K-Boringen, Belgien



4 MSS

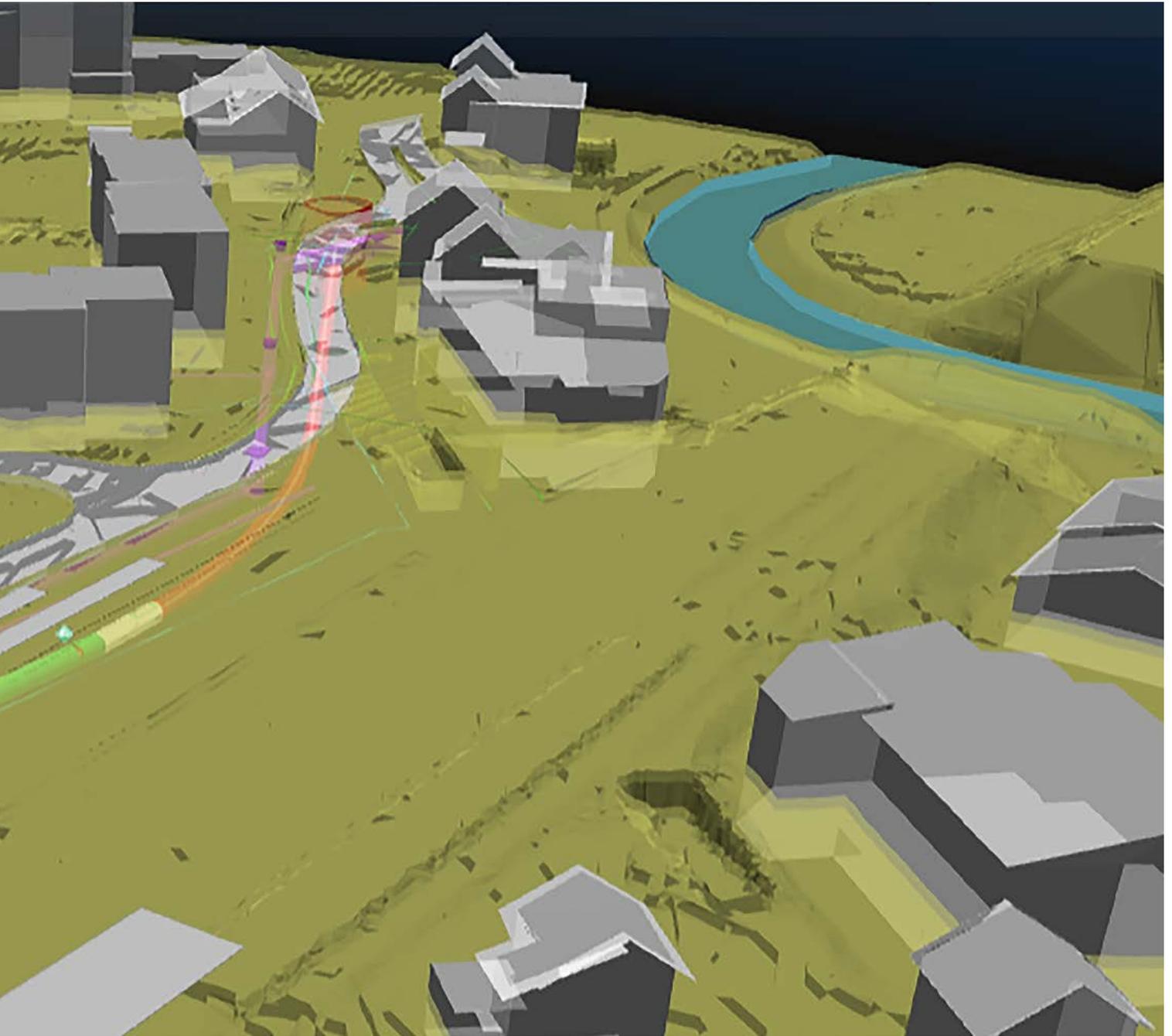
Microtunneling Support System

4.1 ÜBERSICHT

Das Microtunneling Support System MSS unterstützt den Vortriebsunternehmer in der Durchführung von laufenden Vortriebsarbeiten und besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- browserbasierte MSS-Software
- zugehörige Hardware inkl. MT.connect-Tunnel-Hardware-Plattform
- projektbezogene Dienstleistungen und Engineering.

MSS erlaubt eine zentrale, automatisierte Speicherung und Verwaltung aller während eines Vortriebs anfallenden Daten (z. B. von der TBM, Vermessung, Rohrüberwachung, Navi-



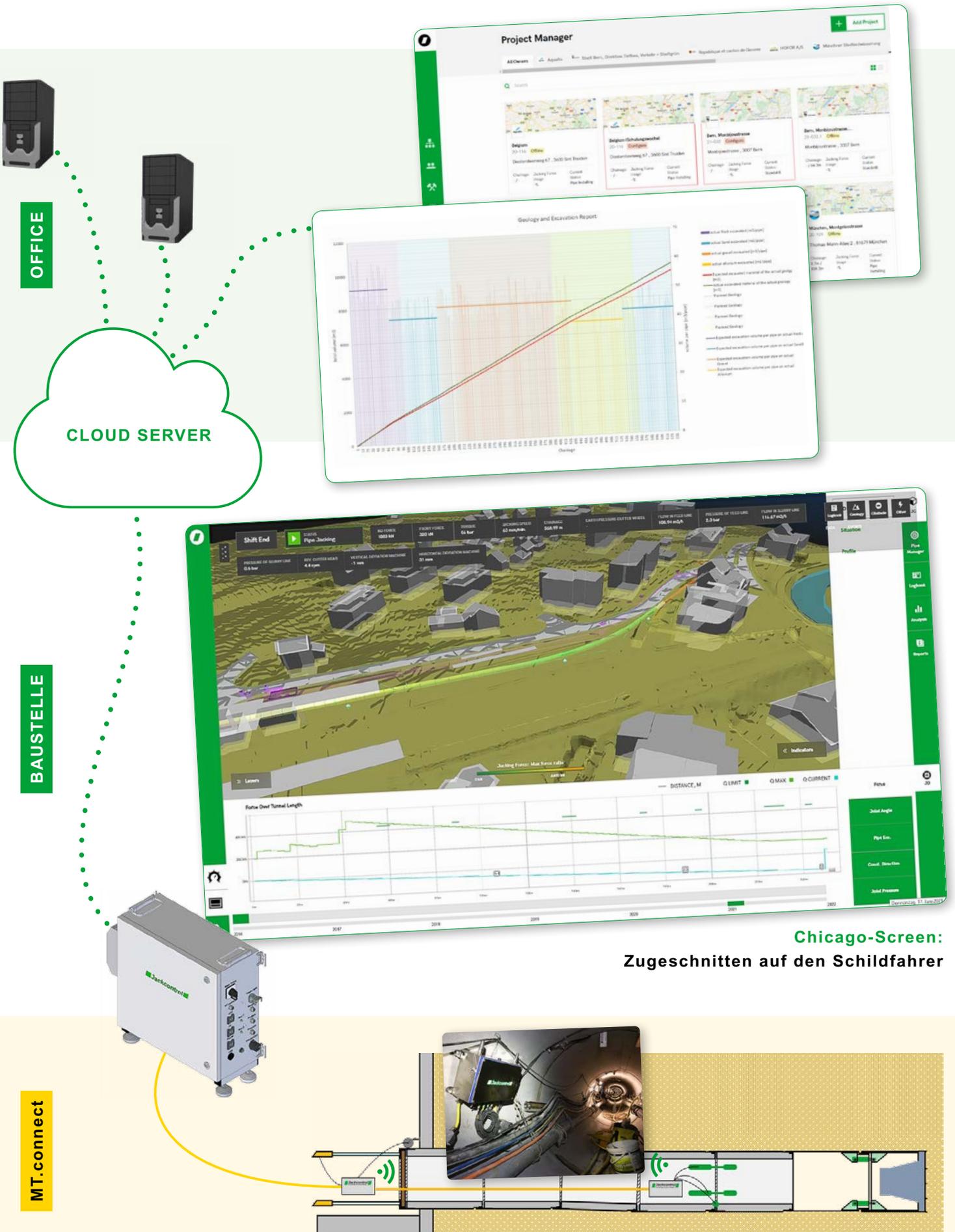
gation, Ringspaltschmierung usw.) und stellt diese Daten sowohl in grafischer als auch in numerischer Form schnell und unkompliziert zur Verfügung. Dies erlaubt dem Vortriebsunternehmer und den weiteren Projektbeteiligten die Durchführung von vielseitigen und fallbezogenen Auswertungen und Analysen des laufenden Vortriebsprozesses. MSS wurde spezifisch für die Bedürfnisse von Rohrvortrieb und Microtunneling (wie auch anverwandter Verfahren wie DirectPipe®) entwickelt und zeichnet sich aus durch folgende Haupteigenschaften:

- einfaches und komfortables Daten-Management
- offene Systemarchitektur für alle verfügbaren Daten
- einfache und intuitive Anwendung

- schnelle und einfache Analysefunktionen
- Transparenz für alle Projektbeteiligten
- BIM-Kompatibilität
- einfaches und komfortables Rapportwesen für Vortriebsfirmen
- Monitoring Vortriebsrohre und Druckübertragungsmittel.

MSS ist modular aufgebaut: Während das Basis-Paket praktisch für jeden Vortrieb anwendbare Grundleistungen umfasst, können die weiteren MSS-Leistungspakete gemäss der nachfolgenden Übersicht den Projektanforderungen entsprechend aktiviert werden. Der Project Manager bildet dabei das Zugriffsportal und regelt die Zugriffsberechtigungen für den einzelnen Anwender.

Übersicht MSS



PROJECT MANAGER

- Eingangsportal zu MSS-Software
- Projektübersicht
- Projektvorbereitung und Konfiguration
- Live-Projektbetreuung ab Office-PC
- Datenmanagement

**Office-Screen:
Zugeschnitten auf den
Büroarbeitsplatz**



BASIC-PACKAGE

- inkl. MT.connect-Hardware und Baustellenrechner
- Datenbank /-manager mit Permission-System zur Regelung Datenzugriff für Dritte
- offene Schnittstelle für sämtliche Daten auf Baustelle
- Projekt pseudo-3D-Visualisierung
- Pipe Manager: Rohrfolgeplan laufend aktualisiert und Rohr-Logistiksupport
- Report Manager: digitale Schicht-, Tages-, Wochen- und Rohrberichte in Firmen-CI
- Analysis-Tool für alle numerischen Daten

Option JCPipe®

- Rohrstatik und -design inkl. Dokumente Qualitätssicherung
- Überwachung Statik/Tragsicherheit Rohre während Vortrieb
- automatische Alarmierung

Option Navigation

- Verarbeitung und Visualisierung Navigationsdaten
- Kompatibilität mit TUnIS von VMT → **MSS^{TUnIS}**

Option 3D / BIM

- Real-3D-Visualisierung Vortrieb und Umgebung in Echtzeit
- Dokumentation und Vortriebsprozess BIM-kompatibel

Option JackDirector®

- Analyse Zusammenhang Steuerzylinderstellung und Rohrfügunswinkel
- verhindert zu starkes Steuern

Option Hydraulische Fuge

- Druckübertragungsring für Kurvenfahrt sowie für lange und schwierigere Vortriebe

Option EDAR®

- Druckübertragungsring aus Elastomer, Innerer Fugenverschluss

TUNNEL-HARDWARE

- kompatibel zu VMT- und Jackcontrol-Hardware, mit dem gleichen Kabel kombinierbar
- Internet-Datentransfer
- Internet im Tunnel für Dritte (LAN und WLAN)
- Hybrid-Kabel für Power und Signal
- Joblight-Tunnel-Grundbeleuchtung optional
- einfache und schnelle Plug-in-Verbindung
- robust und untertagebautauglich

MT.connect by



Bedarfsweise liefert Jackcontrol AG auch die projektbezogen erforderlichen Druckübertragungsringe (Optionen Hydraulische Fuge und EDAR®), wobei die Option Hydraulische Fuge in Verbindung mit Zementleiminjektionen JCGrout zum Einsatz gebracht werden kann. MSS kann sowohl auf ein einzelnes Projekt bezogen (Stand-alone-Lösung/Hardware in Miete) als auch systematisch bei jedem Vortrieb einer Firma (Firmenlösung, Hardware im Eigentum Vortriebsunternehmer, siehe auch Kapitel 4.3) eingesetzt werden.

4.2 MSS-SOFTWARE

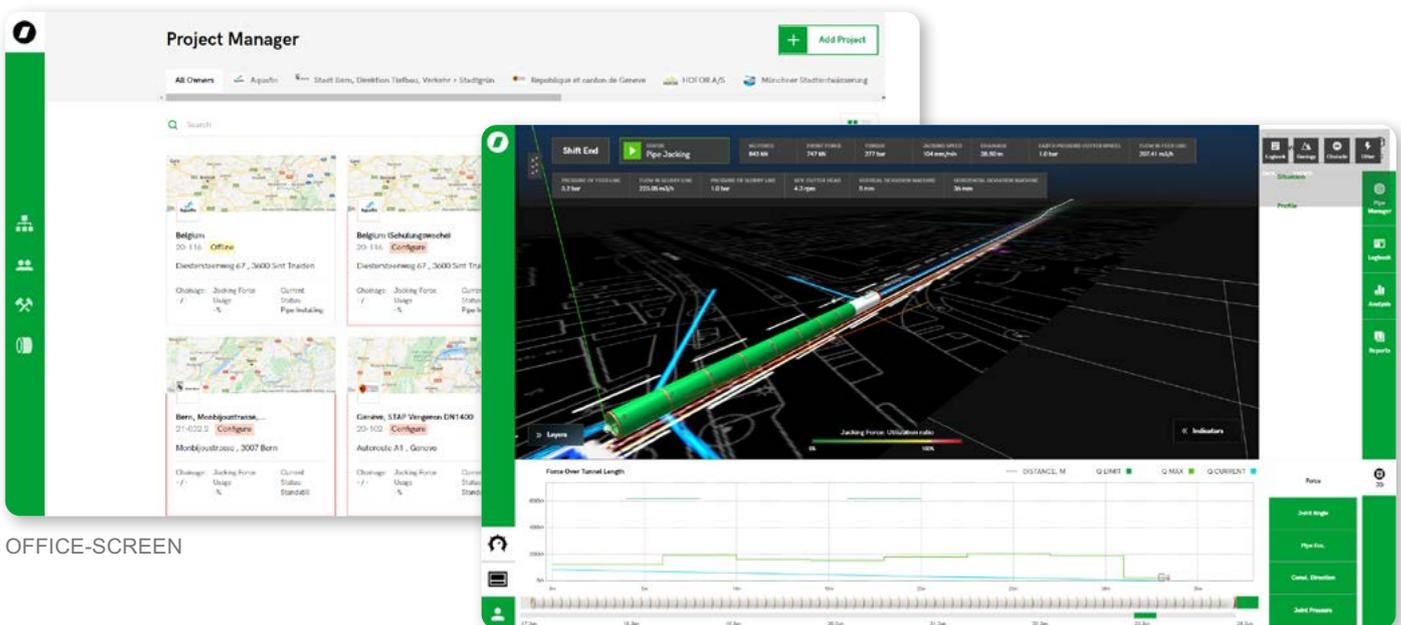
MSS-Leistungspakete

MSS-Basispaket

Das MSS-Basispaket umfasst die erforderlichen Software- und Hardwarekomponenten sowie projektbezogene Dienstleistungen, die den Vortriebsunternehmer bei der Durchführung von Vortriebsarbeiten unterstützen. Insbesondere erlaubt das MSS-Basispaket die Erfassung und die Speicherung der während des Vortriebs anfallenden Daten. Diese Daten können projekt- und situationsbezogen auf der Baustelle (Chicago-Screen) und über einen entsprechenden Internetzugang (Office-Screen) grafisch und numerisch dargestellt und selektiv berechtigten Dritten zur Verfügung gestellt werden. Das MSS-Basispaket stellt dem Vortriebsunternehmer weiter zahlreiche Funktionen für die Prozesssteuerung und -dokumentation zur Verfügung.

Das MSS-Basispaket umfasst folgende Funktionen und

- Miete MSS-Hardware für die Vortriebsdauer, umfassend alle dafür erforderlichen Komponenten (Baustellenrechner mit Touchscreen, MT.connect-Container-Box, MT.connect-Datenleitung (kompatibel mit VMT-Vermessungsausrüstung), Messrad, Druckmessung Hauptpressen, MSS-Boxen bei jedem Dehner und im Startschacht). → Falls Vermessung durch die Firma VMT GmbH erfolgt, können Sensordaten von VMT und Jackcontrol über dasselbe Kabel MT.connect übertragen werden.
- Internet-Verbindung im Tunnel (via WLAN und LAN bei jeder MSS-Box/Dehnerstation). **Damit werden praktisch alle Internet-Applikationen im Tunnel möglich.** Die Bereitstellung eines Internet-Anschlusses auf der Baustelle ist im Lieferumfang nicht enthalten und erfolgt durch den Vortriebsunternehmer.
- Schnittstelle zu TBM-Daten/-Logs (z. B. ANA-Schnittstelle von Firma Herrenknecht, durch Auftraggeber bereitzustellen).
- Datenmanager-Software für alle Vortriebsdaten, umfassend: Datenbank, Datenverwaltung/-steuerung mit selektierbarem Datenzugriff für berechtigte Dritte wie z. B. Bauleitung, Bauherr usw.
- Browser-Lösung mit parallelem Software-Betrieb auf Baustellenrechner und auf Cloud-Server, inkl. Backup-Datenspeicherung auf Jackcontrol-Server, von dem aus auch weitere Projektbeteiligte über Login Zugriff zu Daten erhalten. Zugriff auf Software und Daten überall, wo Internet vorhanden ist.



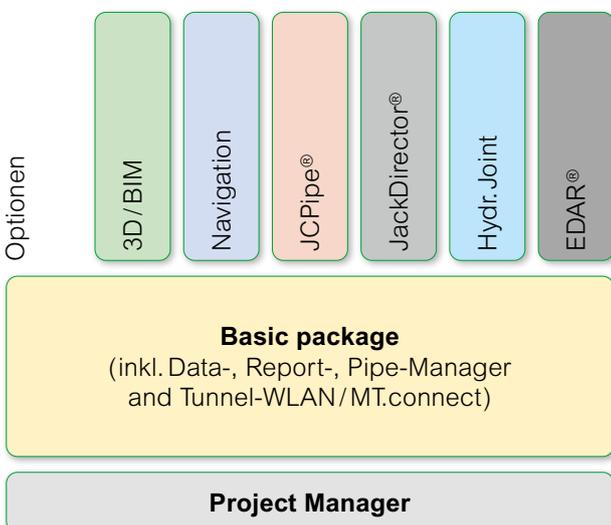
OFFICE-SCREEN

CHICAGO-SCREEN

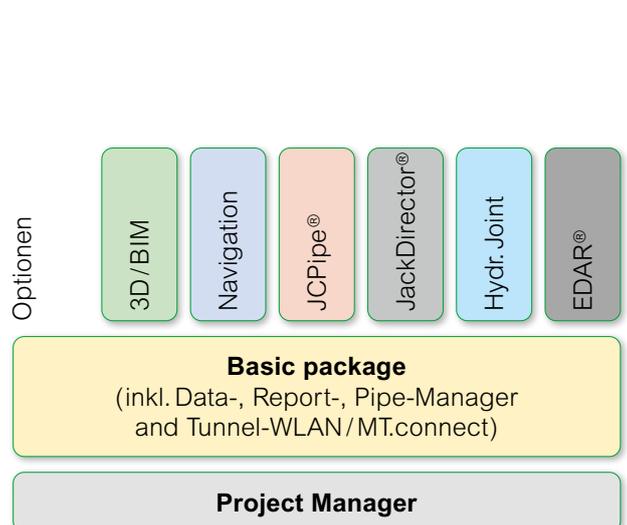
Leistungen:

- Echtzeit-Visualisierung des Vortriebs auf Touchscreen in 2D und 3D. Eine umfassende 3D-Darstellung inkl. BIM-Funktionen ist optional gegen Aufpreis erhältlich.
- **Pipe-Manager** mit folgenden Funktionen:
 - Rohrlaufplan Generator.
 - Laufende Nachführung und Aktualisierung Rohrlaufplan mit visueller und tabellarischer Darstellung.
 - Rohrlager-Manager.
 - Aufzeichnung und Speicherung von allen Dokumenten zu Rohren (Pläne, Daten und Dokumente Qualitätssicherung, Fotos, Schäden usw.) in Option 3D/BIM.
- **Report-Manager** mit folgenden Funktionen:
 - Automatische Aufzeichnung Maschinendaten gemäss DWA-A 125, SIA 195 und weiterer Normen.
 - Bereitstellung der TBM-Daten in Rapporten zuhanden der Bauherrschaft.
 - Baujournal-/-Tagebuch-Funktion auf Baustellenrechner mit schnellem, einfachem Eingabe-Editor auf Touchscreen (**damit nichts vergessen wird, was wichtig ist**) und Möglichkeit zum Setzen von Markern/Flags auf elektronischem Plan, wo besondere Ereignisse eingetreten sind (z. B. geologische Besonderheiten). Möglichkeit der Nachbearbeitung durch Projektleiter des Vortriebsunternehmers.
 - Automatische bzw. computerunterstützte Generierung von verschiedenen Rapporten: Rohr-Rapport, Schicht-Rapport, Tages-Rapport, Wochen-Rapport.
- Speicherung und Verwaltung von Rapporten.
 - Format und Inhalt der Rapporte können im Rahmen der Firmenlösung (siehe 4.4) kundenspezifisch gestaltet werden.
 - Verfügbarkeit und Zugriffsberechtigung für Dritte (Bauherr, Bauleitung usw.) können für die verschiedenen Rapporte je separat eingestellt werden.
 - Manuelle Erfassung, Aufzeichnung, Speicherung und grafische Darstellung von weiteren Daten (wie z. B. Wetterdaten, Aushubvolumen, Lärmpegel, Sauerstoffgehalt in Tunnel usw.).
 - Soll-Ist-Vergleich Baufortschritt in grafischer Form.
 - Analysetool für Baufortschritt und alle weiteren aufgezeichneten Datenreihen.
- **Analysis-Tool** mit folgenden Funktionen:
 - Schnelle Zurverfügungstellung von allen auf der Baustelle aufgezeichneten und auf der Datenbank abgelegten numerischen Daten, grafisch oder in Tabellenform.
 - Verschiedene Analyse-Funktionen.
 - Grafische Replay-Funktion für alle erfassten Datenreihen, bezogen auf Kilometrierung oder Zeitachse.
 - Ausgabe-Editor mit Möglichkeit, Daten für weitere Verwendung zu selektieren und herauszugeben (in pdf-Format).
- Baustelleninstallation und Inbetriebsetzung durch Personal der Jackcontrol AG inkl. Versetzungsspesen (bei Stand-alone-Anwendung).

STAND-ALONE-ANWENDUNG



FIRMENLÖSUNG



Leistungspaket 3D/BIM

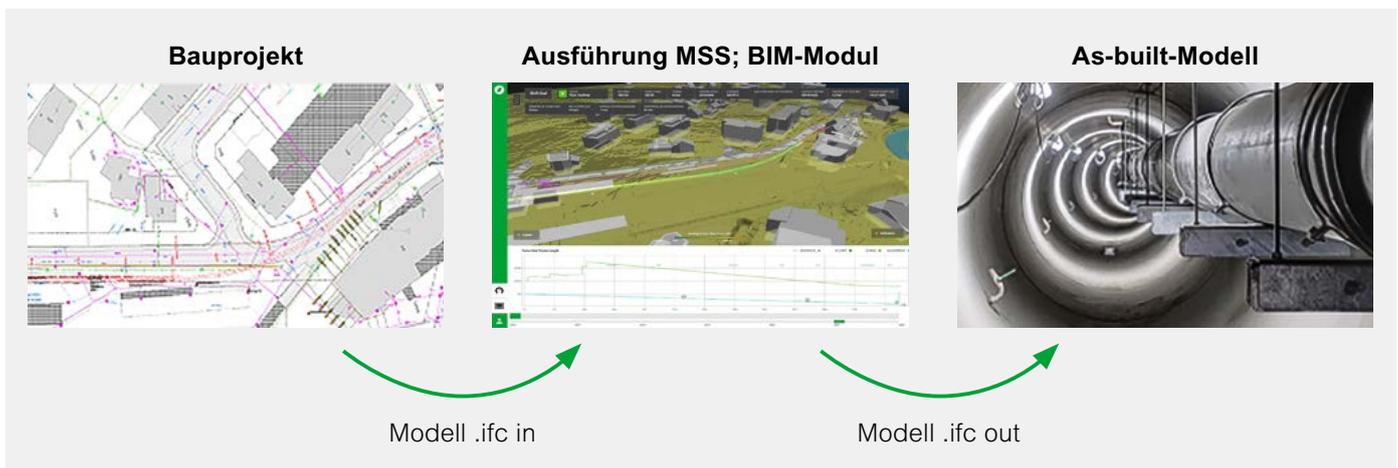
Das Leistungspaket 3D/BIM umfasst eine dreidimensionale Darstellung der Umgebung des durchzuführenden Vortriebs. Das 3D-Modell muss dazu bauseits/durch den Vortriebsunternehmer zur Verfügung gestellt werden, alternativ kann es gegen Aufpreis durch die CAD-Konstrukteure der Jackcontrol generiert werden. Weiter ermöglicht das Leistungspaket 3D/BIM die Erfassung und Speicherung sämtlicher zu den vorgetriebenen Rohren gehörenden in elektronischer Form vorliegenden Dokumenten (→ BIM-Attribute; z. B. Rohrstatik, Rohrpläne, QC/QA-Dokumente, Lieferscheine, Fotos usw.). Diese Dokumente können nach Abschluss des Vortriebs der Bauherrschaft übergeben werden.



3D-VISUALISIERUNG AUF CHICAGO-SCREEN

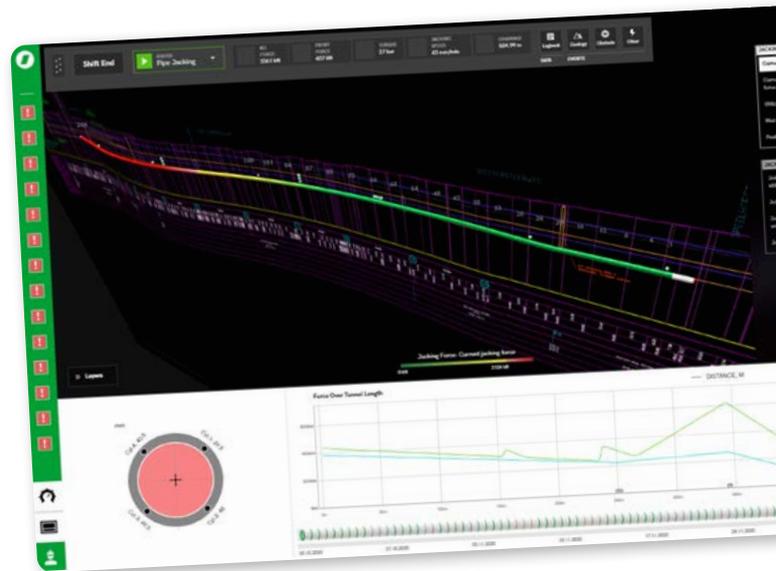
Das Leistungspaket 3D/BIM umfasst folgende Funktionen und Leistungen:

- Einlesen eines (im Normalfall durch Planer zu liefernden) 3D-CAD-Modells der Baustellenumgebung in projektbezogenem Software-Setup, umfassend z. B. folgende Layer/Teilbilder:
 - Tunnel-Soll-Achse (und Ist-Achse, wenn Option «Vermessung» im Einsatz)
 - Start- und Zielschacht
 - Geologie
 - Gebäude/Bauwerke in Umgebung
 - Grundstückkataster
 - Oberfläche
 - (und weitere).
- Grafische Darstellung von Tunnel und Umgebung auf Touchscreen im Steuerstand/Chicago-Screen dreidimensional und perspektivisch.
- Einfache und intuitive Bedienung und Einstellung Perspektive auf Touchscreen (Chicago-Screen).
- Darstellung und Aufzeichnung von BIM-Daten, also Projekt-Attributen in Ergänzung zu den reinen Geometriedaten, beispielsweise umfassend:
 - Rohrpläne
 - Rohrstatik
 - QC/QA-Dokumente aus Rohrherstellung (z. B. Rohrlaufblätter)
 - weitere Dokumente und Unterlagen aus Vortrieb (z. B. Fotos, Schadenrapporte usw.)
 - (und weitere).
- Bereitstellung BIM-Daten für Übergabe an den Bauherrn als ifc-Modell.
- Support via Telefon/Fernwartung (inkl.) oder bei Bedarf vor Ort.



Das Leistungspaket JCPipe®

Das Leistungspaket JCPipe® umfasst die Bemessung sowie das Design der eingesetzten Vortriebsrohre und Druckübertragungsringe. Der Umfang der auszuführenden Leistungen (z. B. Rohrstatik, Design Fügung und Dichtung usw.) wie auch die anwendbaren Normen und Richtlinien werden weiter unten beschrieben. Weiter umfasst das Leistungspaket JCPipe® die Überwachung der laufenden Vortriebsarbeiten im Hinblick auf die Einhaltung der bei der Bemessung der Vortriebsrohre berücksichtigten Bemessungskriterien und der damit verbundenen einzuhaltenden Vorgaben.



CHICAGO-SCREEN MIT JCPipe® UND JackDirector®

Das Leistungspaket JCPipe® umfasst folgende Funktionen und Leistungen:

- Baustatische/geotechnische Analyse mit Ausführungsstatik und Bemessung der Vortriebsrohre, umfassend Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und weitere projektbezogene Kriterien. Dabei kommen folgende Normen und Richtlinien zur Anwendung:
 - SIA 195
 - DWA-A 161
 - EN 1916
 - British Standard
 - ASCE 27-17
 - ASTM C76
 - usw.
- Anwendbar für die folgenden Rohr-Materialien:
 - Stahlbeton
 - GFK
 - Polymer-Beton
 - Composite-Rohre (z. B. Stahlbeton mit HDPE-Inliner usw.)
 - sowie Kombinationen davon.
- Anwendbar für die folgenden Arten von Druckübertragungsringen:
 - Holzwerkstoff (OSB, Spanplatte usw.)
 - Hydraulische Fuge
 - EDAR®
 - sowie Kombinationen davon.
- Automatische, computerbasierte Berechnung zulässiger Vortriebskräfte in Abhängigkeit der effektiven Steuerbewegungen (Monitoring nach DWA-A 161 bzw. mit Jackcontrol-Grenzwertdiagramm beim Leistungspaket Hydraulische Fuge).
- Intuitiv verständliche Darstellung vorhandener sowie zulässiger Vortriebskräfte und Fugenwinkel auf Gesamt-Rohrstrang während des Vortriebs in Echtzeit in 2D und 3D auf Bildschirm/Chicago-Screen (mit Farbskala), in Analysetool (in x/y-Grafik) und auch auf einzelnen Rohren (numerisch und x/y-Grafik).
- Zusammenfassung der Resultate in Schlussbericht mit Aufzeigung des erreichten Erfüllungsgrades der (baustatischen) Qualitätsanforderungen an die Vortriebsrohre.
- Miete der gegenüber dem Basispaket zusätzlich notwendigen Hardware und Sensorik (Sensoren, Kabel, MSS-Boxen).
- Baustelleninstallation und Inbetriebsetzung durch Personal Jackcontrol AG (bei Stand-alone-Anwendung).
- Support via Telefon/Fernwartung (inklusive) oder bei Bedarf vor Ort.



KONSTRUKTIVE DURCHBILDUNG VORTRIEBSDRUCKRÖHRE AUS STAHLBETON

Leistungspaket JackDirector®

Das Leistungspaket JackDirector® umfasst eine computerbasierte Unterstützung des Schildfahrers für die Steuerung der Tunnelbohrmaschine (TBM). Basierend auf während der zurückgelegten Vortriebsstrecke durchgeführten Messungen wird der Zusammenhang zwischen dem Steuerwinkel der TBM und dem Fugenwinkel der nachfolgen-

den Rohre ermittelt. Darauf beruhend wird der maximal zulässige Steuerwinkel für die TBM angegeben, bei welchem keine Reduktion der im Leistungspaket JCPipe® bestimmten zulässigen Vortriebskraft erforderlich ist. Der JackDirector® kann nur in Verbindung mit dem Leistungspaket JCPipe® eingesetzt werden.

Das Leistungspaket JackDirector® umfasst folgende Funktionen und Leistungen:

- Projektbezogenes Setup des JackDirector® inkl. Übernahme Daten Steuerzylinder ab ANA-Schnittstelle (oder Ausrüstung Steuerzylinder mit eigenen Positionsgebern).
- Echtzeit-Darstellung des zulässigen Bereichs der Steuerzylinder-Stellungen auf «Visier» auf Bildschirm/Chicago-Screen.
- Miete der gegenüber dem MSS-Basispaket und Leistungspaket JCPipe® zusätzlich notwendigen Hardware bzw. Sensorik (wenn erforderlich bzw. Daten nicht durch ANA-Schnittstelle verfügbar).
- Baustelleninstallation und Inbetriebsetzung durch Personal Jackcontrol AG.
- Support via Telefon/Fernwartung (inkl.) oder bei Bedarf vor Ort.

Leistungspaket Hydraulische Fuge

P-Type (siehe auch Kapitel 5.2)

Die Hydraulische Fuge wird nach erfolgtem Vortrieb im Bauwerk belassen und kann als Innerer Fugenverschluss alternativ zu Einschlagdichtungen eingesetzt werden. Eine

Dichtwirkung nach erfolgtem Vortrieb ist nur in Verbindung mit der Durchführung von Zementleiminjektionen JCGrout zu erreichen.

Das Leistungspaket Hydraulische Fuge umfasst folgende Funktionen und Leistungen:

- Projektbezogene Auslegung/Design Hydraulische Fuge (Länge, Armaturen, Füllmenge, Befestigung, Aussparung usw.).
- Projektbezogene Berechnung und Angabe der zulässigen Abwinkelungen und Drücke in den eingesetzten Hydraulischen Fugen sowie der maximal möglichen Vortriebskraft.
- Kontrolle Design Rohrfügung für Einsatz Hydraulische Fuge (Aussparung, Überprüfung Geometrie Fügungsdetails bei Kurvenfahrt usw.). Angabe von Korrekturvorschlägen bei geometrischen Unverträglichkeiten.
- Plandarstellung Angaben Rohrhersteller (stirnseitige Aussparung, Ausrundung Kanten-Aussparung usw.) und Befestigung Hydraulische Fuge auf Vortriebsrohr (RAM-Befestigung).
- Herstellung Hydraulischer Fugen inkl. Befüllung mit projektbezogener Füllmenge und vorgängiger Exvakuumierung.
- Lieferung der einsatzbereiten Hydraulischen Fuge samt Befestigungsmitteln (RAM-Befestigung als Standard) auf Baustelle, inkl. Verpackung.
- Miete der gegenüber dem MSS-Basispaket zusätzlich notwendigen Hardware bzw. Sensorik. Baustelleninstallation und Inbetriebsetzung durch Personal Jackcontrol AG (bei Stand-alone-Anwendung).
- Instruktion der Baustellenmannschaft in der Montage und Anwendung der Hydraulischen Fuge.
- Überwachung der laufenden Vortriebsarbeiten, Darstellung der Resultate in Echtzeit-Visualisierung auf MSS-Software (nur Funktionstüchtigkeit der Hydraulischen Fugen: Fugenwinkel und Druck. Weitere Leistungen wie Berechnung zulässige Vortriebskräfte, Statik/Tragsicherheit Rohre usw. werden nur in Verbindung mit Leistungspaket JCPipe® erbracht).
- Support via Telefon/Fernwartung (inkl.) oder bei Bedarf vor Ort.

Bemerkungen:

- Das Leistungspaket Hydraulische Fuge wird ausschliesslich in Kombination mit dem MSS-Basispaket angewendet.
 - Die Montage der Hydraulischen Fuge erfolgt mittels Kupplungsfeder (RAM-Befestigung) auf der Baustelle durch die Vortriebsunternehmung. Die erforderlichen Montagehilfsmittel liefert Jackcontrol zusammen mit den Hydraulischen Fugen und stellt diese leihweise zur Verfügung.
 - Der Kunde ist verantwortlich für die Bereitstellung von Vortriebsrohren gemäss den Angaben der Jackcontrol AG (Geometrie Aussparung und Befestigung, Ausrundung Kanten-Aussparung usw.).
- Während des Vortriebs kann die Hydraulische Fuge keine Dichtungsfunktion übernehmen. Es ist durch den Vortriebsunternehmer sicherzustellen, dass die Hydraulischen Fugen nicht durch den von der Rohraussenseite her wirkenden hydraulischen Druck (z. B. Druck Schmiersystem) aus ihrer Soll-Lage verschoben werden; dies ist vor allem bei entlastetem Rohrstrang von Bedeutung.



HYDRAULISCHE FUGE

Leistungspaket EDAR®

(siehe auch Kapitel 5.3)

Das Leistungspaket EDAR® umfasst folgende Funktionen und Leistungen:

- Projektbezogene Auslegung/Design EDAR®.
- Projektbezogene Berechnung und Angabe der zulässigen Abwinklungen und maximal möglichen Vortriebskräfte.
- Kontrolle Design Rohrfügung für Einsatz EDAR®; Angabe von Korrekturvorschlägen bei geometrischen Unverträglichkeiten.
- Herstellung EDAR® inkl. projektbezogener Konfektionierung.
- Lieferung der einsatzbereiten EDAR® samt Befestigungsmitteln.
- Miete der gegenüber dem MSS-Basispaket zusätzlich notwendigen Hardware bzw. Sensorik. Baustelleninstallation und Inbetriebsetzung durch Personal Jackcontrol.
- Instruktion der Baustellenmannschaft in der Montage und Anwendung des EDAR®.
- Überwachung der laufenden Vortriebsarbeiten, Darstellung der Resultate in Echtzeit-Visualisierung auf MSS-Software (nur Funktionstüchtigkeit EDAR®/Fugewinkel. Weitere Leistungen wie Berechnung zulässiger Vortriebskräfte, Statik/Tragsicherheit Rohre usw. werden nur in Verbindung mit Leistungspaket JCPipe® erbracht).
- Support via Telefon/Fernwartung (inkl.) oder bei Bedarf vor Ort.

Bemerkungen:

- Die Montage des EDAR® erfolgt während der Rohrmontage im Schacht. Dazu muss das Zusammenschieben der Rohre bei einer Spaltweite von rund 60 mm unterbrochen werden. In diesen Spalt wird dann der EDAR® mit Hilfe von Distanzhaltern und eines Montagewerkzeugs durch den Vortriebsunternehmer eingebaut. Die erforderlichen Montagehilfsmittel liefert Jackcontrol zusammen mit dem EDAR®.
- Während des Vortriebs kann der EDAR® keine Dichtungsfunktion übernehmen. Es ist durch den Vortriebsunternehmer sicherzustellen, dass der EDAR® nicht durch den von der Rohr-Aussenseite her wirkenden hydraulischen Druck (z. B. Druck Schmiersystem) aus seiner Soll-Lage verschoben wird; dies ist vor allem bei entlastetem Rohrstrang von Bedeutung.
- Die Montage der nach der Startinstallation während des Vortriebs weiteren erforderlichen Hardware / Sensoreinheiten im Stollen erfolgt durch die Vortriebsunternehmung. Im vorliegenden Angebot sind dafür keine Kosten für die Montage durch Jackcontrol enthalten. Hingegen unterstützt Jackcontrol die Implementierung in das Überwachungssystem telefonisch und mittels Fernzugriff auf die MSS-Software. Anlässlich der Startinstallation installiert Jackcontrol die erste Sensoreinheit und instruiert dabei die Baustellenmannschaft der Vortriebsunternehmung, sodass diese in der Lage ist, die restlichen Sensoreinheiten selbstständig zu installieren (gilt für Stand-alone-Anwendung).
- **Für den Einsatz des EDAR® empfehlen wir dringend den Einsatz einer Rohrbremse, damit eine allfällige erhöhte Rückfederung des Rohrstrangs kontrolliert werden kann.**
- Nach dem Vortrieb kann bei Verwendung des EDAR® die Rohrfügung mittels der in Kap. 5.4 beschriebenen Zementleiminjektionen JCGrout abgedichtet werden.

MSS^{TUNIS}

Nachdem die beiden langjährigen Partnerfirmen VMT GmbH und Jackcontrol AG im Jahr 2020 die gemeinsame Tunnel-Hardware-Plattform MT.connect (siehe auch Kap. 4.3) erfolgreich zum Einsatz gebracht haben, erfolgt 2022 mit MSS^{TUNIS} die Einführung einer weiteren gemeinsamen Anwendung. MSS^{TUNIS} bildet die konsequente Fortsetzung des mit MT.connect eingeleiteten Wegs der Nutzung der gleichen Hardware für Vortriebsnavigation und Datenmanagement/MSS/Rohrüberwachung, dies mit dem Ziel, beide Funktionsbereiche für den Anwender einfacher und dank Synergien kostengünstiger zum Einsatz zu bringen.

beiden Software-Applikationen TUNIS und MSS werden parallel auf dem MSS-Rechner betrieben. Über effiziente Fernzugriffsmöglichkeiten wird bei der MSS^{TUNIS}-Option ein effizienter Support sowohl von Seiten VMT GmbH als auch von der Jackcontrol AG sichergestellt.

Während des Vortriebs werden die wichtigsten Navigationsdaten samt der grafischen Darstellung der Steuerungstendenz in einem separaten TUNIS-Feld auf dem Chicago-Screen in Echtzeit dargestellt. Bei Bedarf (z.B. für Einstellungen oder detaillierte Auswertungen) kann die TUNIS-Bedienoberfläche bei voller Funktionalität auf dem Chicago-Screen angewendet werden.

Die MSS^{TUNIS}-Option setzt die Verwendung der Tunnel-Hardware-Plattform MT.connect (siehe auch Kap. 4.3) sowie des aktuellen MSS-Rechners samt Touchscreen voraus und die

Die MSS^{TUNIS}-Option bietet dem Anwender folgende Vorteile:

- Optimale, intuitiv verständliche Darstellung auf einen Blick für Schildfahrer.
- Synergien und Kosteneinsparung bei der Hardware.
- Zeiteinsparung bei Montage und Inbetriebsetzung.
- Volle Integration der Vortriebsnavigation in das Datenmanagement.
- Optimaler Baustellensupport.



CHICAGO-SCREEN MIT MSS^{TUNIS}-OPTION

MSS^{TUNIS}-OPTION: VOLLUMFÄNGLICHE TUNIS-FUNKTION AUF CHICAGO-SCREEN

4.3 HARDWARE

Übersicht

Der Aufbau der für den Betrieb von MSS erforderlichen Hardware ist im Bild unten dargestellt. Während im Tunnel die mit der Navigationsausrüstung von VMT GmbH ausgestattete Hardware-Plattform MT.connect verwendet wird, wird die MSS-Software auf einem darauf ausgelegten Rechner samt zugehörigem Touchscreen betrieben.

MSS-Hardware

Die MSS-Hardware setzt sich aus folgenden Hauptkomponenten zusammen:

- MSS-Rechner
- MSS-Touchscreen
- Internet-Anschluss.

MSS-Rechner und -Touchscreen können an der Oberfläche, z. B. im Steuer-Container oder auch im Tunnel, z. B. beim Steuerstand eines offenen Schilds, installiert werden. Der MSS-Rechner ist ein CAD-fähiger Hochleistungs-Industrierechner mit leistungsstarker Grafik-Karte, die in der Lage ist, komplexe 3D-Plan-Modelle in ruckfreier Bewegung darzustellen. Für die lokale Speicherung der bei längeren Vortrieben grossen Datenmengen ist der MSS-Rechner mit einer ebenso leistungsstarken Speicher-

karte ausgerüstet, die eine rasche Darstellung der gewünschten Datensätze erlaubt. Der MSS-Rechner ist samt allen notwendigen Peripheriegeräten wie USV, Klimagerät, On-/Off-Schalter, Modem, Steckplätzen usw. in ein robustes und baustellentaugliches Rittal-Gehäuse eingepackt. Der MSS-Touchscreen verkörpert ebenso hohen und robusten Industrie-Standard. Mit einer flexiblen Befestigung kann er im Steuerstand problemlos im Sichtfeld des Schildfahrers installiert werden und liefert mit einer Bild-Diagonale von 21,5 Zoll dem Schildfahrer leicht lesbare Darstellungen in gutem Kontrast. Die ganzen Eingaben können problemlos ohne Tastatur auf der Bildschirm-Oberfläche gemacht werden.



MSS-RECHNER

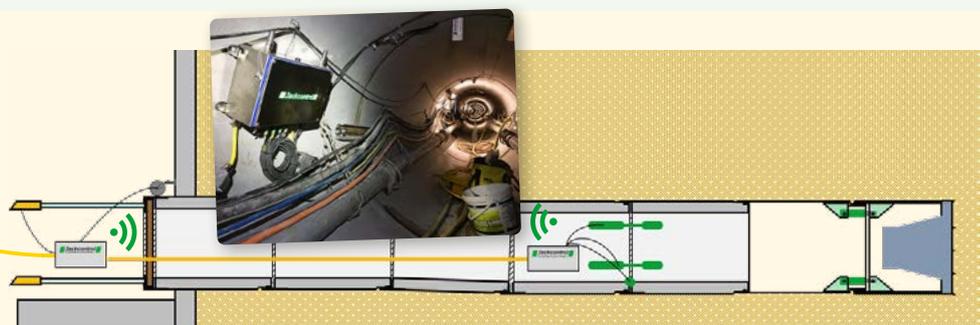
MSS-HARDWARE



MSS-TOUCHSCREEN
IM SICHTFELD
DES SCHILDFAHRERS
INSTALLIERT



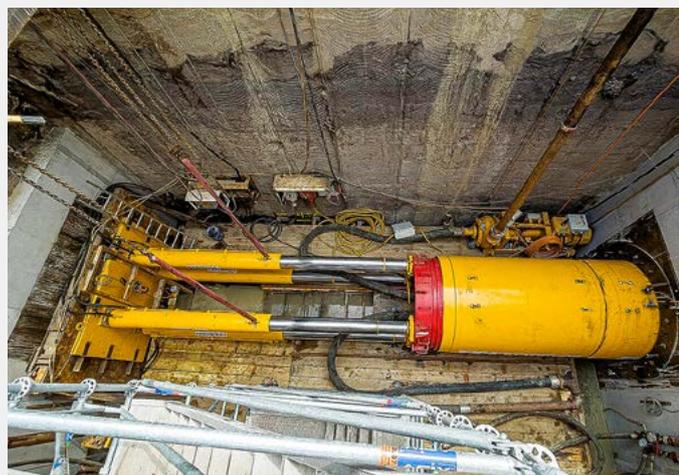
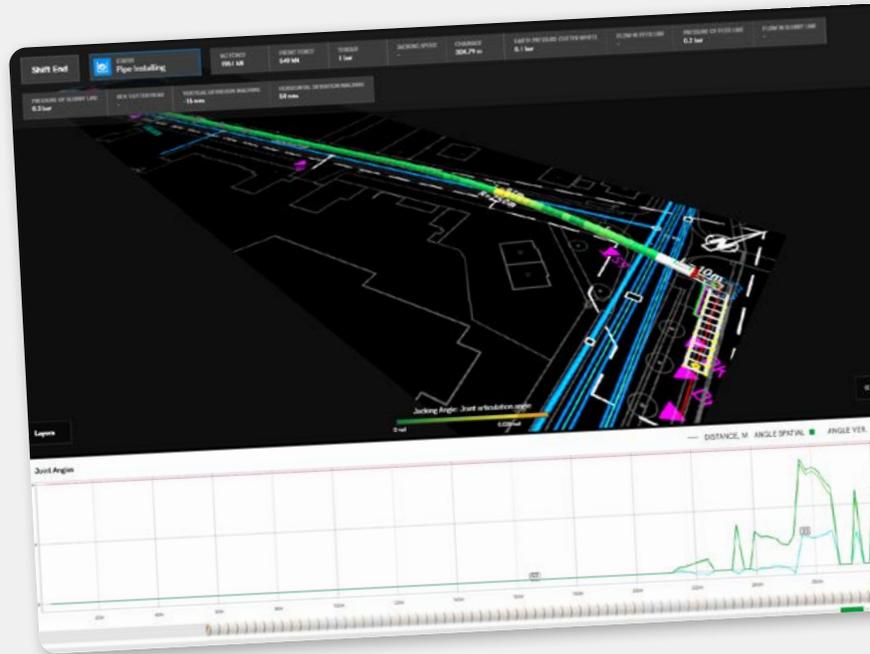
MT.connect



Sewer construction in the settlement-sensitive city centre of Tilburg (NL)

As a part of the Tilburg delta works plan called «Blauwe ader» (ENG: Blue Sewer), the design-and-build project consisted of two microtunneling drives. The project was awarded by the City of Tilburg to the Belgian contractor K-Boringen. Main goal of the sewers was to better control the high-rain fall periods that caused major floods in the past.

Jackcontrol was trusted with the monitoring of the project using MSS by the contractor. Although no Hydraulic Joints were used, several sensor units were placed in the tunnel to measure permissible jacking forces and steering deflections on strategic locations. Since the geology was known for causing high skin frictions in combination with high ground water pressure, lubrication was a big factor in order for the tunneling works to succeed. By measuring jacking forces over the entire tunnel length, lubrication could be performed on an accurate and precise way without causing lubrication blowouts or high jacking forces. Additionally, MSS was helpful for communication and safety purposes in the tunnel since pipe ID was relatively small in regards to the tunnel length.



START PIT

AT A GLANCE

Project name	Blauwe ader: Rioolboring Enschtsestraat
Project location	Tilburg, Netherlands
Time of completion	2021
Specialties	settlement-sensitive geology, urban area, high friction, long distance in combination with small ID
Total length	848 + 305 m
Pipe ID	1600 mm
Pipe OD	1960 mm
Alignment	double s-curved
Min. curve radius	250 m
Pipe material	reinforced concrete
Pipe length	2 + 4 m
Geology & groundwater	fine sand groundwater present
Monitoring system	MSS (Microtunneling Support System)
Guidance system	VMT SLS Microtunneling LT
TBM	Herrenknecht AVND1600TB
Owner	City of Tilburg
Designer	(Design & Build contract)
Contractor	K-Boringen nv

MT.connect

MT.connect wurde 2020 als gemeinsame Tunnel-Hardware-Plattform von VMT GmbH und Jackcontrol AG eingeführt und hat folgende Eigenschaften:

- Kompatibilität zu allen Anwendungen von VMT GmbH und Jackcontrol AG.
- Datenübertragung mittels DSL-Technologie (Internet).
- Internet-Zugang im Tunnel via LAN und WLAN, auch für Drittnutzer.
- WLAN-Abdeckung praktisch im ganzen Tunnel.
- Robuste, kompakte und untertagebautaugliche Ausführung.
- Hohe Zuverlässigkeit.
- Einfache und komfortable Handhabung auf der Baustelle.
- Offenheit für Datenübertragung von Drittsystemen.

MT.connect setzt sich aus folgenden Hauptkomponenten zusammen:

- MSS-Boxen: Diese werden normalerweise bei der Zwischenpressstation installiert und umfassen die Anschlüsse für die Sensoren und die LAN-Anschlüsse und WLAN-Antennen.
- MT.connect-Systemkabel: Dieses versorgt MT.connect mit Power und dient gleichzeitig als Internet-Datenleitung.
- Container-Box: Diese bringt als Schnittstelle zum Tunnel Power und Daten dahin und bildet gleichzeitig die Datenschnittstelle zu den Rechnern von MSS (Jackcontrol AG) und TUnIS (VMT GmbH).



MT.CONNECT BRINGT DAS INTERNET IN DEN TUNNEL



MT.CONNECT-MSS-BOX IM STOLLEN INSTALLIERT

- MT.connect-Messrad: Dieses dient zur Messung der Vortriebslänge und wird an der Container-Box angeschlossen.

Dazu kommen in Abhängigkeit der Projektanforderungen und der eingesetzten MSS-Leistungspakete zusätzliche Sensoren (Weggeber, Druckgeber, Vermessungsgeräte), die an den MSS-Boxen angeschlossen werden.

4.4 FIRMENLÖSUNG

Die Firmenlösung umfasst einen Basisvertrag zwischen der Vortriebsunternehmung und der Jackcontrol. Er enthält eine systematische Anwendung des Jackcontrol-Basispakets durch die Vortriebsunternehmung. Die Firmenlösung gestaltet sich wie folgt:

- Die für das MSS-Basispaket notwendige MSS-Hardware (Rechner, Touchscreen, Containerbox MT.connect, Tunnelboxen MT.connect mit WLAN/Internet, MSS-Systemkabel, alles kompatibel mit VMT- und Jackcontrol-Sensorik) wird durch den Vortriebsunternehmer gekauft und bleibt in seinem Eigentum.
- Der genaue Umfang der Hardware wird kundenspezifisch festgelegt und offeriert. Der Umfang kann beispielsweise eine Grundausstattung für einen 400 m langen Vortrieb umfassen; zusätzlich benötigte Ausrüstung für längere Vortriebe oder weitere Leistungspakete können projektbezogen zugemietet werden.

- Die Baustelleninstallation der Hardware erfolgt durch Personal des Auftraggebers, nachdem es durch Jackcontrol darin ausgebildet wurde. Idealerweise wird die Basisausstattung (Rechner, Touchscreen, Containerbox) im Steuercontainer fest installiert, sodass der projektbezogene Installationsaufwand minimiert wird.
- Die Funktionen von MSS stehen damit dem Auftraggeber für jeden Vortrieb zu den vergünstigten Tarifen der Firmenlösung zur Verfügung.
- Im Rahmen der Firmenlösung sind firmenspezifisches Setup/Design und Inhalt von Rapporten enthalten.

Gerne beraten wir Sie für eine mögliche Firmenlösung und freuen uns, eine auf die Bedürfnisse Ihrer Firma zugeschnittene Lösung auszuarbeiten!

Sanierung Gleisanlagen Breitenrain, Bern

Enger Kurvenvortrieb mit WLAN

Die bestehenden Mischabwasserkanäle Militärkaserne – Breitenrainplatz und Rodtmattstrasse stammen aus den Jahren 1877 resp. 1905, waren sanierungsbedürftig und teilweise überlastet. Das Tiefbauamt der Stadt Bern entschied, den Kanal Militärkaserne–Breitenrainplatz neu in die Militärstrasse mit einer durch Rohrvortrieb erstellten Leitung DN1200 zu verlegen. Dazu waren drei Haltungen notwendig, wobei die ersten zwei Haltungen mit einem minimalen Kurvenradius von 150m besonders herausfordernd waren. Obwohl die dritte Haltung einen unterschiedlichen Kurvenradius von 400 m aufwies, wurde der Einfachheit halber überall der Typ JC250 verwendet.

Zusätzlich kam bei diesem Projekt auch die neue Stollenhardware MT.connect, welche zusammen mit der Firma VMT entwickelt wurde, zum Einsatz. Diese neue Hardware ermöglicht es, Datenleitungen und Boxen gemeinsam zu nutzen, was das Handling auf der Baustelle vereinfacht. Zudem wird der Zeitaufwand für Installation, Konfiguration und Wartung kleiner. Last but not least erlaubt die Hardware, Netzwerkinfrastruktur, Licht und Spannungsversorgung in den Stollen zu bringen und so Kommunikation zu ermöglichen und die Sicherheit zu verbessern.

Abschliessend wurden alle Haltungen mit Zementleim-injektionen nachgerüstet, um die Manschetten zu passivieren und eine dauerhaftere Fugenverbindung zu gewährleisten.



SITUATION



AUF EINEN BLICK

Projektbezeichnung	Sanierung Gleisanlagen Breitenrain
Standort	Bern BE, Schweiz
Nutzung	Kanalisation
Ausgeführt	2021–2022
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> ■ komplexe Linienführungen ■ enge Kurvenradien ■ innerstädtisch ■ wenig Überdeckung
Totallänge	243 + 138 + 174 = 555 m
Innendurchmesser	1200 mm
Aussendurchmesser	1490 mm
Linienführung	Kurven, alle drei Haltungen
Min. Kurvenradius	150 m
Rohrmaterial	Stahlbetonrohre
Rohrlänge	3,00 m
Überdeckung	2,26–6,65 m
Geologie	künstliche Aufschüttungen/ Felderschotter / Moräne / verwitterter Molassenfels / Seeablagerungen
Hydraulische Fuge	JC250 mit einem Umlauf
TBM	Herrenknecht AVN 1200
Bauherr	Tiefbauamt der Stadt Bern
Planer / Bauleitung	Planergemeinschaft Amélie + c/o. smt AG, Bern
Vortriebsfirma	Braumann Tiefbau AG
Rohrhersteller	Berding Beton GmbH Werk Rheinsheim

MSS conquers extreme winter conditions in Edmonton CAN

The Malcolm Tweddle and Edith Rogers Dry Pond and Sewer Improvements project was initiated in the Millbourne Urban Area. In the past, both surface and basement flooding had been reported by residents of this area. Increasing the conveyance capacity of the storm sewers was therefore proposed to mitigate the risks of future flooding in this area. The design asked for several tunnels performed by the trenchless microtunneling method. Therefore, contractor Bothar Inc. was awarded with the construction works.

The Microtunneling Support System (MSS) in combination with the Hydraulic Joint allowed the contractor to monitor several challenging aspects such as the high start-up forces due to a forced winter break, tight curve radii and relatively low ground coverage. The great advantage here is that possible problems were often discovered preventively. However, special congratulations go to the on-site team who managed to keep the tunneling process going 24/7 while the Canadian winter temperatures went down to -48°C .



INSTALLATION FIRST PIPE IN STARTSHAFT

AT A GLANCE

Project name	Malcolm Tweddle and Edith Rogers Sewer Improvements
Project location	Edmonton, Canada
Time of completion	2022
Specialties	large diameter pipes and extreme winter conditions
Total length	835 + 189 m / 2740 + 620 ft.
Pipe ID	3000 mm / 118 in.
Pipe OD	3600 mm / 142 in.
Alignment	Curved
Min. curve radius	400 m / 1312 ft.
Pipe material	reinforced concrete
Pipe length	3 m / 10 ft.
Geology & groundwater	sandstone, clayshale and bedrock
Hydraulic Joint	JC260, single loop, admissible jacking force 20 500 kN
Guidance system	VMT SLS Microtunneling LT
TBM	Herrenknecht AVND2400 + ext. kit
Owner	EPCOR
Designer	AECOM
Contractor	Bothar INC.



WINTER CONDITIONS ON SITE



VORTRIEBSBAUSTELLE AM FLUGHAFEN IN ZÜRICH (CH)



5 **Zubehör** für Vortriebsrohre

Der Druckübertragungsring – Schlüsselement bei jedem Vortrieb



5.1 ÜBERSICHT

Druckübertragung während des Vortriebs

Der Druckübertragungsring bildet bei Rohrvortrieben ein Schlüsselement: Er hat die Aufgabe, die oftmals sehr grossen Vortriebskräfte sicher über die Rohr-Elemente zu übertragen. Dies muss auch funktionieren bei Kurvenfahrt, wo geplante Abwinklungen der Vortriebsrohre auftreten, wie auch bei ungeplanten Steuerbewegungen, z. B. infolge Steuerbewegungen der TBM oder geologisch bedingten Abweichungen von der geplanten Achse. Zudem

muss der Druckübertragungsring auch geometrische Unregelmässigkeiten auf der Rohr-Stirnfläche ausgleichen. Ebenso wichtig ist eine schlüssige Abstimmung des verwendeten Druckübertragungsringes und der eingesetzten Monitoring-Software.

Die in der Tabelle auf den Seiten 36/37 aufgeführten Leistungspakete Hydraulische Fuge, EDAR® sowie das JCPipe®-Paket bieten die dazu passenden Monitoring-Lö-

sungen zur sicheren und effizienten Abwicklung jedes Microtunneling- oder Rohrvortriebprojekts, unabhängig der eingesetzten Vortriebseinrichtung und zugeschnitten auf die üblichen Druckübertragungsmittel. Insbesondere Kurvenvortriebe, Langstreckenvortriebe sowie Vortriebe mit gerader oder gekrümmter Linienführung in schwierigen hydrologischen bzw. geologischen Verhältnissen oder sensiblen Umgebungen können durch Anwendung dieser

Leistungspakete mit wesentlich geringerem Gefährdungspotenzial/Risiko sowohl für Bauherren und Planer als auch für Vortriebsunternehmer aufgeföhren werden, dies bei sichergestellter hoher Ausführungsqualität.

Basis bei jedem dieser Leistungspakete ist das bewährte MSS-Basispaket samt der zugehörigen Hardware, siehe auch 4.2 und 4.3. Dieses wurde ursprünglich für den Ein-



satz der Hydraulischen Fuge entwickelt, welche einerseits die Übertragung der Vortriebskräfte in Längsrichtung optimiert und andererseits die Bestimmung des Spannungszustandes in Vortriebsrohren auf einfache und zuverlässige Weise ermöglicht. Die Jackcontrol wendet dabei die am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich gewonnenen Erkenntnisse über Trag- und Verformungsverhalten sowie Versagen von Stahlbeton-Vortriebsrohren an.

Einen besonderen Fall stellt die Hydraulische Fuge in Bezug auf die baustatische Überwachung der Vortriebsrohre dar: Die Systemeigenschaften der Hydraulischen Fuge erlauben es, das Risiko von Rohrschäden gegenüber der Verwendung herkömmlicher Druckübertragungsringe aus Holzwerkstoffen massiv zu senken. Gleichzeitig kann die installierte Vortriebsleistung durch die Kenntnis des Spannungszustands bis zum Erreichen der entsprechenden Grenzwerte optimal genutzt werden, ohne diese Grenzwerte zu überschreiten. Durch die kontinuierliche Erfassung der relevanten Messgrößen (Fugenspaltweiten zwischen Vortriebsrohren und Flüssigkeitsdruck in Hydraulischen Fugen) wird eine umfassende Dokumentation des Vortriebs und insbesondere der die Vortriebsrohre beanspruchenden Spannungszustände ermöglicht, was den Projektbeteiligten eine tiefreichende Kenntnis über die erreichte Qualität des fertigen Rohrstrangs bietet; allfällige vom Vortrieb herrührende Rohrschäden – wenn es denn bei der Anwendung der Hydraulischen Fuge überhaupt solche gibt – können somit zielgerichtet festgestellt werden.

Die Hydraulische Fuge erlaubt ein Auffahren eines im Vergleich zur Verwendung herkömmlicher Druckübertragungsringe (DÜR) aus Holzwerkstoffen viel grösseren Fugungswinkels zwischen den Vortriebsrohren und damit viel engerer Kurvenradien, dies bei gleichbleibender Rohrlänge und hohen Vortriebskräften. Weiter kann die Hydraulische Fuge in Kombination mit nach dem Vortrieb vom Rohrinnern auszuführenden Zementleiminjektionen JCGrout zur Verbesserung der Dichtigkeit aktiviert werden, beispielsweise im Fall einer Undichtigkeit der primären Abdichtung oder auch als systematische Abdichtung zur Erhöhung der Sicherheit gegenüber Leckagen (siehe auch Kapitel 5.4/5.5). Das dabei verwendete zementöse Injektionsmittel führt dank einer Anhebung des pH-Werts im Bereich der Stahlmanschette des Vortriebsrohrs zu einer Passivierung und damit zu einem dauerhaften Korrosionsschutz der Stahlmanschette.

Seit der Markteinführung im Jahre 2005 hat die Jackcontrol mit der Hydraulischen Fuge und der darauf basierenden Qualitätssicherung das Spektrum an Einsatzmöglichkeiten von Rohrvortrieb und Microtunneling massiv erweitert.



VORTRIEB KOPENHAGEN (DK)

Nach Hunderten von mit Hydraulischen Fugen und dem zugehörigen Monitoringsystem erfolgreich ausgeführten, meist anspruchsvollen Vortrieben erfüllte die Jackcontrol das Kundenbedürfnis einer gleichwertigen Vortriebsüberwachung für kurze und/oder gerade Vortriebe unter Verwendung von herkömmlichen Druckübertragungsringen aus Holzwerkstoffen und lancierte das JC-Pipe®-Paket, welches schon bei zahlreichen Vortrieben erfolgreich eingesetzt wurde. 2017 verständigten sich das Ingenieurbüro Baumgartner aus Tuttlingen (D) und die Jackcontrol auf eine Übernahme der Technologie und Vertriebsrechte am EDAR® (Elastischer Druck-Ausgleichs-Ring), welcher die Angebotspalette der Jackcontrol in idealer Weise ergänzt.

Der modulare Aufbau der einzelnen in der Tabelle auf den Seiten 36/37 aufgeführten Leistungspakete erlaubt ein vollumfängliches Echtzeit-Monitoring aller praxisüblichen Kombinationen von Rohrwerkstoffen und Druckübertragungsmitteln, wobei innerhalb des gleichen Vortriebs auch verschiedene Druckübertragungsmittel eingesetzt werden können. Je nach Anforderungen können dabei praktisch alle weltweit im Rohrvortrieb verwendeten Normen und Richtlinien berücksichtigt werden, so z. B. DWA-A 125 und 161, EN 1916, SIA 195, ASTM, ASCE, CSA, CPAA, PJA usw. Insbesondere erlaubt das JCPipe®-Paket das Echtzeit-Monitoring von mit DÜR aus Holzwerkstoffen ausgerüsteten Vortrieben, was in Anwendung des Regelwerks DWA-A 161 im Vergleich zu nicht überwachten Vortrieben eine höhere zulässige Vortriebskraft in Verbindung mit einer deutlichen Verminderung der Risiken mit sich bringt. Das Rohrdesign kann durch die Jackcontrol erfolgen, es können aber genauso Rohrdesigns Dritter (Rohrhersteller, Projektverfasser usw.) integriert werden.

Die Leistungspakete gemäss untenstehender Tabelle können miteinander kombiniert werden, also z. B. die Hydraulische Fuge auf einer Kurvenfahrt am Ende einer Haltung mit dem JCPipe®-Paket auf dem geraden Rest der Haltung. Die Hydraulische Fuge kann im Fall von einfachen

und/oder kurzen Vortrieben auch nur in Verbindung mit dem MSS-Basispaket eingesetzt werden. Dabei wird lediglich die unerlässliche Überwachung des Flüssigkeitsdrucks und der Abwinklung der Hydraulischen Fuge durchgeführt. Die laufende Überwachung der Rohrstatik erfolgt bei An-

ÜBERSICHT LEISTUNGSPAKETE

		LEISTUNGSPAKET	
		Einsatzbereich / Beschreibung	
MODULE	DRUCKÜBERTRAGUNGSMITTEL		
	ROHRSTATIK UND -DESIGN	Statische Berechnung der Vortriebsrohre, Design Bewehrung und Rohr-Fügung	
	BEFESTIGUNG DRUCKÜBERTRAGUNGSMITTEL	RAM (Standard, mechanische Befestigung, Baustellenmontage)	
		COL (Ausnahme / Notfälle, Kleben, Werks- oder Baustellenmontage; Aufpreis)	
		KLEMM (mit EPS-Distanzhalter, Baustellenmontage)	
	DRUCKÜBERTRAGUNGSMITTEL ZUR ERHÖHUNG DER DICHTWIRKUNG	In Verbindung mit Zementleim-Injektion JCGROUT (siehe Seite 53, Kapitel 5.4)	
		Umlaufend / geschlossener Ring	
	ROHR (inkl. Spezialquerschnitte wie Drachenprofile u. ä.)	Stahlbeton (mit/ohne Inliner)	
		GFK	
		Stahl	
		Polymerbeton	
		Steinzeug	
MONITORING MIT MSS			
ALGORITHMUS / ANALYSE			
MSS-BASISPAKET			
EINSATZ JACK DIRECTOR®			

wendung des JCPipe®-Pakets. Das JCPipe®-Paket kann bei Bedarf (z. B. bei unerwarteten geologischen Schwierigkeiten) gegen Aufpreis jederzeit aktiviert werden; dies erfordert in der Regel weitere Installationen von Messausrüstung (Sensoreinheiten).

Beim EDAR®-Paket kann bei einfachen und/oder geraden Vortrieben auf MSS samt Hardware auch verzichtet werden, wobei ein Upgrade gegen Aufpreis jederzeit möglich ist.

HYDRAULISCHE FUGE-PAKET	EDAR®-PAKET	JC-Pipe®-PAKET
Kurven-Vortriebe, enge Radien, hohe Anforderungen, Innerer Fugenschluss	Kurven-Vortriebe, mittlere Radien, mittlere Anforderungen, Innerer Fugenschluss	Gerade Vortriebe und grosse Radien, geringe Anforderungen
Hydraulische Fuge	Elastischer Druckausgleichsring (EDAR®)	Druckübertragungsring (DÜR) aus Holzwerkstoffen
(nur in Verbindung mit JCPipe®)	(nur in Verbindung mit JCPipe®)	✓
✓	✗	✗
(✓)	✗	✗
(✓)	✗	✗
✓	✓	✗
✗	✓	✗
✓	✓	✓
✓ (in Entwicklung)	✗	✓ (ohne DÜR)
✓ (geflanscht)	✓ (geflanscht)	✓ (geflanscht)
✓	✓	✓
✓	✓	✓
✓	✓	✓
Baustatische und geotechnische Nachweise Vortriebsrohre in Echtzeit (nur in Verbindung mit JCPipe®)	Druckübertragung nach DWA-A 161 (nur in Verbindung mit JCPipe®)	Druckübertragung nach DWA-A 161
vorausgesetzt	optional, Einsatz ohne MSS möglich	vorausgesetzt
möglich	möglich	möglich

✓ STANDARDMÄSSIG ENTHALTEN (✓) OPTIONAL/ALTERNATIV ERHÄLTICH ✗ NICHT VERFÜGBAR

Kurvenvortrieb

Die untenstehende Grafik gibt schnell und einfach Richtwerte über die minimal möglichen Kurvenradien in Abhängigkeit der Rohrdimension. Detailliertere Planungshilfen sind auf Seite 43 abgebildet, wobei neben der Druckübertragung verschiedene weitere projektspezifische Faktoren die minimalen Kurvenradien bestimmen. Das Team der Jackcontrol berät Planer und Bauunternehmer gerne in der individuellen Projektentwicklung und hilft, projektbezogen die ideale Kombination von Vortriebsrohr und Druckübertragungsmittel zu finden.



VORTRIEB CLEVELAND, OH (USA): OPTIMIERUNG, LINIENFÜHRUNG MIT HYDRAULISCHER FUGE

Nachbearbeitung von Rohrfügungen

Die Rohrfügung spielt bei einem Rohrvortrieb auch nach Abschluss der Vortriebsarbeiten eine wichtige Rolle im Bauwerk; ihr fallen während der Nutzungsdauer des Tunnels folgende wichtigen Aufgaben zu:

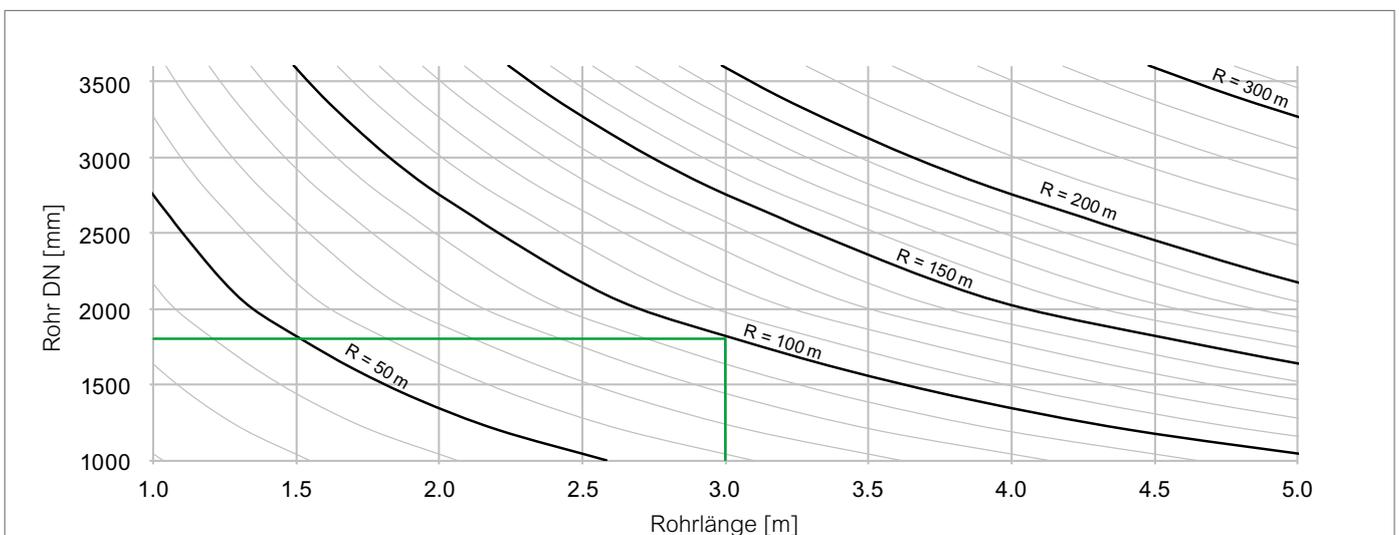
- dauerhafte Abdichtung des Bauwerks
- Ausgleich von möglichen Bewegungen des Rohrs/Tunnels, z. B. infolge differenzieller Setzungen des Bodens
- Innerer Fugenverschluss
- usw.

Während sich die meist eingesetzten Dichtungsprofile aus Elastomer/Gummi ausgezeichnet bewähren, werden im Zusammenhang mit Druckübertragungsrings aus Holzwerkstoff und Führungsrings aus Stahl immer wieder Probleme festgestellt:

- Verrotten des Holzrings führt zu Bildung von Pilzen/Fungiziden an der Rohr-Innenfläche.
- Verrotten des Holzrings führt zu Verhakung von Schwemmgut in Abwasserkanälen/ Kanalisationen, verbunden mit Beeinträchtigung der hydraulischen Kapazität des Kanals.
- Korrosion des Stahlführungsrings mit langfristiger Gefährdung der Dichtigkeit der Rohrfügung.
- usw.

Mit den beiden Anwendungen JCGrout (siehe 5.4) und JCFlex (siehe 5.5) bietet Jackcontrol zwei Lösungen, die unter Nutzung des Druckübertragungsrings (Hydraulische Fuge oder EDAR®) die Rohrfügung auch während der Nutzungsdauer des Tunnels nachhaltig schützen, dies auf eine unkomplizierte und nachhaltige Weise bei minimaler Arbeitszeit im Tunnel und sehr hoher Arbeitssicherheit für das im Tunnel eingesetzte Personal.

MINIMAL MÖGLICHE KURVENRADIEN



Lesebeispiel

Wie klein kann der minimale Kurvenradius bei einem Vortriebsrohr DN1800 mm bei Baulänge 3 m gewählt werden? Unter Annahme einer üblichen Wandstärke (z. B. 180 mm) kann bei einer Rohrlänge von 3 m ein minimaler Kurvenradius von 100 m aufgefahren werden.



VORTRIEB WASSERKRAFTWERK RUFİ, HÄTZINGEN (CH): R=260 M (ROHR DN 3200 MM, L=3 M)

5.2 DIE HYDRAULISCHE FUGE

Die Vorteile

- grössere Vortriebskräfte
- kleinere Kurvenradien
- längere Vortriebsrohre
- permanentes Echtzeit-Monitoring
- Interventionsmöglichkeiten
- systematische oder nachträgliche sekundäre Fugenabdichtung

Der Mehrwert

- optimale Qualitätssicherung
- minimales Risiko beim Vortrieb
- kürzere Bauzeiten
- Verzicht auf Zwischenschächte/-installationen
- erhöhte Dichtigkeit der Rohrfügungen
- breiteres Anwendungsspektrum
- bessere Wirtschaftlichkeit

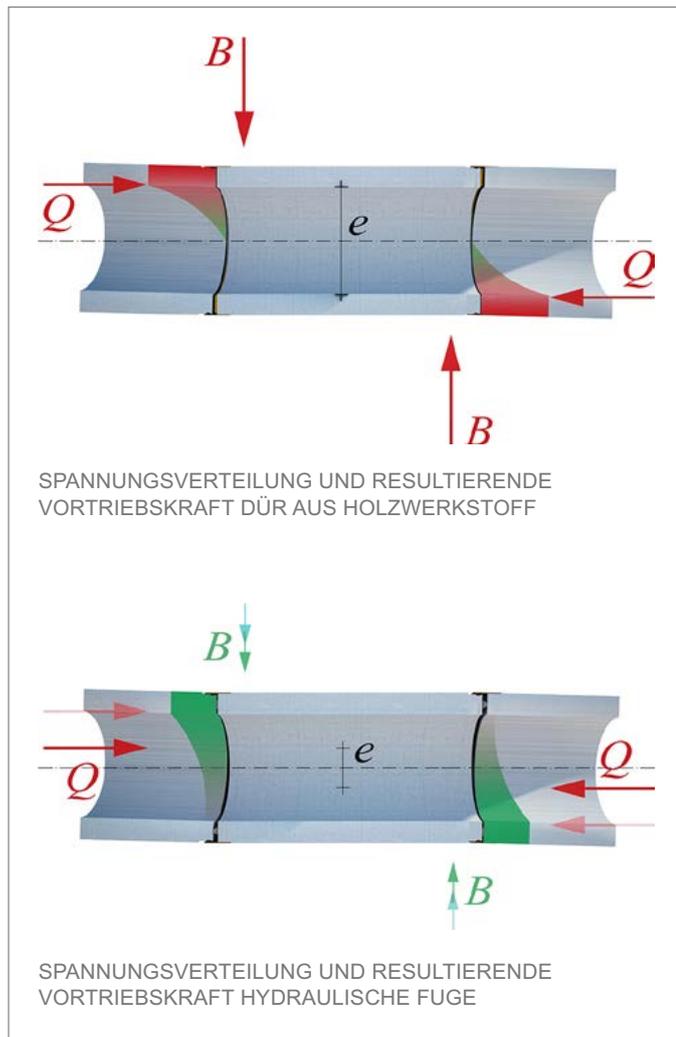
Funktionsweise

Die sichere Übertragung der Vortriebskraft von Rohr zu Rohr bis zur Tunnelbohrmaschine (TBM) und Ortsbrust ist im Microtunneling- und Rohrvortriebsverfahren essenziell.

Die Möglichkeit, grosse Vortriebskräfte übertragen zu können, ist für eine effiziente Arbeitsweise unumgänglich. Druckübertragungsmittel aus Holzwerkstoffen bewähren sich auf geraden und leicht gekrümmten Vortriebsstrecken. Bei grösseren Fugenwinkeln bzw. engeren Kurvenradien stossen sie allerdings an Grenzen, das heisst, dass nur noch bedeutend kleinere Vortriebskräfte Q von Rohr zu Rohr übertragen werden können, ohne dass die Rohre beschädigt werden. Folglich verringert sich die bei abgewinkelten Rohrfügungen zulässige Vortriebskraft Q und somit die Vortriebsleistung erheblich. Abwinklungen zwischen Vortriebsrohren entstehen nicht nur als Folge einer planmässigen Kurvenfahrt, sondern auch als Folge von Steuerbewegungen der TBM, als Folge von wechselnden geologischen Verhältnissen und auch infolge von Fertigungstoleranzen bei den Vortriebsrohren. Das charakteristische, irreversibel geprägte Materialverhalten eines herkömmlichen Druckübertragungsrings aus Holzwerkstoff hat zur Folge, dass bei Abwinklungen der Rohrfügung auf der Kurveninnenseite Spannungskonzentrationen entstehen, welche die Festigkeit der Rohrwandung schon bei scheinbar kleinen Winkeln überschreiten können, während die Fügung auf der Kurven-Aussenseite klafft und dort somit keine Vortriebskraft übertragen wird.



DIE HYDRAULISCHE FUGE MONTIERT



Als weitere Folge wirkt die Vortriebskraft Q exzentrisch auf ein von einer Abwinklung betroffenes Vortriebsrohr. Aus Gründen des Momentengleichgewichts stützt sich das betreffende Rohr gegen den umliegenden Boden ab mit der seitlichen Reaktions-/Bettungskraft B als Folge: Diese seitliche Bettungskraft wirkt zusätzlich zu den äusseren Einwirkungen (Erdauflast, Wasserdruck oder Verkehrslasten) in radialer Richtung auf das Rohr. Die in den Jahren 2003 bis 2005 an der ETH Zürich durchgeführten Untersuchungen an Stahlbetonvortriebsrohren haben gezeigt, dass diese seitlichen Bettungskräfte B bei den meisten beobachteten Rohrschäden die Hauptursache darstellen.

Die Hydraulische Fuge wird anstelle eines DÜR aus Holzwerkstoff eingesetzt. Sie besteht aus einer hermetisch abgeschlossenen Schlauchleitung, welche normalerweise auf die nachlaufende Rohrstirnfläche aufgebracht wird. Die Hydraulische Fuge ist mit nicht kompressibler Flüssigkeit gefüllt. Beim Vorpressen wird die Hydraulische Fuge gestaucht. Als Reaktion auf die Vortriebskraft wird die in der Hydraulischen Fuge befindliche Flüssigkeit unter Druck gesetzt und überträgt somit die Vortriebskraft über die Rohrkupplung.

Dem hydraulischen Prinzip der kommunizierenden Gefässe gehorchend, herrscht in der gesamten Hydraulischen Fuge das gleiche Druckniveau. Zusammen mit der reversiblen Charakteristik des in der Hydraulischen Fuge eingeschlossenen Flüssigkeitspolsters lassen sich somit grosse Abwinklungen in der Rohrkupplung ohne Spannungskonzentrationen und Fugenklaffungen auffahren. Die Vortriebskraft wird im Vergleich zu herkömmlichen DÜR aus Holzwerkstoffen viel gleichmässiger über den Rohrumfang verteilt. Dadurch fallen die Exzentrizität der Vortriebskraft und proportional dazu auch die seitliche Bettungskraft B wesentlich geringer aus als bei herkömmlichen DÜR aus Holzwerkstoffen. Die kleineren Bettungskräfte und die wegfallenden Spannungsspitzen erlauben somit das Auffahren grosser Fugenwinkel, ohne dass zur Beibehaltung der statischen Integrität der Rohre die Vortriebskraft reduziert werden muss.

Technische Ausführung der Hydraulischen Fuge

Die Hydraulische Fuge besteht aus einer auf die projektbezogenen Anforderungen abgestimmten hydraulischen Leitung. Diese Leitung besitzt an jedem Ende eine Armatur aus Stahl. Bei einem der Enden handelt es sich dabei nur um einen druckfesten Abschluss der Leitung. Am anderen Ende befindet sich ein Kugelschieber, der mit einer kurzen, dünneren Leitung von der Hydraulischen Fuge abgesetzt wird. Dem Kugelschieber fallen folgende für den Betrieb der Hydraulischen Fuge relevante Funktionen zu:

- Entlüftung und Befüllung der Hydraulischen Fuge im Werk
- Anbringung des Drucksensors zur Bestimmung des Flüssigkeitsdrucks in der Hydraulischen Fuge
- kontrolliertes Ablassen oder Einpumpen von Fugenflüssigkeit während des Vortriebs
- kontrolliertes Ablassen von Fugenflüssigkeit nach dem Vortrieb.

Für die Sicherstellung einer ausreichenden Druckfestigkeit ist die Hydraulische Fuge mit einem oder mehreren Stahlgeflechtem armiert, welche in ein umweltverträgliches synthetisches Elastomer (NBR) eingebettet sind. Die Hydraulische Fuge ist in verschiedenen Dimensionen verfügbar. Die Wahl der Dimension richtet sich nach dem Kurvenradius, der Rohrlänge, der Wandstärke, der Festigkeit des Rohrwerkstoffes sowie der angestrebten Vortriebskraft, welche durch die Hydraulische Fuge zu übertragen ist.

Die Hydraulische Fuge wird normalerweise in einem Umlauf auf die Stirnfläche der Vortriebsrohre aufgebracht. In Ausnahmefällen kann die Anzahl der Umläufe aber auch erhöht werden. Jackcontrol bestimmt projektbezogen die effizienteste Variante der Hydraulischen Fuge. Gibt es meh-

rere zweckmässige Varianten, werden diese entsprechend bei der Projektausarbeitung vorgeschlagen. Der maximale Betriebsdruck der Hydraulischen Fuge wird projektbezogen so festgelegt, dass er unter Einhaltung adäquater Sicherheitsmargen die Festigkeit der Rohrwandung optimal ausnutzt. Aus technischen Gründen kann die Hydraulische Fuge nicht als geschlossener Ring ausgeführt werden. Deshalb weist sie zwei Enden auf, die mit druckfesten Armaturen aus Stahl ausgerüstet sind. Die Armaturen machen Anpassungen an der Stirnfläche der Rohre nötig, siehe auch Seite 43. Nach erfolgtem Vortrieb wird die Hydraulische Fuge unter Ablassen der Flüssigkeit zusammengedrückt und verbleibt im Rohrstrang. Es ist in besonderen Anwendungen aber auch möglich, die Hydraulische Fuge nach erfolgtem Vortrieb aus dem Fugenspalt zu entfernen.

Die Flüssigkeit in der Hydraulischen Fuge besteht aus einem Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel (biologisch abbaubar). Die benötigte Menge an Fugenflüssigkeit ist ein entscheidender Parameter; sie wird durch die Jack-control projektbezogen bestimmt und abgefüllt und es werden einbaufertige Hydraulische Fugen ausgeliefert.

Die Hydraulische Fuge – Qualitätssicherung auch nach dem Vortrieb

Die Hydraulische Fuge kann über die Lebensdauer des Bauwerks zur Erhöhung der Dichtigkeit bzw. als Innerer Fu-

genverschluss weiterverwendet werden. In Verbindung mit einer zementösen Injektion kann dabei die Dichtleistung der Rohrfügung bedeutend verbessert werden, gleichzeitig verbessert das zementöse Injektionsmaterial den Korrosionsschutz der Stahlmanschette des Rohrs entscheidend, indem der pH-Wert so weit angehoben wird, dass der Stahl passiviert wird, siehe auch Beschreibungen in 5.4 (**JCGrout**).

Planungshilfen zur Hydraulischen Fuge

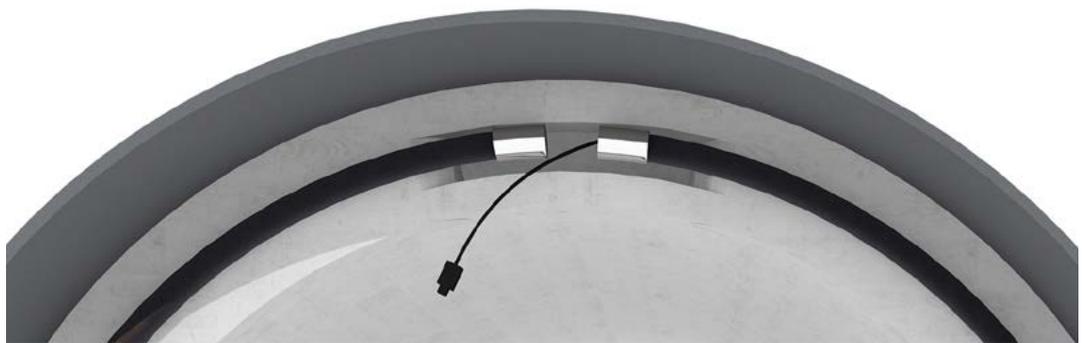
Abhängig von der Rohrgeometrie (Rohrlänge und Durchmesser) und den geplanten minimalen Kurvenradien lassen sich projektbezogen optimale Kombinationen Rohr-Hydraulische Fuge entwickeln. Mit den nachfolgenden Grafiken auf Seite 43 lassen sich schnell und einfach die möglichen Kurvenradien in Abhängigkeit der Rohrlänge und Rohrdimension bestimmen.

Rohrdesign (Ausparungen)

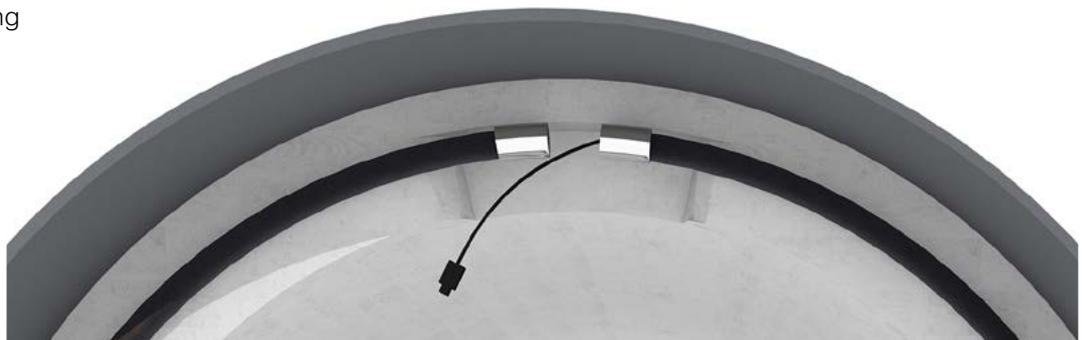
Damit die Armaturen der Hydraulischen Fuge nicht zwischen den Stirnflächen der Rohre eingeklemmt und die Rohre nicht beschädigt werden, müssen an den Rohren stirnseitige Ausparungen angebracht werden. Diese Ausparungen bilden die einzige durch die Hydraulische Fuge hervorgerufene Anpassung an den Rohren. Es gibt folgende Typen von Ausparungen, die projektbezogen bestimmt werden:

Ausparungstyp

Innenliegende Ausparung

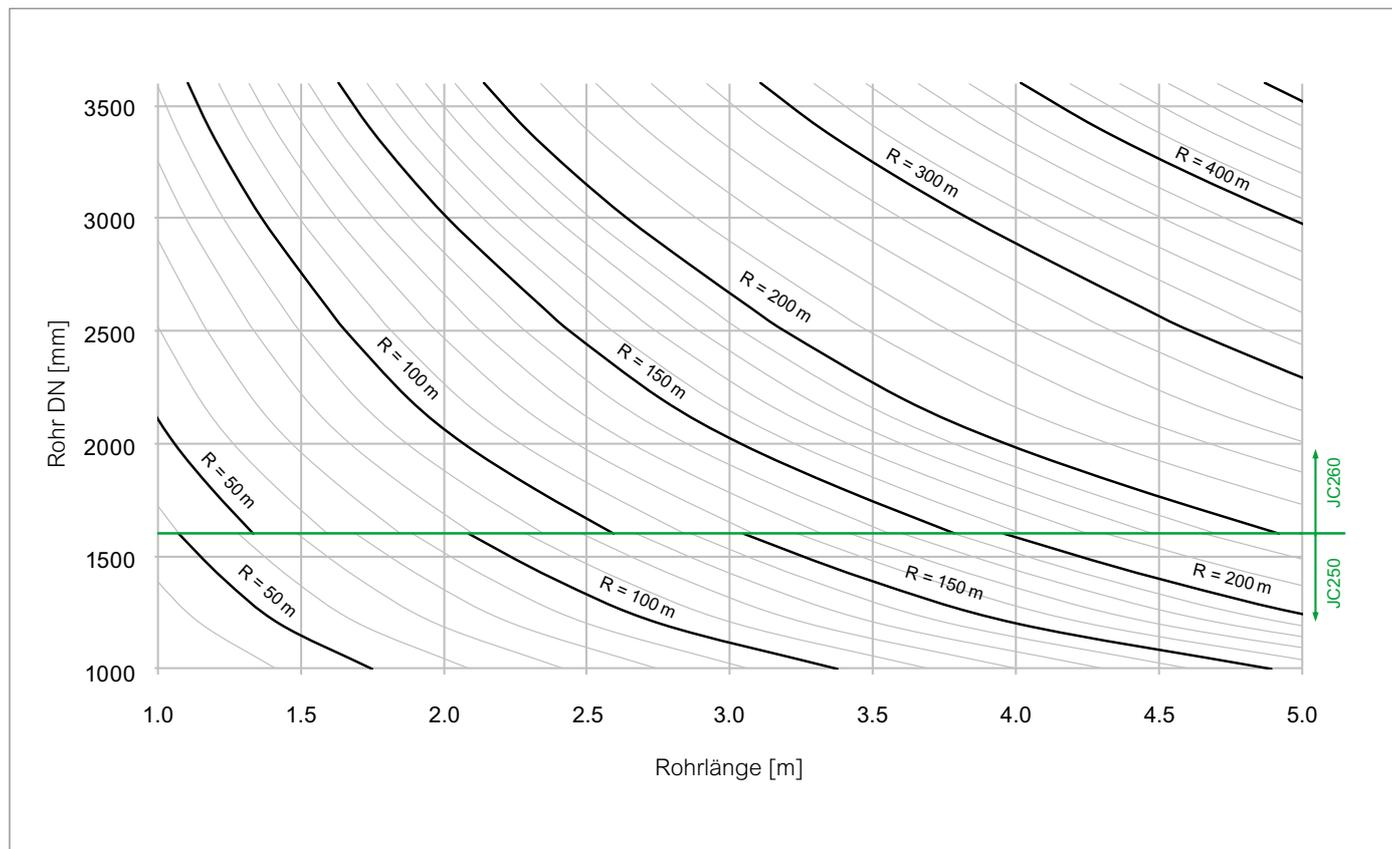


Aussenliegende Ausparung



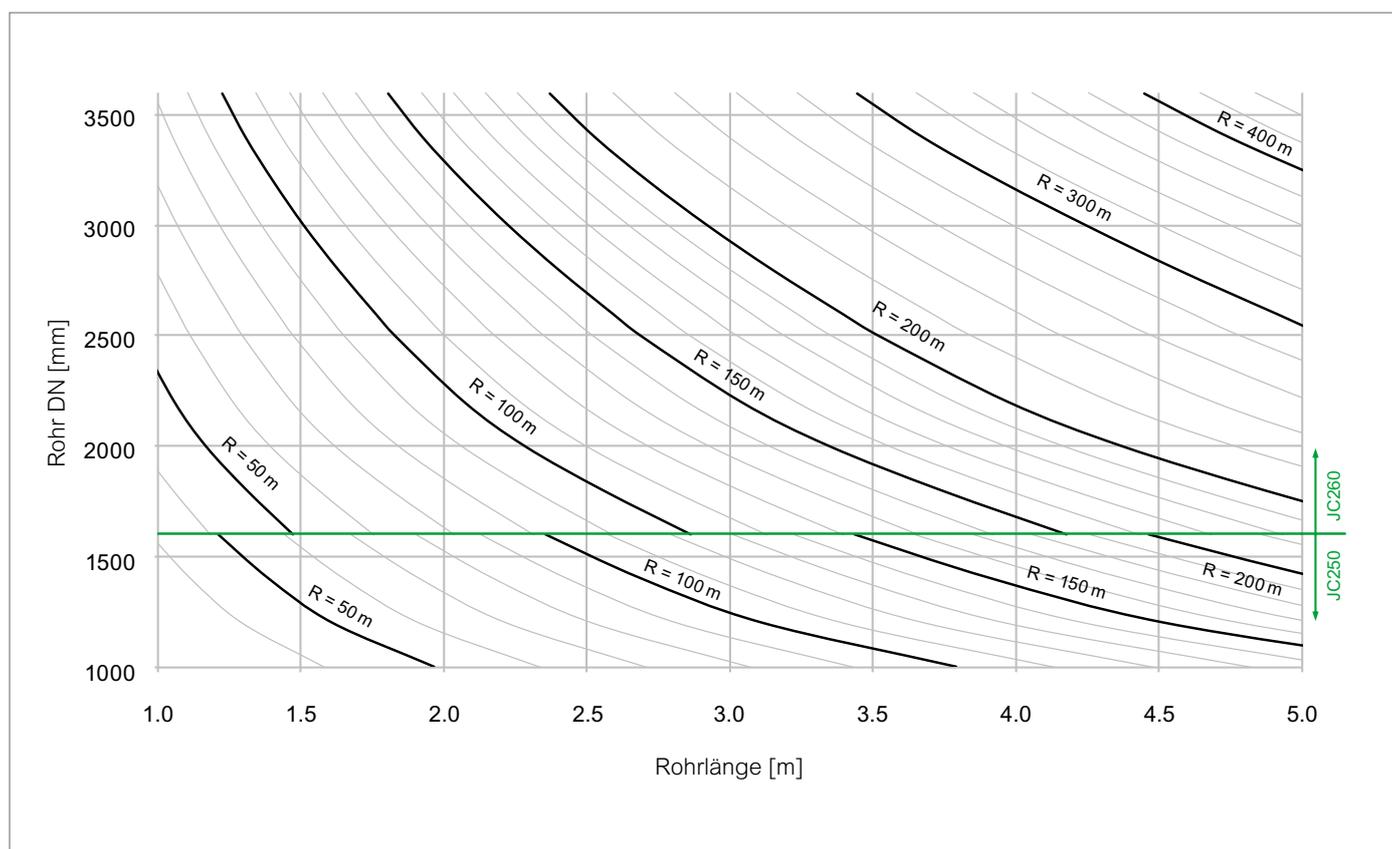
MÖGLICHE KURVENRADIEN HYDRAULISCHE FUGE

(injizierbar)



MÖGLICHE KURVENRADIEN HYDRAULISCHE FUGE

(nicht injizierbar)





RAM-BEFESTIGUNG

Die Aussparungen werden von Jackcontrol in Abstimmung mit den Rohrherstellern projektbezogen entworfen und in entsprechenden Plänen dargestellt. Anordnung und Gestaltung sind dabei von folgenden Faktoren abhängig:

- Platzverhältnisse/Wandstärke Vortriebsrohr
- Finish Rohrfügung nach beendetem Vortrieb
- spätere Zementleiminjektion
- weitere projektbezogene Randbedingungen (z. B. Sohlrinne, Lorenförderung usw.)

Die Negativformen bzw. Schalungseinlagen für die Aussparungen können aus Stahl, Hartholz oder Kunststoff hergestellt werden und werden durch den Rohrhersteller bereitgestellt.

Montage der Hydraulischen Fuge

Für die Befestigung der Hydraulischen Fuge am Vortriebsrohr gibt es zwei Möglichkeiten, siehe auch Bilder oben und Tabelle auf den Seiten 36/37:

- RAM (Standard):
mechanische Befestigung, Baustellenmontage
- COL (Ausnahme/Notfälle):
kleben, Montage Baustelle oder Rohrwerk
(gegen Aufpreis)

Nachfolgend werden diese zwei Befestigungsarten näher erläutert.

Die RAM-Befestigung

Die RAM-Befestigung funktioniert rein mechanisch und kommt witterungsunabhängig ohne Klebungen aus. Sie zeichnet sich aus durch eine einfache Handhabung und



HYDRAULISCHE FUGE MIT COL-BEFESTIGUNG

eine hohe Robustheit. Die Montage der Hydraulischen Fuge erfolgt dabei einfach und schnell auf der Baustelle durch das Personal der Vortriebsunternehmung. Die Hydraulische Fuge wird in Anlehnung an das System FFR von Dr. Dietmar Bergemann mittels eines Montagebolzens und einer Spannfeder in der Aussparung fixiert und durch den Umfang der Stahlmanschette entlang eingeklemmte Distanzhalter auf der richtigen Lage gehalten. Die RAM-Befestigung kann sowohl vorbereitend neben dem Startschacht als auch direkt unten im Startschacht beim Setzen des Vortriebsrohrs erfolgen.

Die COL-Befestigung

Bei der COL-Befestigung wird die Hydraulische Fuge mittels geeigneten Klebstoffs auf der rückseitigen Stirnwand des Vortriebsrohrs angeklebt. Für eine sichere Befestigung müssen für die Klebung bestimmte klimatische Bedingungen eingehalten werden und deren Ausführung erfordert eine erhöhte Sorgfalt der ausführenden Personen; aus diesen Gründen wird die COL-Befestigung in der Regel im Rohrwerk ausgeführt. Sie ist aufwendiger und damit teurer als die RAM-Befestigung, erlaubt jedoch die Anlieferung baufertiger Vortriebsrohre auf die Baustelle. Die COL-Befestigung wird hauptsächlich in Verbindung von Hydraulischen Fugen mit mehreren Umläufen eingesetzt.

Die Hydraulische Fuge während des Vortriebs

Ist die Hydraulische Fuge am Rohr befestigt, können die Vortriebsarbeiten genauso wie bei der Verwendung von DÜR aus Holzwerkstoffen erfolgen. Das heißt, der Druckring der Hauptpresse drückt direkt auf die am neu gesetzten Rohr befestigte Hydraulische Fuge. Es ist einzig sicher-



AUSSPARUNGSKÖRPER AUF
MANSCHETTENTRÄGER/UNTERMUFFE

zustellen, dass am Druckring **keine scharfen Kanten** und Gräte vorhanden sind, die mit der Hydraulischen Fuge in Berührung kommen und diese beschädigen könnten.

Während des Vortriebs sind an der Hydraulischen Fuge im Normalfall keine Manipulationen nötig; sie ist grundsätzlich wartungsfrei. Bei den Sensoreinheiten wird die Hydraulische Fuge als Kraftsensor eingesetzt, indem der Innendruck und die Spaltweite der Hydraulischen Fuge gemessen werden. Abgesehen von den Möglichkeiten des ab Seite 14 beschriebenen Monitoring- und Qualitätssicherungssystems MSS bringt der Einsatz der Hydraulischen Fuge in aussergewöhnlichen Situationen weitere vorteilhafte Möglichkeiten und Optionen mit sich:

- Durch den an der Hydraulischen Fuge angebrachten Füllhahn lässt sich auch während des Vortriebs die Flüssigkeitsmenge in der Hydraulischen Fuge verändern bzw. neuen Verhältnissen anpassen. Dies kann zum Beispiel bei unplanmässigen Anpassungen der Linienführung notwendig sein (ein engerer Kurvenradius als geplant kann z. B. zusätzliche Fugenflüssigkeit notwendig machen).
- Am Hahn lässt sich bei jeder Hydraulischen Fuge der Druck messen. Dies kann im Fall von plötzlichem Ansteigen der Vortriebskräfte infolge eines lokalen Verklemmens der Rohre im Boden helfen, die problematische Stelle zu lokalisieren, denn da, wo erhöhte Druckveränderungen gemessen werden, gibt es erhöhte Mantel-Reibung und geht Vortriebskraft verloren.



DRUCKÜBERTRAGUNGSRING (DÜR) AUS HOLZWERKSTOFF

- Ein verklemmter Rohrstrang kann durch gezieltes Entleeren und Auffüllen der Hydraulischen Fugen wieder in Bewegung gebracht werden.
- Durch Ablassen der Fugenflüssigkeit in mehreren Hydraulischen Fugen kann in Verbindung mit im Hause Jackcontrol vorhandenen hydraulischen Spreizkeilen Platz zwischen zwei Rohren für Interventionen geschaffen werden. Damit kann z. B. eine beschädigte Hydraulische Fuge ausgewechselt werden.

Auch nach erfolgtem Durchstich bleibt die Hydraulische Fuge benutzerfreundlich. Um den Fugenspalt zu minimieren, wird sie entleert. Dies wird durch abschnittsweises Öffnen der Kugelhähne (von Zwischenpresstation zu Zwischenpresstation) erreicht. Nach dem Öffnen wird der entsprechende Vortriebsabschnitt mit dem Dehner oder der Hauptpresse vorgeschoben resp. zusammengedrückt, und so werden die Fugen entleert. Die Spaltweiten zwischen den Rohren werden so auf der Kurveninnenseite resp. den Geraden minimal. Anschliessend werden die Dehnerzylinder ausgebaut und daraufhin der Dehner ebenfalls zusammengeschoben. Das gleiche Verfahren wird mit den darauffolgenden Vortriebsabschnitten durchgeführt, bis alle Fugen entleert und sämtliche Dehnerzylinder ausgebaut sind.

Zum Schluss werden die in das Rohr ragenden Bestandteile der Hydraulischen Fuge entfernt. Dies geschieht normalerweise gleichzeitig mit der Deinstallation des Monitoringsystems.

Emscher Genossenschaft/Gelsenkirchen, Holzbach BA2 SS

Hydraulische Fuge Typ JC260 auf Grossrohren



Erstmals wurden bei Projekten dieser Dimensionen, die Hydraulischen Fugen des Typs JC260 verwendet. Dieser Typ der Hydraulischen Fuge kommt oftmals bei im Vergleich zur Rohrdimension respektive zur Rohrlänge sehr engen Kurvenradien zum Einsatz. Dabei ist die Montage der Hydraulischen Fuge auf der Baustelle, insbesondere wie im vorliegenden Fall bei Grossrohren mit entsprechend grossen Wandstärken, eine Herausforderung für die ausführende Vortriebsunternehmung. Bei diesem Projekt wurden diese Arbeiten nach entsprechender Instruktion der Baustellenmannschaft einwandfrei ausgeführt.

Ebenfalls nicht erstmalig, aber dennoch erwähnenswert ist die mittels Leim erfolgte Montage der drei Wegmesssensoren einer Sensoreinheit. Dieses System wird von Jack-control schon viele Jahre eingesetzt. Mittlerweile wurde das System soweit optimiert, dass die Montage auch kopfüber im First reibungslos klappt. Die für den einmaligen Einsatz konzipierten Holzbrettchen sind einfach auszutauschen, sodass wie im vorliegenden Fall die Sensoren ohne grossen Aufwand für eine nächste Haltung eingesetzt werden können.



MITTELS LEIM BEFESTIGTER WEGMESSESENSOR IM FIRST

AUF EINEN BLICK

Projektbezeichnung	Holzbach BA2
Standort	Gelsenkirchen, Deutschland
Nutzung	Abwasser-Hauptsammler
Ausgeführt	2020
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> ■ grosse Rohrdimensionen mit nur 1-umläufiger Hydraulischer Fuge ■ Statik → innerer Überdruck ■ Montage Wegmesssensoren mittels Leim, keine Bohrungen
Totallänge	164 + 290 = 454 m
Innendurchmesser	2400/2800 mm
Aussendurchmesser	3000/3600 mm
Linienführung	2 Haltungen mit Kurve
Min. Kurvenradius	R = 300 m
Rohrmaterial	Stahlbeton
Rohrlänge	3,00 m
Max. Überdeckung	8 m
Geologie	anthropogene Auffüllungen, schwach bindige Sand-, Schluff- und Kiesschichten, fester Mergelstein
Hydraulische Fuge	beide Haltungen: JC260 mit einem Umlauf
TBM	Herrenknecht AVND 2400
Bauherr	Emscher Genossenschaft
Vortriebsfirma	Smet-Tunnelling nv
Rohrhersteller	BERDING BETON GmbH

5.3 DER EDAR®

Der **EDAR®** (**E**lastischer **D**ruck-**A**usgleichs-**R**ing) ist der ideale Druckübertragungsring, wenn es um einfachere und anspruchsvollere Vortriebe mit erhöhten Dichtigkeitsanforderungen und/oder Innerem Fugenschluss geht. 2017 hat die Jackcontrol AG die EDAR®-Technologie vom Inge-

nieurbüro Baumgartner, Tuttlingen (D), übernommen und diese weiterentwickelt. Namentlich wurde der EDAR®-S für kleinere Vortriebsrohre entwickelt und der EDAR® in MSS implementiert. Weiter konnte der Einbau des EDAR® im Vortrieb vereinfacht werden. Der EDAR® erweitert das Spektrum an multifunktionalen Druckübertragungsmitteln für Rohrvortrieb und Microtunneling entscheidend.



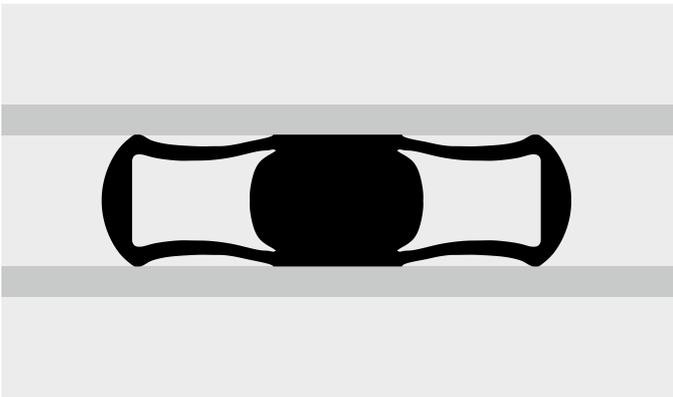
VORTRIEB KOPENHAGEN (DK): EDAR® AUF ROHR DN 2500 MM

Übersicht und Funktionsweise

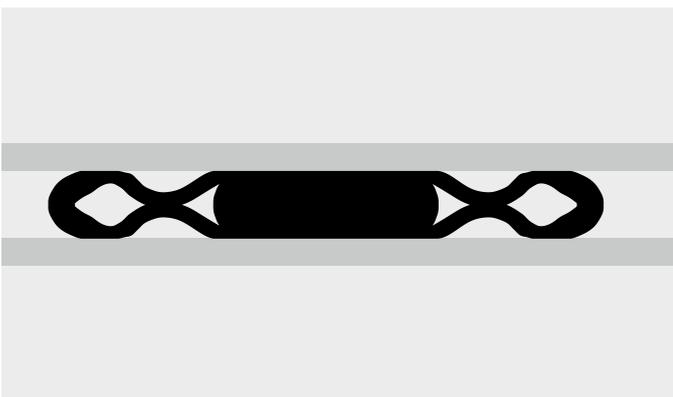
Der EDAR® wird aus einem reinen Elastomer-Profil gebildet, welches zu einem geschlossenen Ring verklebt wird. Ähnlich wie bei der Hydraulischen Fuge bringt der EDAR® bei Abwinklungen der Rohrfügung im Vergleich zu Druckübertragungsringen (DÜR) aus Holzwerkstoffen eine gleichmässige Verteilung der Drücke über den Rohrumfang mit sich. Der EDAR® wurde eigens dafür entwickelt, wobei die mechanischen Eigenschaften des verwendeten Elastomer-Materials und der Profil-Querschnitt des EDAR® die massgeblichen Parameter bilden. Beides – Materialeigenschaften und Profil-Querschnitt – wurde im Hinblick auf den Einsatz von dickwandigen Vortriebsrohren optimiert. Durch den in langjährigen Versuchen und Piloteinsätzen optimierten Profil-Querschnitt können die auf das Vortriebsrohr wirkenden Spaltzugkräfte auf ein zulässiges Mass begrenzt werden.

Im Vergleich zu herkömmlichen DÜR aus Holzwerkstoffen zeichnet sich der EDAR® durch folgende für den Vortrieb relevante Eigenschaften aus:

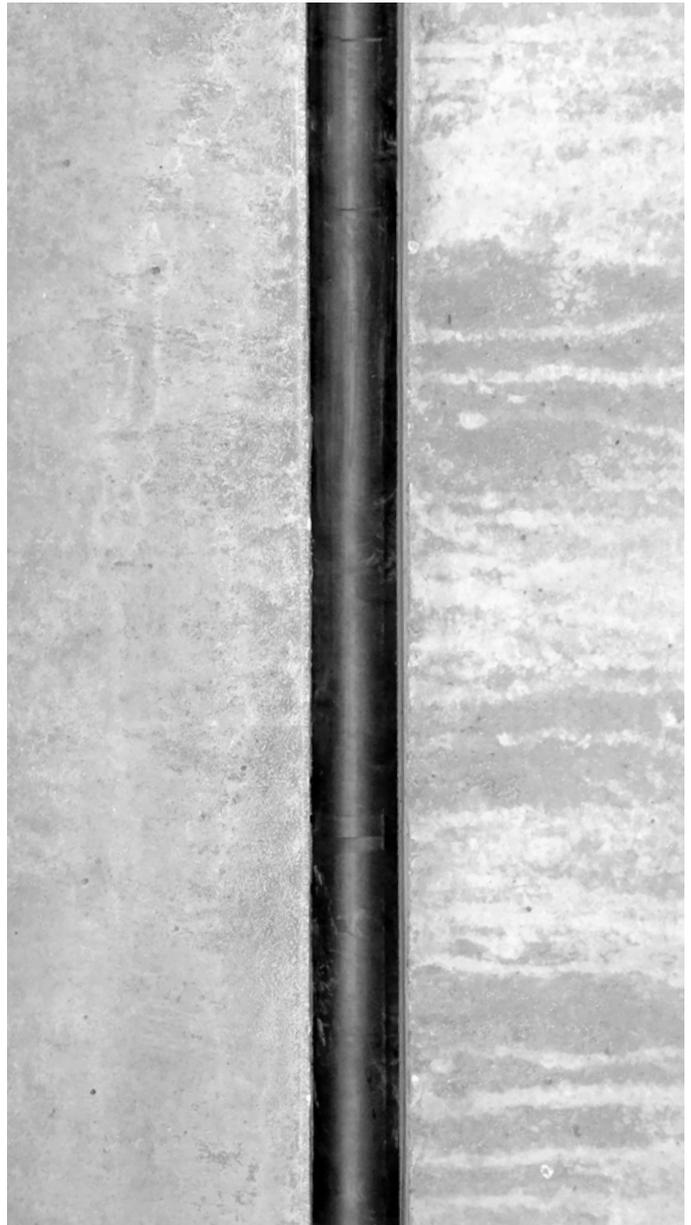
- höhere Vortriebskräfte in Kurven
- längere Vortriebsrohre in Kurven
- zuverlässiges Monitoring dank reversiblen mechanischen Eigenschaften.



EDAR® UNVERFORMT



EDAR® UNTER LAST/WÄHREND VORTRIEB



FUGENBILD AUF DER ROHRINNENSEITE MIT EDAR®

Über die Bauphase hinaus bringt der EDAR® während der gesamten Nutzungsdauer des Bauwerks noch weitere Vorteile mit sich:

- hochwertige und kontinuierliche Fugenausbildung über den gesamten Rohrumfang
- Innerer Fugenschluss mit einem anorganischen, chemisch inerten und damit auch in den extremen Bedingungen eines Abwasserkanals dauerhaft stabilen Material (dies im Gegensatz zu DÜR aus Holzwerkstoffen, die verrotten und die Pilzbildung fördern)
- in Verbindung mit entsprechenden Rohroberflächen Möglichkeit der Aktivierung als innere Fugendichtung, je nach Projektanforderungen in Verbindung mit Injektionen.

Kräfte

Der EDAR® wurde in seiner Entwicklung so ausgelegt, dass er in geraden Vortrieben vergleichbare Vortriebskräfte zulässt wie herkömmliche DÜR aus Holzwerkstoffen. In der Kurve lässt der EDAR® dagegen aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften deutlich höhere Vortriebskräfte zu als DÜR aus Holzwerkstoffen. Dabei werden nur so grosse Fugenwinkel zugelassen, dass der Kontakt Rohr–EDAR® – Rohr vollflächig erhalten bleibt (bei noch engeren Kurvenradien empfiehlt sich der Einsatz der Hydraulischen Fuge). Mit den beiden vorhandenen Typen EDAR®-M und EDAR®-S können folgende Rohrdimensionen vorgepresst werden:

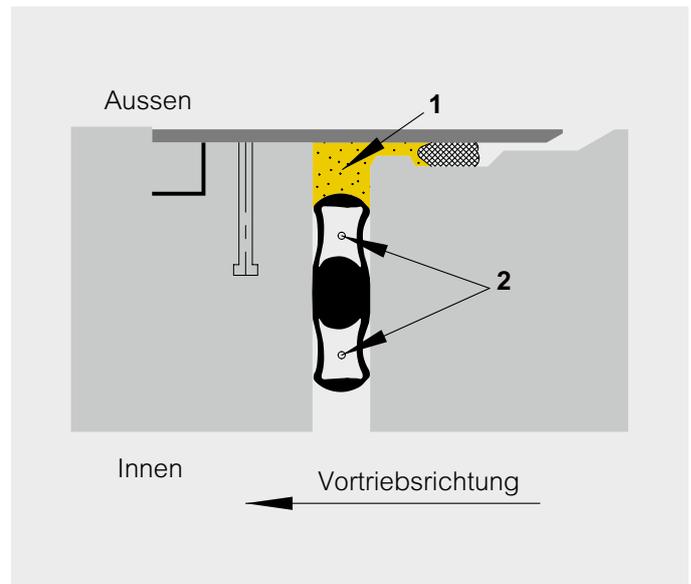
- EDAR®-S
Rohr-Durchmesser: DN 1000 bis DN 2000 mm
- EDAR®-M
Rohr-Durchmesser: DN 2000 bis DN 3200 mm

In der Anwendung gilt es zu beachten, dass der EDAR® im Vergleich zur Hydraulischen Fuge und zu DÜR aus Holzwerkstoffen eine erhöhte Rückfederung bei der Entlastung und damit beim Rohrwechsel aufweist. Aus diesem Grund kann es in einigen Fällen – v. a. bei längeren Vortrieben – notwendig sein, eine **Rohrbremse im Startschacht** einzubauen. Gerne berät Sie das Jackcontrol-Team diesbezüglich im Hinblick auf Ihr Projekt. Die gleichen elastischen Eigenschaften führen jedoch auch dazu, dass nach längeren Stillständen und verfestigtem Bentonit im Ringspalt bedeutsam geringere Vortriebskräfte erforderlich werden, um den Strang wieder in Bewegung zu bringen, da quasi jedes einzelne Rohr wieder in Bewegung gebracht wird und nicht gleichzeitig ein ganzer Abschnitt zwischen zwei Dehnern.

Der EDAR® als Dichtung und Innerer Fugenverschluss

Da der EDAR® einen geschlossenen Ring aus dauerhaftem Elastomer bildet, eignet er sich vorzüglich als Innerer Fugenverschluss und – entsprechende Rohr-Stirnflächen vorausgesetzt – auch als Innendichtung von Vortriebsrohren, wobei dazu je nach Anwendung der EDAR® mittels zusätzlicher Injektionen in die Ringräume im EDAR® oder zwischen EDAR® und Stahlmanschette zur Dichtung aktiviert werden kann.

Der Ringraum (1) zwischen EDAR® und Stahlmanschette wird dazu mit Zementleiminjektionen **JCGrout** ausgefüllt, analog wie dies bei der Hydraulischen Fuge gemacht wird, siehe auch 5.4, vorzugsweise unter Nutzung von vorgängig in die Rohrwandung eingelegten Röhrchen für Einfüllung



PRINZIPSKIZZE INJEKTIONEN:
MÖGLICHE INJEKTIONSKAMMERN

und Entlüftung. Erwähnt sei an dieser Stelle noch einmal der daraus resultierende hochwertige Korrosionsschutz für die Stahlmanschette infolge hohen pH-Werts bzw. Passivierung des Stahls.

Die beiden geschlossenen Ringräume innerhalb des EDAR®-Profils (2) werden nach dem Vortrieb zum Zweck der **JCGrout**-Injektion angebohrt und mit einem Packer ausgerüstet. Anschliessend kann wiederum zementöses Injektionsgut eingepresst werden, und zwar unter erhöhtem Druck, was die Rohrfügung mit dem EDAR® unter eine Längsvorspannung setzt und damit die Dichtleistung entscheidend erhöht. Nach der Injektion wird der Packer verschlossen und das zementöse Injektionsgut kann aushärten, was den Spannungszustand bzw. die Vorspannung «einfriert». Bei **JCGrout** gilt es sicherzustellen, dass die Endbereiche des Rohrstranges bei den Endschächten ausreichend in Rohr-Längsrichtung gehalten bzw. verankert sind, da ansonsten die Gefahr besteht, dass sich die Rohre infolge des Injektionsdrucks in Richtung der Endschächte bewegen, was meist unerwünscht ist und den Aufbau der Vorspannung verhindern würde.

Planungshilfen zum EDAR®

Die beiden unten aufgeführten Diagramme zeigen in Abhängigkeit der Rohrgeometrie den Einsatzbereich des EDAR® übersichtlich auf. In Anwendung des Regelwerks DWA-A 161, 10.3 können bei der Bestimmung der zulässigen Vortriebskräfte geringere Toleranzen in Rohrgeometrie und Steuerbewegungen angenommen werden, wenn die effektiv auftretenden Fugenwinkel gemessen und berücksichtigt werden. In Anwendung dessen ergeben sich die beiden untenstehenden Diagramme, welche für den EDAR®-S und den EDAR®-M in Abhängigkeit der Rohrgeometrie die minimal möglichen Kurvenradien darstellen.

Rohrdesign

Der EDAR® kann ohne weitere Anpassungen an jedem dickwandigen Vortriebsrohr eingesetzt werden. Folglich kann der EDAR® auch improvisiert in jeder Phase eines laufenden Vortriebs zum Einsatz gebracht werden.

Einsatz des EDAR®

Die Montage des EDAR® erfolgt ganz einfach während des Einbaus eines neuen Vortriebsrohres im Startschacht, indem das Anschieben des neuen Rohrs kurz unterbrochen wird, wenn die Spaltweite zwischen vor- und nachlaufendem Rohr etwa 6 bis 8 cm beträgt. In diesem Zustand wird der EDAR® in den offenen Fugenspalt eingelegt bzw. eingeklemmt. Die Feineinstellung der richtigen Lage auf der Rohr-Stirnfläche erfolgt unter Zuhilfenahme von leichten Distanzhaltern aus Styropor, die ebenfalls in die Fugenspalte

eingelegt werden. Ist der EDAR® richtig positioniert, wird das nachlaufende Rohr ganz angepresst und der Vortrieb kann fortgesetzt werden.

Während des Vortriebs erfordert der EDAR® keine weiteren Massnahmen. Jedoch gilt es die mit der Entlastung beim Rohrwechsel verbundene Rückfederung durch angepasste Handhabung von Dehnern und Rohrbremse zu minimieren bzw. kontrollieren. Mit etwas Einsatzerfahrung ist es auch bei langen Vortrieben möglich, ein neues Rohr ohne Aktivierung der Rohrbremse einzubauen.

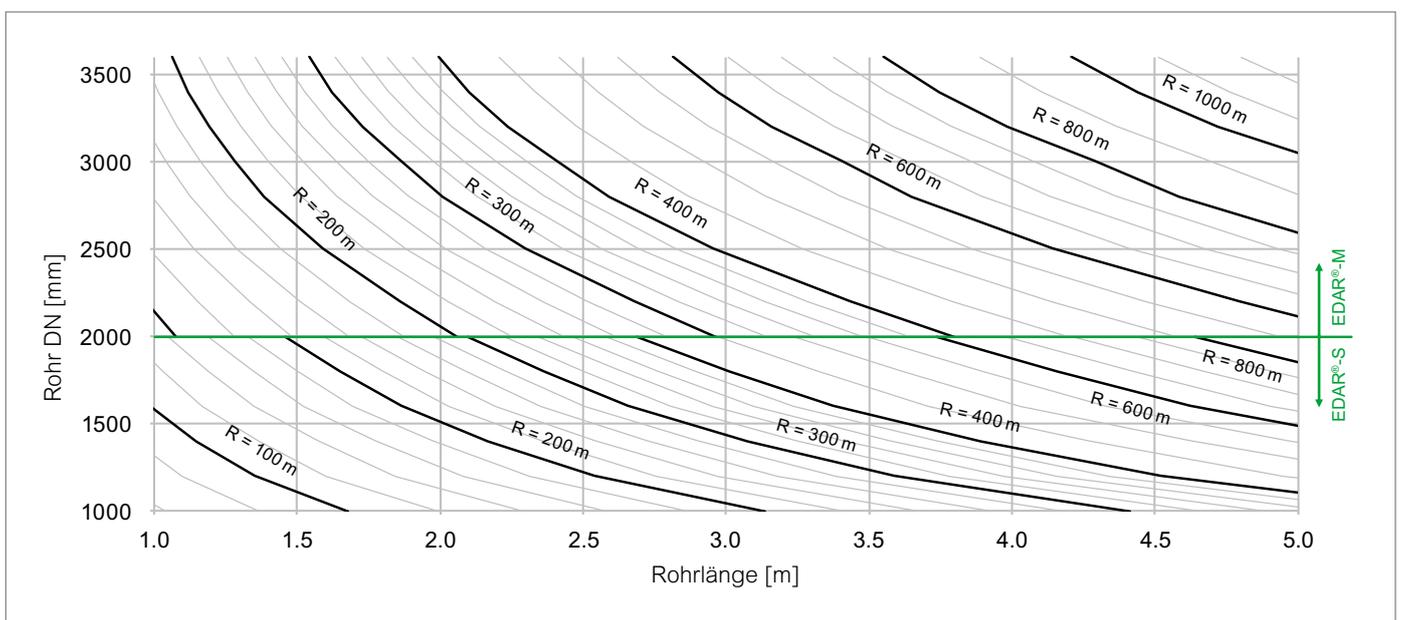
Nach dem Vortrieb kann der EDAR® grundsätzlich ohne weitere Massnahmen in der Rohrfügung belassen werden. Im Falle einer Nutzung bzw. Aktivierung des EDAR® als Innerer Fugenverschluss oder sekundäre Innendichtung sind die auf Seite 55 aufgeführten Arbeitsschritte durchzuführen.

Monitoring Vortrieb/MSS

Ein mit dem EDAR® ausgerüsteter Rohrvortrieb lässt sich mit MSS begleiten, wobei im Rahmen des JCPipe®-Pakets der von der Richtlinie DWA-A 161 beschriebene Algorithmus angewendet wird. Bei längeren und anspruchsvolleren Vortrieben empfiehlt sich der vortriebsbegleitende Einsatz von MSS zur Qualitätssicherung. Infolge seiner einfachen und robusten Ausführungsform lässt sich der EDAR® bei kürzeren und/oder einfacheren Vortrieben jedoch auch ohne Monitoringsystem einsetzen.

Anwendungsbereich EDAR® mit MSS-Monitoring

(reduzierte Steuerbewegungen nach DWA-A 161, 10.3)

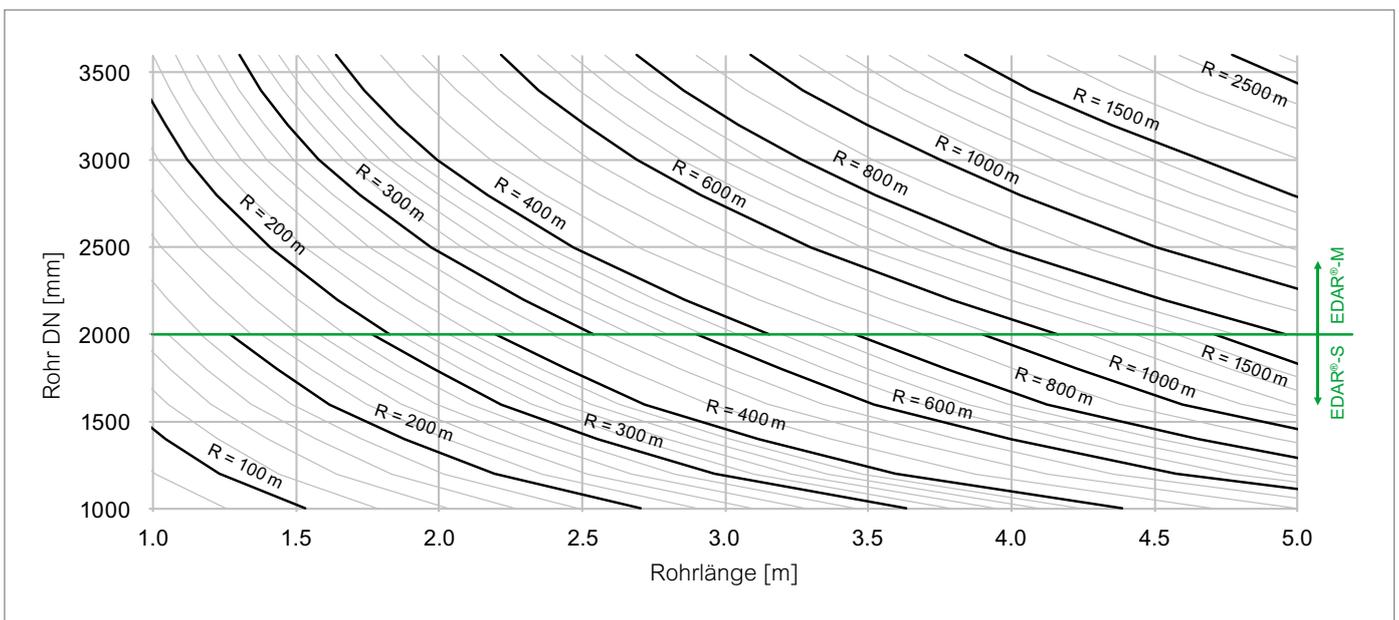




EINBAU EDAR®

Anwendungsbereich EDAR® ohne Monitoring

(mit Berücksichtigung der Steuerbewegungen nach DWA-A 161, 10.3)



Vortrieb mit EDAR®- Druckübertragungsringen unter Tramlinie und Autobahn



Im Osten der grössten Schweizer Stadt Zürich, in Schwamendingen (Kreis 12), wird die in den 1980er-Jahren gebaute Autobahn mittels eines Tagbautunnels eingehaust. Durch diesen Tagbautunnel entsteht ein in der Schweiz einzigartiger, knapp einen Kilometer langer und rund 30 Meter breiter Nutzbau, über welchen das durch die Autobahn einst getrennte Quartier wieder verbunden werden soll. Der durch Treppen, Rampen und Lifte erreichbare, auf dem Dach des Baus entstehende Grün- und Freiraum soll für die Bevölkerung als Begegnungs- und Erholungszone dienen. Aufgrund der zusätzlich nötigen Foundationen für den Tagbautunnel muss eine bestehende Wasserleitung DN600 der Wasserversorgung Zürich (WVZ) aufgehoben und neu gebaut werden. Da diese neue Leitung die Autobahn und auch die unter der Autobahn liegenden Tramlinie und Tramhaltestelle unterqueren muss, wurde entschieden, dafür ein Leerrohr mittels Rohrvortriebs zu erstellen und die neue Wasserleitung anschliessend in dieses Leerrohr einzuziehen. Für den Vortrieb wurde ein Rohr mit der Nennweite DN 1200 mm gewählt. Die Herausforderung bei diesem Projekt liegt darin, dass der Vortrieb nur gerade 1,20 m unter der bestehenden Tramhaltestelle zu liegen kommt. Für die Ausführung wurden der Druckübertragungsrings EDAR®-S und das Echtzeit-Monitoringsystem von Jackcontrol gewählt.



LÄNGENPROFIL

AUF EINEN BLICK

Projektname	N01/40, Zürich Unterstrass– Zürich Ost, Einhausung Schwamendingen Los V, Abschnitt Schörli, Unterquerung WVZ
Ort	Zürich, Schweiz
Zweck	Leerrohr zur Aufnahme einer Trink- wasserleitung und von Leerrohren
Ausführung	2017
Spezielles	<ul style="list-style-type: none"> ■ Unterquerung von Tramgeleisen und darüber liegender Autobahn ■ Bohrung bei laufendem Betrieb von Tram und Strassenverkehr ■ erster Einsatz des Typs EDAR®-S ■ erster Einsatz von EDAR® bei Jackcontrol
Vortriebslänge	121 m
DN/ID	1200 mm
AD	1490 mm
Linienführung	gerade
Minimaler Kurvenradius	gerade
Rohrmaterial	Stahlbeton
Rohrlänge	3 m
Max. Überdeckung	12 m
Geologie und Grundwasser	auf dem Niveau Rohrvortrieb, sandige/siltige Seeablagerungen
Druckübertragungs- mittel	EDAR®-S
TBM	Herrenknecht AVN 1200
Bauherr	Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Winterthur
Planer	INGE K12plus
Vortriebs- unternehmen	Braumann Tiefbau AG, Schweiz

5.4 ZEMENTLEIMINJEKTION JCGROUT

Die Dichtigkeit der Rohrverbindungen bei Vortriebsrohren muss in der Regel über die gesamte Nutzungsdauer der Rohrleitung erhalten bleiben. Dabei spielen primär die Bemessung und der korrekte Einbau des Stahlführungsrings bzw. der Stahlmanschette und der Keilgleitdichtung eine wichtige Rolle. Ebenso hat der vollumfängliche Innere Fugenverschluss eine grosse Bedeutung: Insbesondere bei flüssigkeitsführenden Rohrleitungen kann ohne Fugenverschluss Flüssigkeit vom Rohr-Innenraum her bis zu den Stahlführungsringen vordringen und dadurch deren Korrosion beschleunigen. Weiter wird ein Fugenverschluss oftmals als sekundäre Dichtung angesehen, welche bei Versagen der primären Dichtung ein Eindringen von Grundwasser ins Rohrinne verhindern oder zumindest minimieren kann.

Bei sämtlichen Arten von Fugenverschlüssen (Fugenband, Ausmörtelung des Fugenspalts, Einschlagprofil usw.) bleibt der ringförmige Hohlraum zwischen den Rohrspiegeln, dem Stahlführungsring und dem Druckübertragungsmittel bestehen. Auch bei intakter primärer Dichtung und eingebrachtem Fugenverschluss wird Feuchtigkeit früher oder später zur Korrosion des Stahlführungsrings führen, dies gilt in verstärktem Masse im Abwasserbereich.

Zur Verhinderung von Korrosionsschäden am Stahlführungsring und zur nachträglichen Verbesserung der Dichtigkeit der Rohrfügung hat Jackcontrol ein Verfahren entwickelt, mit welchem der ringförmige Hohlraum in der Rohrfügung verfüllt und damit gleichzeitig der Stahlführungsring nachhaltig vor Korrosion geschützt wird: die Zementleiminjektion **JCGrout**.

Voraussetzungen für die Zementleiminjektion JCGrout

Die Verfüllung des Ringraums mit Zementleim erfordert eine innere Abschalung; diese Funktion wird von der Hydraulischen Fuge wahrgenommen. Die Hydraulische Fuge kann dabei als Innerer Fugenverschluss genutzt werden, siehe

auch untenstehende Abbildung, ausser im Bereich der Aussparung/Armaturen. Die Hydraulische Fuge zeichnet sich dadurch aus, dass bei veränderlichen Fugenspaltweiten (wie z. B. bei Kurvenfahrt) keine Fugenklaffung auftritt. Bei geraden Linienführungen bzw. grossen Kurvenradien kann auch der EDAR® die Funktion der inneren Abschalung sowie des Inneren Fugenverschlusses übernehmen.

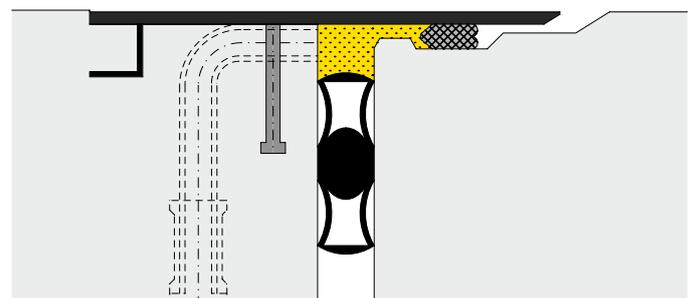
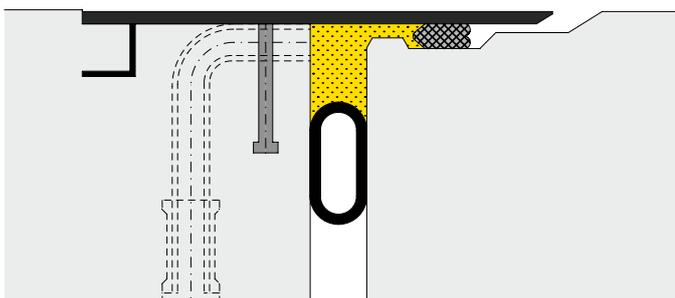
Weiter braucht es für die Ringraumverfüllung an jedem Rohr einen Füll- und einen Entlüftungsstutzen. Der Entlüftungsstutzen wird normalerweise am Rohrscheitel positioniert, die Füllstutzen je nach Richtung der Krümmung der Kurve seitlich in einem der Kämpfer.

Verfüllmaterial

Für das bei JCGrout injizierte Material sind folgende Kriterien relevant:

- einfache Handhabung und Verarbeitung
- kostengünstig (je nach Rohrdurchmesser werden pro Fuge bis über 20 Liter verfüllt)
- Beständigkeit gegenüber Abwässern
- passivierende bzw. korrosionshemmende Wirkung auf den Stahlführungsring
- adhäsive Eigenschaft gegenüber den Betonrohroberflächen
- Eindringvermögen in Kleinhohlräume und Kanülen auf der Betonoberfläche
- Dauerhaftigkeit.

Diese Kriterien werden von richtig angemischter Zementsuspension, auch Zementmilch bzw. Zementleim genannt, am besten erfüllt. Eine Rissbildung innerhalb bzw. zwischen der abgehärteten Zementsuspension und den Rohr-Stirnflächen infolge von Schwinden der Zementsuspension oder von möglichen Bewegungen des Rohrstranges im Boden kann auch bei Verwendung einer schwindminimierten Rezeptur für die Zementsuspension nicht vollständig verhindert werden, auch wenn die Ringraumverfüllung nach Abschluss der Vortriebsarbeiten und nach erfolgter erdseitiger Ringspaltverfüllung ausge-



SCHNITT DURCH EIN VORTRIEBSROHR MIT JCGROUT (LINKS MIT HYDRAULISCHER FUGE, RECHTS MIT EDAR®)

führt wird. Dies ist jedoch für die Dichtwirkung nicht relevant, denn die Dichtwirkung erfolgt durch die in die kleinvolumigen Poren und Kanülen zwischen Rohrbeton und Druckübertragungsring eindringende Zementsuspension. Diese ist infolge der Kleinvolumigkeit nicht von Schwindrisen betroffen. Weiter wird deren Dichtwirkung durch allfällige äussere Bewegungen des Rohrstranges nach der äusseren Ringraumverfüllung nicht beeinträchtigt, da die Aussenflächen der Hydraulischen Fuge bzw. des EDAR® diese Bewegungen ausgleichen können; die Dauerelastizität wird somit von der elastischen Aussenhaut des Druckübertragungsrings gewährleistet. Auch wird die Aufrechterhaltung eines basischen Milieus bzw. hohen pH-Werts nicht durch einzelne Schwindrisse beeinträchtigt.

Bei der Rezeptur der Zementsuspension wird auf Folgendes geachtet:

- Verwendung eines feinkörnigen Zements, speziell geeignet für Injektionen und schwindminimierte Aushärtung.
- Wahl eines Wasser/Zement-Verhältnisses, bei welchem praktisch die ganze Wassermenge in der Abbindereaktion vom Zement aufgenommen wird und somit kein Überschusswasser entsteht bzw. keine Schwindung in der Zementsuspension auftritt.
- Beigabe von Zusätzen für ein verlangsamtes Abbinden und verbesserte Viskosität während der Verarbeitung.

Beschreibung und Funktionsweise der Ringraumverfüllung

Die fertig angemischte Zementsuspension wird durch den Einfüllstutzen in den Ringraum injiziert, fliesst vorerst in diesem in Richtung untere Rohrhälfte und füllt den Ringraum allmählich von unten her beidseitig bis zum Scheitel, wobei



CT ROVER IN TUNNEL DN 3000 MM

die aus dem Ringspalt verdrängte Luft durch den Entlüftungsstutzen entweichen kann. Ist der Ringraum vollständig verfüllt, fliesst überschüssige Zementsuspension aus dem Entlüftungsstutzen heraus. Dies ist das Indiz dafür, dass der Ringraum vollständig verfüllt ist.

Bei einem teilweise oder auch vollständig mit Flüssigkeit bzw. Wasser gefüllten Ringraum wird während der Verfüllung die Flüssigkeit von der Zementsuspension im Ringraum nach oben verdrängt und aus dem Entlüftungsstutzen im Scheitel gepresst. In diesem Fall ist die Verfüllung solange fortzuführen, bis aus dem Entlüftungsstutzen nur noch reine Zementsuspension austritt. Die Entfernung von unerwünschtem Wasser aus einer Fuge ist mit der beschriebenen Ringraumverfüllung demzufolge eine einfache Sache bzw. ein positiver Nebeneffekt.

Die Einfüllgeschwindigkeit wird so gewählt und eingestellt, dass die Zementsuspension während des Verfüllens in jeden Hohlraum fließen kann und somit eine vollständige Verfüllung des Ringraums erreicht wird. Dies wurde im Rahmen einer werkeigenen Versuchsserie unter Verwendung einer Rohr- und Fugenteststeinrichtung eingehend untersucht und konnte nachgewiesen werden.



MULTIFUNKTIONELLES, AUTARKES TUNNELFAHRZEUG CT ROVER, BESTEHEND AUS ZWEI TEILFAHRZEUGEN



CT ROVER MIT ZEMENTWANNE/-MISCHER
UND INJEKTIONSPUMPE AM TUNNELEINGANG



EINBRINGEN DES SCHALUNGSSTREIFENS
IN DEN AUSSPARUNGSBEREICH IN ROHR DN 1200 MM

Ringraumverfüllung mit Compact Tunnel Rover (CT Rover)

Für die Durchführung der JCGrout-Injektionen wurde ein speziell dafür zugeschnittenes Tunnelfahrzeug entwickelt, der Compact Tunnel Rover (**CT Rover**).

Die wichtigsten Eigenschaften des CT Rover sind:

- Einsatzbereich Rohrdurchmesser:
DN 1200 mm bis DN 3500 mm
- Zweimannbesatzung
- autonomer (Akku-)Betrieb während mind. 5 Stunden
- fahrzeugeigene Beleuchtung
- hoher Sicherheitsstandard (div. Endschalter-Freigaben benötigt für Fahrbewegung, Selbstrettung der Besatzung durch mitgeführte fahrbare Bahre)
- einfache und effiziente Handhabung
- bequemer Arbeitsplatz auch in engen Platzverhältnissen bei DN 1200 mm
- einfach zerlegbar und (Luft-)verfrachtbar in Europaletten.

Zusammengefasst besteht der CT Rover aus zwei über eine Deichsel verbundenen Teilfahrzeugen, wobei das eine Fahrzeug vorwiegend die Batterien umfasst und als Arbeitsfläche/-tisch dient, während mit dem anderen die Zementsuspension sowie die Injektionspumpe mitgeführt werden. Beide Teilfahrzeuge können sich auch unabhängig voneinander im Tunnel bewegen und sind mit bequemen Sitzen bzw. Arbeitsflächen für die Bedienmannschaft ausgestattet.

JCGrout in der Praxis

Jackcontrol hat JCGrout bereits bei mehreren Dutzend Vortrieben eingesetzt. Der Ablauf einer Injektionskampagne gestaltet sich normalerweise wie folgt:

Vorbereitungsarbeiten

Meist kommt eine Hydraulische Fuge mit einem Umlauf zum Einsatz. Daher wird im Bereich, wo die beiden Endarmaturen der Fuge zusammenlaufen (Aussparung), vor-



RINGRAUMVERFÜLLUNG JCGROUT MIT DEM CT ROVER

gängig zur Verfüllung ein Schalungskörper eingebracht. Mit diesem ist sichergestellt, dass der zu verfüllende Ringraum um den gesamten Umlauf des Rohrs abgeschlossen ist und vollständig verfüllt wird. Ebenfalls zu den Vorbereitungsarbeiten gehört das Einschrauben der Füll- und Entlüftungsstutzen; diese Arbeiten werden unter Verwendung des CT Rovers sicher und effizient ausgeführt.

Ringraumverfüllung

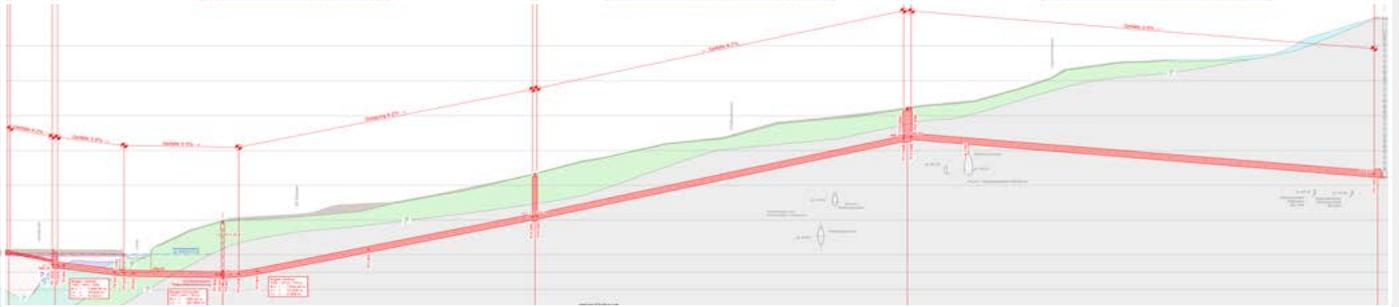
Nach Abschluss der Vorbereitungsarbeiten kann mit der eigentlichen Verfüllung gestartet werden. Nach dem Anmischen ausserhalb des Stollens wird die fertige Zementsuspension beim Tunneleingang in die Wanne des CT Rovers gefüllt und anschliessend damit von Fuge zu Fuge gefahren, um die Ringraumverfüllungen auszuführen. Die Zementsuspension wird währenddessen durch einen Mischer dauernd in Bewegung gehalten, um die Verarbeitungseigenschaften beizubehalten. Ein frühzeitiges Abbinden der Zementsuspension wird durch Verwendung eines geeigneten Zusatzmittels verhindert.

Abschlussarbeiten

Nach der Aushärtung der Zementsuspension müssen sämtliche Füll- und Entlüftungsstutzen sowie die Schalungskörper wieder entfernt und die Verschlussstopfen eingeschraubt werden. Dies erfolgt wiederum sicher und schnell mit dem CT Rover.

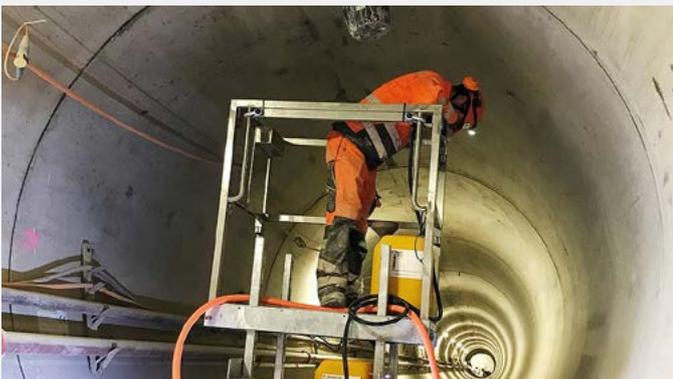
Fernwärme für Zürich-West

Microtunneling mit Zementleiminjektion



Damit nach der Stilllegung der Kehrichtverbrennungsanlage Josefstrasse Zürich-West auch in Zukunft mit Fernwärme versorgt werden kann, wurde eine 6 km lange Verbindungsleitung zum Kehrichtheizkraftwerk Hagenholz gebaut. Etwa 2,3 km davon werden in neuen, im Microtunnelingverfahren erstellten Stollen montiert. Diese Verbindungsstollen wurden in drei Haltungen aufgeföhren, zweimal in der Nennweite 3000 mm und einmal in der Nennweite 3200 mm. Dieser eine, etwas grössere Innendurchmesser war nötig, da mit dem Rohrvortrieb eine unterirdische Kaverne aufgeföhren wurde und die Vortriebsmaschine durch den bestehenden Stollen über mehr als 800 m zurückgezogen werden musste.

Bei allen drei Haltungen kamen Hydraulische Fugen von Jackcontrol zum Einsatz. Ebenfalls wurden bei allen drei Haltungen die Hohlräume zwischen Hydraulischer Fuge und der Stahlmanschette mittels Zementleiminjektionen verfüllt. Somit konnte die Dichtigkeit der Rohrverbindung verbessert und der Korrosionsschutz der Manschette sichergestellt werden. Weiter wurden zwei weitere, kleinere Vortriebe mit der Nennweite 1200 mm erstellt, welche parallel verlaufen und deren Rohraussenseiten nur einen Abstand von 32 cm aufweisen.



ZEMENTLEIMINJEKTION: MISCHER MIT ZEMENT IM STARTSCHACHT FÜR INJEKTIONEN STOLLENMOBIL IM VORTRIEB

AUF EINEN BLICK

Projektbezeichnung	ERZ Zürich-West
Standort	Zürich ZH, Schweiz
Nutzung	Leitungsstollen für Fernwärmeleitungen, Vor- und Rücklauf
Ausgeföhrt	2019/2020
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rückzug Vortriebsmaschine über mehr als 800 m ■ Aufföhren unterirdischer Kaverne Überdeckung > 80 m ■ Unterquerung Limmat ■ Einfahrt zweier TBM fast gleichzeitig in Zielschacht
Totallänge	863 + 666 + 840 = 2369 m
Innendurchmesser	1200/3000/3200 mm
Aussendurchmesser	1490/3600/3800 mm
Linienföhrtung	4 Haltungen gerade 1 Haltung Raumkurve
Min. Kurvenradius	R _{komb} = 570 m
Rohrmaterial	Stahlbeton
Rohrlänge	3,00/2,80/4,50 m
Max. Überdeckung	86 m
Geologie	Schotter, Moräne, Obere Süsswassermolasse
Hydraulische Fuge	Gerade Haltungen: JC132 mit 2 Umläufen (DN1200) und 3 Umläufen DN > 3000 mm Gekrümmte Haltung DN3200: JC250 mit 2 Umläufen
TBM	Herrenknecht AVN2500
Bauherr	Entsorgung und Recycling Zürich
Planer/Bauleitung	INGE Energie Bestehend aus Emch+Berger AG und Locher Ingenieure AG
Vortriebsfirmen	Implenia Schweiz AG, Zürich Sonntag Baugesellschaft, Dörth
Rohrhersteller	HABA Beton

5.5 INNERER FUGENVERSCHLUSS JCFlex

Beschreibung und Einsatzbereich

Da die Hydraulische Fuge nicht als geschlossener Ring ausgeführt werden kann, ergibt sich zwischen den beiden Enden der Hydraulischen Fuge (Armaturen) ein Unterbruch bzw. eine Öffnung. Bei Tunneln mit gefordertem Innerem Fugenverschluss kann die Hydraulische Fuge diese Funktion grundsätzlich wahrnehmen, ausser im Bereich der Aussparung, wo sich die Armaturen befinden. Zur Auffüllung dieser «Lücke» bietet Jackcontrol mit JCFlex einen Fugenverschluss an. JCFlex besteht im Wesentlichen aus einer dafür geeigneten Dichtmasse auf Basis silanmodifizierter Polymere. JCFlex kann bei innenliegenden Aussparungen eingebracht werden. Bei offenen (ausenliegenden) Aussparungen hingegen findet JCFlex keine Anwendung; in diesem Fall eignet sich die Zementleiminjektion JCGrout, siehe auch 5.4.

Voraussetzungen

Nach erfolgtem Vortrieb werden zunächst sämtliche Hydraulischen Fugen entleert. Dies geschieht, indem die Kugelhähne der Hydraulischen Fugen geöffnet und diese durch Nachdrücken des Rohrstrangs gestaucht werden und somit die Flüssigkeit entweicht. So ergeben sich minimale Spaltbreiten zwischen den Rohren und jedes Rohr erreicht damit seine Endlage. In einem weiteren Schritt müssen die Befüllleitungen der Hydraulischen Fugen entfernt (abgeschnitten) werden.



ANSICHT AUF MIT JCFlex BEARBEITETEN AUSSPARUNGSBEREICH FÜR HYDRAULISCHE FUGE



SCHEMA FUGENVERSCHLUSS JCFlex

Arbeitsschritte

Die Anwendung von JCFlex umfasst folgende zwei Arbeitsschritte:

1. Durch einen passenden Schaumstoffwürfel wird der Hohlraum in der Aussparung zwischen den Armaturen ausgefüllt. Dies verhindert das ungewollte Eindringen der Dichtmasse in den übrigen Aussparungsbereich und damit einen unnötig hohen Verbrauch an Dichtmasse.
2. Die Dichtmasse wird mit einer Kartuschenpresse gleichmässig und ohne Lufteinschlüsse in den Fugenspalt im Bereich der beiden Armaturen eingebracht. Mittels eines Spachtels wird die Dichtmasse glattgestrichen und beidseitig an die Hydraulische Fuge angeglichen.

Materialeigenschaften der Dichtmasse

- Einkomponentige, pastöse Kleb- und Dichtmasse auf Basis silanmodifizierter Polymere, welche u. a. für mechanisch und chemisch stark beanspruchte Fugen verwendet wird.
- Anwendbar auch auf feuchten Untergründen.
- Ausgezeichnete Hafteigenschaften auf Beton, Stahl und Aussenhaut der Hydraulischen Fuge.

Vorteile

- Günstigere Variante eines Fugenverschlusses gegenüber der Zementleiminjektion.
- Sehr geringe mechanische Belastung infolge Anwendung erst nach erfolgtem Vortrieb.
- Einsatz auch bei stark variierenden Fugenspaltbreiten (Kurvenvortrieb) problemlos möglich.
- Mit einfachem Gerät schnell und flexibel durchführbar.



6 **Qualitätssicherung** im Rohrvortrieb



6.1 FÜR JEDEN VORTRIEB DAS OPTIMALE MONITORINGSYSTEM

Angepasst an die Projektanforderungen und die verwendeten Rohrwerkstoffe bietet Jackcontrol mit MSS das optimale Monitoringsystem für jeden Rohrvortrieb. Dank modularem Aufbau ist für alle praxisüblichen Kombinationen Rohr-Druckübertragungsmittel (siehe Seiten 16/17) ein vollumfängliches Echtzeit-Monitoring der Rohrstruktur während des Vortriebs möglich, wobei innerhalb des gleichen

Vortriebs auch verschiedene Druckübertragungsmittel eingesetzt werden können (sog. Hybridbauweise). Für das Software-Setup können dabei alle im Rohrvortrieb gängigen Normen berücksichtigt werden, so z.B. DWA-A 125 und 161, EN 1916, SIA 195, CPAA, PJA usw.

Das Rohrdesign kann durch die Jackcontrol erfolgen, Rohrdesigns Dritter (Rohrhersteller, Projektverfasser usw.) können aber genauso integriert bzw. übernommen werden.

6.2 GRUNDLAGEN

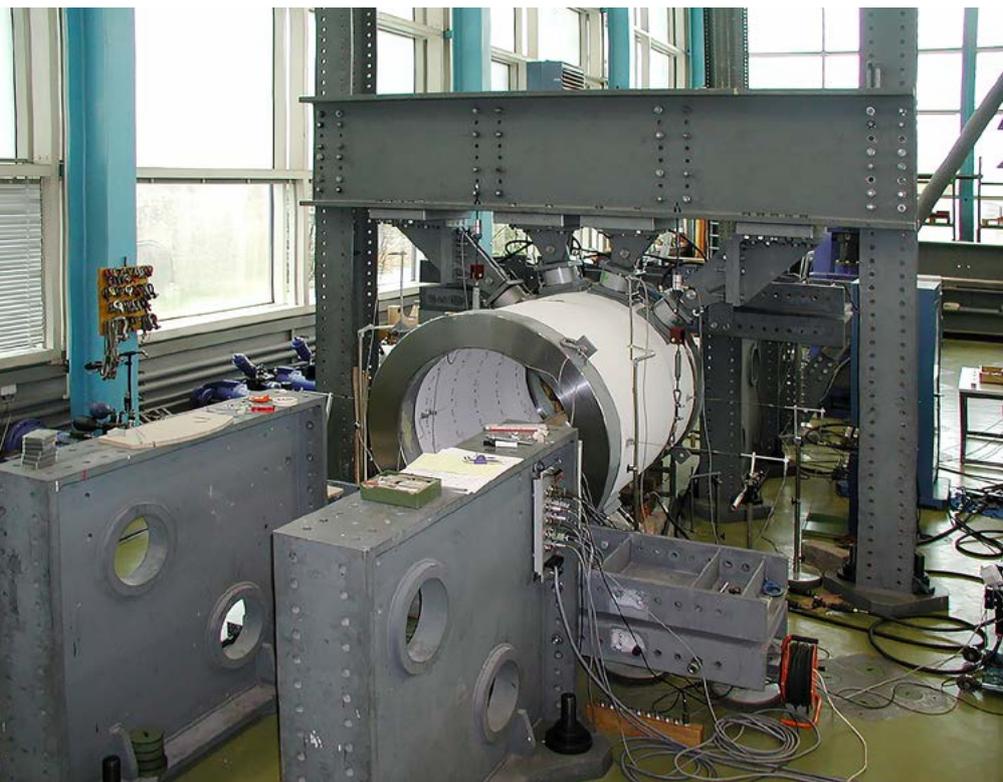
Bei einem Rohrvortrieb sind die Vortriebsrohre während der Bauphase zusätzlichen Belastungen ausgesetzt. Axial wirkende Vortriebskräfte schieben die Rohre hinter der Bohrmaschine durch den Boden. Diese Kräfte gilt es durch geeignete Druckübertragungsmittel sicher von Rohr zu Rohr zu übertragen. Das Jackcontrol-Monitoringsystem misst in Echtzeit die Vortriebskräfte sowie die Fugenwinkel und schützt die Rohre dank Sicherheitsreserven und rechtzeitiger Alarmierung vor Überbelastung und Beschädigung.

Das MSS basiert unter anderem auf Forschungsarbeiten, welche in der Schweiz an der ETH Zürich am Institut für Baustatik und Konstruktion unter der Leitung von Prof. Dr. P. Marti durchgeführt wurden. Anhand grossmassstäblicher Versuchsserien an Vortriebsrohren sowie theoretischer Überlegungen wurden das Trag- und Verformungsverhalten sowie die massgebenden Bruchmechanismen von exzentrisch gedrückten Stahlbetonrohren untersucht. Die Forschungsarbeiten zeigten, dass üblicherweise verwendete Druckübertragungsringe aus Holzwerkstoffen vor allem bei geplanten wie unvorhergesehenen Kurvenfahrten und Steuerbewegungen zu grossen Beanspruchungen in den Rohrwandungen führen und damit ein erhebliches Schadenpotenzial darstellen. Mit der Hydraulischen Fuge verringert sich bei nichtparallelen Rohrspiegeln, also insbesondere in Kurven, die Exzentrizität der Vortriebskraft bezüglich der Rohrachse, und dies reduziert somit die Be-

anspruchung der Rohre quer zu ihrer Achse wesentlich. Gleichzeitig wird die Ermittlung des Spannungszustands in den Fugen ermöglicht. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde das erste Jackcontrol-Echtzeit-Monitoringsystem entwickelt, in seiner Urform auf den Einsatz der Hydraulischen Fuge ausgelegt.

Bei sämtlichen im Rohrvortrieb verwendeten Druckübertragungsmitteln einschliesslich der Hydraulischen Fuge erfolgt die Übertragung der Vortriebskräfte zwischen den Vortriebsrohren im Fall von Abwinklungen der Rohr-Stirnflächen zueinander exzentrisch bezüglich der Rohrachse. Dabei bilden sich jedoch bei Verwendung der Hydraulischen Fuge viel kleinere Exzentrizitäten aus als bei der Verwendung von Druckübertragungsringen (DÜR) aus Holzwerkstoffen (siehe Grafiken Seite 46).

Aus Gleichgewichtsgründen folgen aus der exzentrischen Belastung der Rohre zusätzliche quer zur Rohrachse wirkende Kräfte, sogenannte seitliche Bettungskräfte (B). Diese wirken während des Vortriebs überlagert zu den ständigen Einwirkungen auf die Rohre (Erddruck, Wasserdruck, Verkehrslasten usw.). Je nach räumlicher Orientierung der Fugenverwindung können die seitlichen Bettungskräfte in allen radialen Richtungen auf die Vortriebsrohre einwirken, wie dies auf den beiden Grafiken auf Seite 46 dargestellt ist.



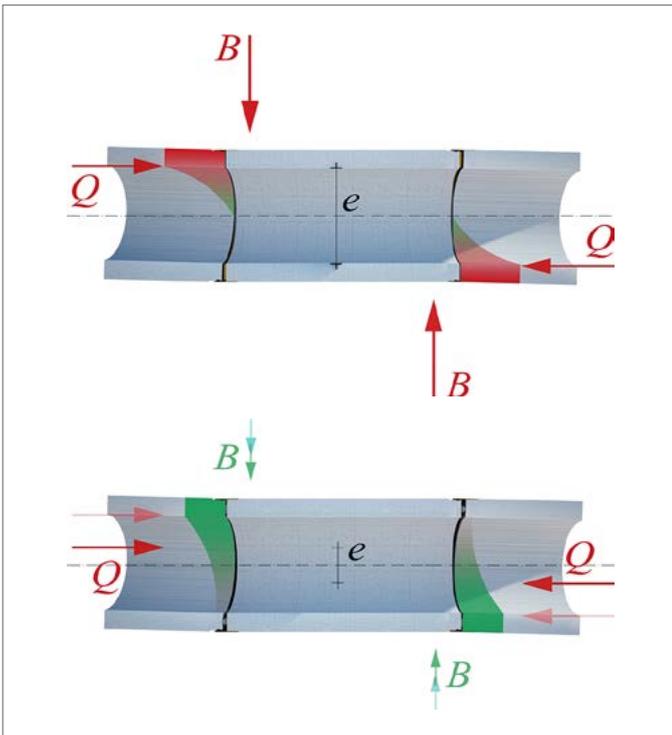
GROSSMASSSTÄBLICHE VERSUCHE AN STAHLBETON-VORTRIEBSROHREN AN DER ETH ZÜRICH (2003/04)



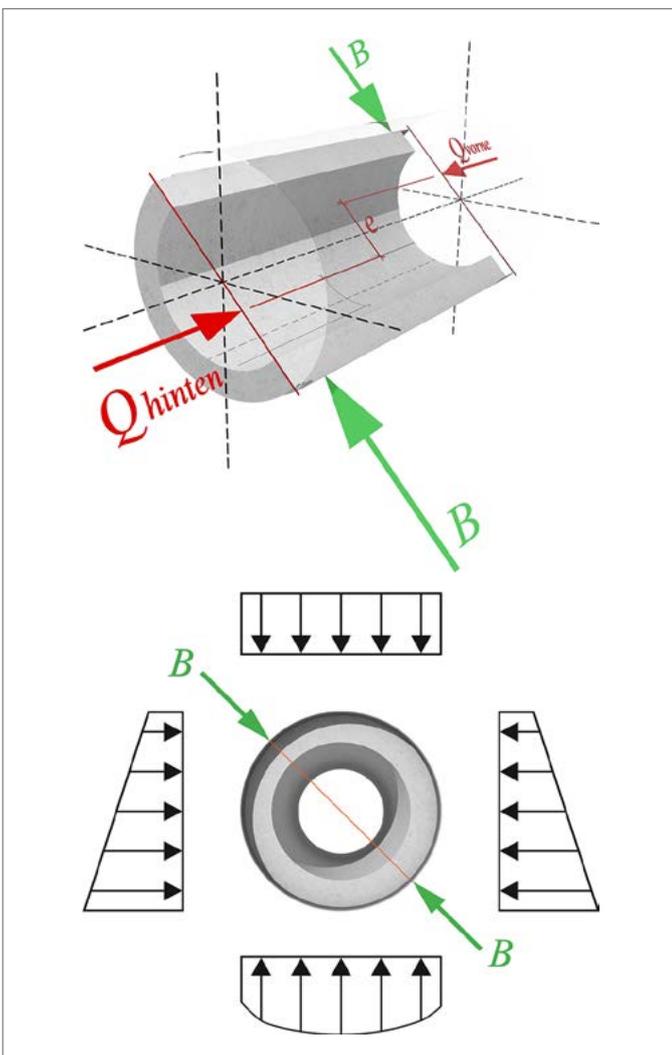
VERSAGENSMECHANISMEN AN VORTRIEBSROHREN



STARTSCHACHT



VERGLEICH ROHREXZENTRIZITÄT HOLZRING (OBEN)
UND HYDRAULISCHE FUGE (UNTEN)



KRÄFTE WÄHREND VORTRIEB

In Abhängigkeit der räumlichen Orientierung der seitlichen Bettungskräfte, der mechanischen Eigenschaften der Vortriebsrohre und der Beschaffenheit des Baugrundes erreichen die seitlichen Bettungskräfte eine maximal zulässige Grösse, bei welcher die Tragsicherheit der Vortriebsrohre noch gewährleistet ist. Daraus ergibt sich für jedes Projekt ein Bereich, in welchem die Vortriebskraft Q und deren Exzentrizität e liegen können, ohne dass das Vortriebsrohr eine Beschädigung erfährt, der grüne Bereich im Beispiel auf Seite 63 oben, einem sogenannten Grenzwert-Diagramm.

Aus dem Diagramm (Seite 62 oben) ist erkennbar, dass bei zunehmender Exzentrizität e die Vortriebskraft Q reduziert werden muss, um im zulässigen grünen Bereich zu bleiben. Die Gefahr, diesen zu verlassen, besteht bei abrupten Steuerbewegungen, engen Kurvenradien usw.

Die Funktionsweise des Jackcontrol-Algorithmus für die Hydraulische Fuge ist so, dass basierend auf den effektiv gemessenen Fugenspaltweiten und Drücken in der Hydraulischen Fuge für jedes Rohr alle 3 Sekunden automatisch das Wertepaar $[Q; e]$ bestimmt und in das der Lage und Belastungsrichtung entsprechende Grenzwertdiagramm eingetragen wird. Basierend auf dem e -Wert wird somit für jedes Rohr die maximal zulässige Vortriebskraft Q_{zul} bestimmt und mit der effektiv vorherrschenden Vortriebskraft Q_{eff} verglichen. Sobald Q_{eff} den wie beschrieben bestimmten zulässigen Wert Q_{zul} überschreitet, wird die Baustellenmannschaft durch MSS automatisch alarmiert und auf das Problem aufmerksam gemacht. Dank der Berücksichtigung von Sicherheitsmargen/-faktoren erfolgt diese Alarmierung vor dem tatsächlichen Eintreten einer Beschädigung der Rohre, was den entscheidenden Sicherheitsmechanismus des Monitoringsystems darstellt und die Einhaltung der im Projekt geforderten Qualitätskriterien sicherstellt.

Der Vergleich vorhandene Vortriebskraft zu zulässige Vortriebskraft wird dem Schildfahrer auf dem MSS-Chicago-Screen in Echtzeit dargestellt, sodass er jederzeit den Überblick über den Verlauf der Vortriebskräfte und die vorhandenen Reserven hat.

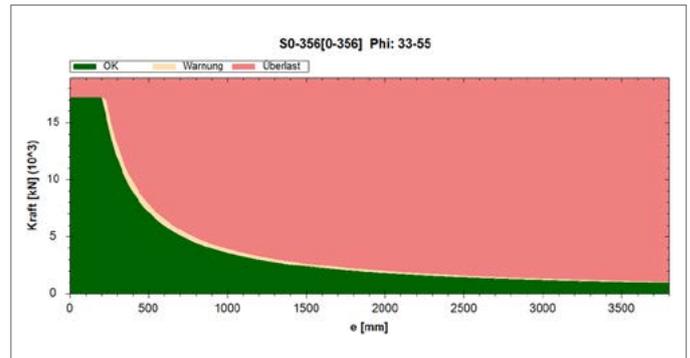
Ausgewählte Rohrfügungen im Rohrstrang werden durch das Monitoringsystem mit einer sogenannten Sensoreinheit permanent ausgemessen und die Messwerte der Stationierung zugeordnet. Damit wird für jedes Rohr ein (identischer) Fugenwinkelverlauf entlang der Stationierung bestimmt. Dieser Fugenwinkelverlauf wird bei jedem Durchgang einer neuen Sensoreinheit aktualisiert. Die Sensoreinheiten bestehen aus je drei Weggebern zur Messung der Fugenspaltweite und einem Druckgeber zur Bestimmung des Druckes in der Hydraulischen Fuge. Dies erlaubt

am Ort der Sensoreinheit nebst der Bestimmung der Fugenwinkel auch eine zuverlässige Bestimmung der Grösse der resultierenden Vortriebskraft und von deren Angriffspunkt im Rohrquerschnitt. Mit einer linearen Interpolation der Vortriebskräfte zwischen zwei Sensoreinheiten kann die Vortriebskraft in jeder Rohrfuge angegeben werden, ohne dass jede Fuge vermessen werden muss.

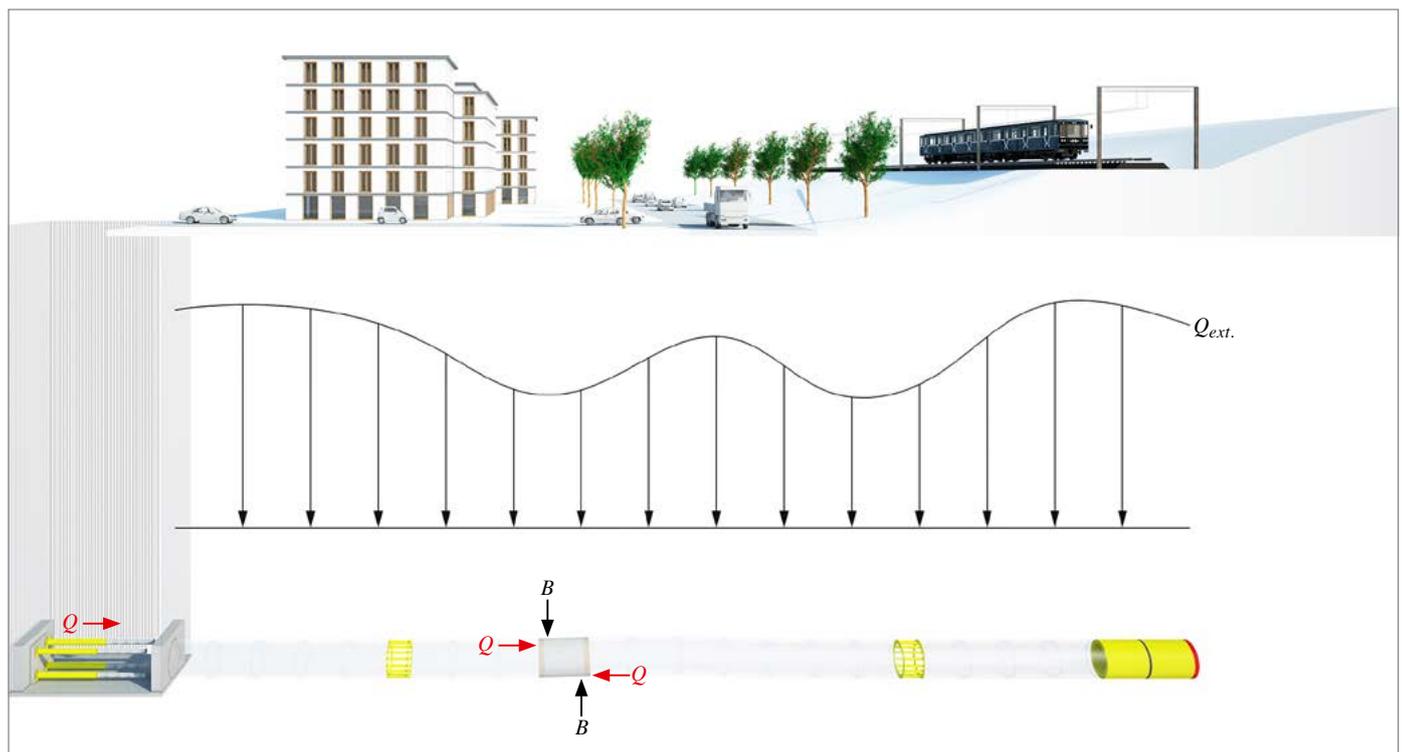
Für die Berechnung der Grenzwertdiagramme wird die Vortriebsstrecke projektspezifisch in sich unterscheidende geologische Sektoren aufgeteilt. Die Berechnung der Grenzwertdiagramme erfolgt unter Anwendung der normgemässen Verfahren und Nachweise aus der Konstruktionslehre zur Bestimmung der Belastungswiderstände der Rohre. Dabei können folgende Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitskriterien berücksichtigt werden:

- Rissbildung
- Betonabplatzungen
- Tragsicherheit Biegung
- transversales Abscheren
- Ermüdungsfestigkeit
- Betriebsdruck der Hydraulischen Fuge

Projektbezogen können auch weitere Kriterien berücksichtigt oder einzelne vernachlässigt werden (wie z. B. die Rissbildung bei einem Rohr mit einer kurzen Nutzungsdauer).



BEISPIEL GRENZWERTDIAGRAMM HYDRAULISCHE FUGE



ÜBERLAGERUNG DER BETTUNGSKRÄFTE AUS DEM VORTRIEB MIT DEN EINWIRKUNGEN AUS DEM BAUGRUND

6.3 SOFTWARE

Visualisierung der Vortriebsdaten/-analysen

Die Messwertanalyse erfolgt auf dem MSS-Baustellencomputer unabhängig vom Vorhandensein einer Internet-Verbindung und die Resultate werden auf dem Touchscreen in Echtzeit übersichtlich grafisch dargestellt. Auf dem Chicago-Screen sind die wichtigsten Vortriebsdaten zusammengestellt. Die wichtigste Grafik bildet dabei die Darstellung des aktuellen Vortriebskraftverlaufs, welche in der gleichen Grafik über die Länge des Rohrstrangs mit dem Verlauf der zulässigen Vortriebskräfte verglichen wird, siehe auch Bild unten. Darunter ist die Rohrfolge/-sequenz samt Rohrnummerierung dargestellt, zusammen mit der Länge des Rohrstranges im Boden bzw. Kilometrierung.

Ausserdem können auf dem Bildschirm zahlreiche weitere Grafiken mit Analysewerten aus dem Vortriebsprozess dargestellt werden, wie z. B. die Verläufe der maximal aufgetretenen Vortriebskräfte für jedes Rohr, der Rohrexzentrizität, der Fugenwinkel räumlich/absolut sowie aufgeteilt in vertikale und horizontale Komponenten die Wirkungsrichtung der seitlichen Bettungskräfte und weitere mehr.

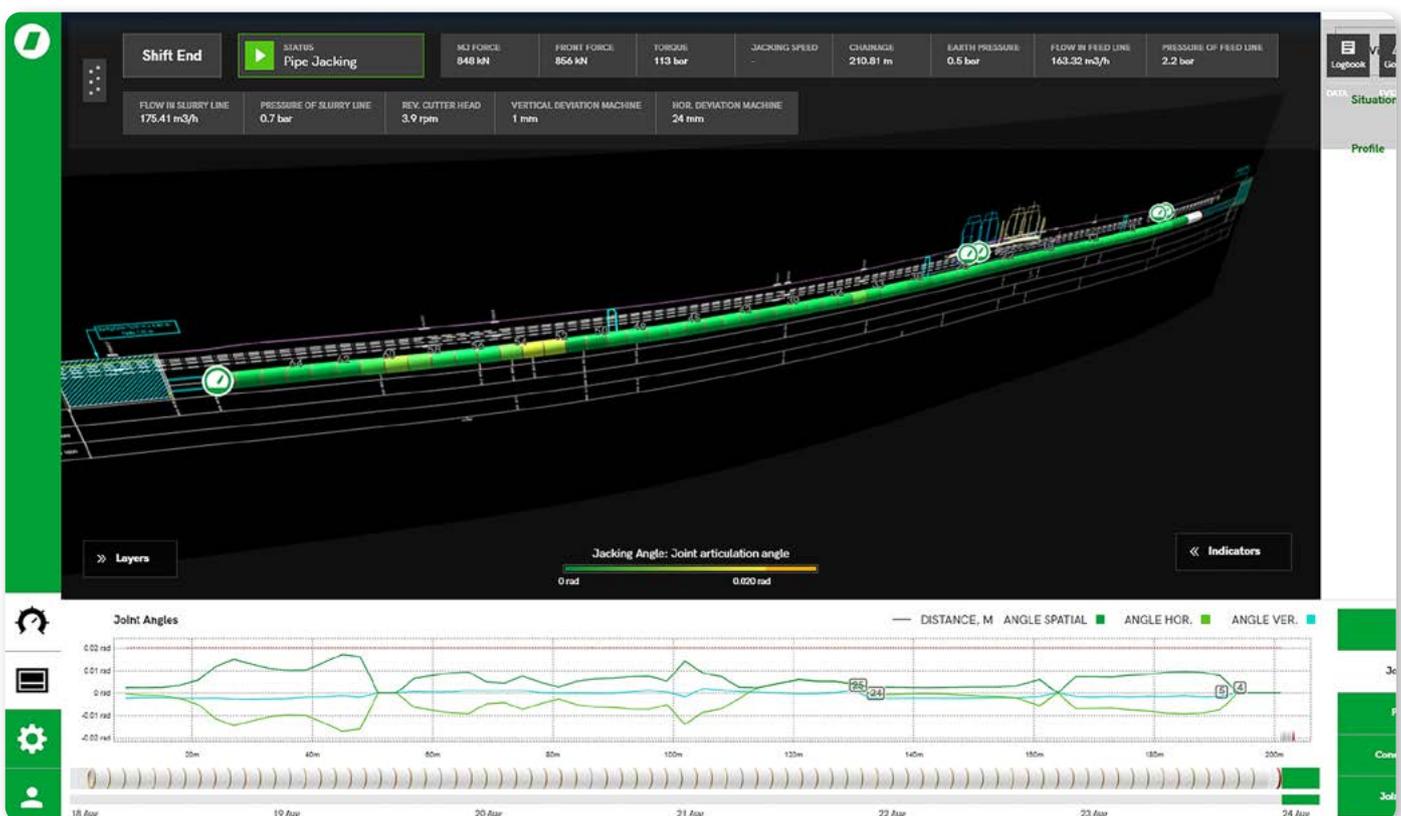
Dank verschiedener Zoom- und Darstellungsfunktionen und der Möglichkeit der kombinierten Darstellung von meh-

ren Grafiken kann der Systemanwender den seiner aktuellen Vortriebsituation ideal angepassten Informationsmix übersichtlich darstellen.

Zusätzlich können über Schaltflächen und Pop-up-Fenster viele wertvolle Informationen zum Vortrieb abgerufen werden, wie z. B. die Rohrdaten, Messwerte der einzelnen Sensoren, Funktionsstatus der einzelnen Hardware-Komponenten. Dank der Touchscreen-Funktionalität erfolgen die Bedienung des Systems sowie die (wenigen erforderlichen) Dateneingaben ohne Maus und Tastatur auf intuitive und baustellenkonforme Weise.

Visualisierung von Situation und Längenprofil

Zur schnellen Orientierung im Projekt bzw. Gelände dienen die in der Software implementierten Projektpläne, welche in der Regel den Situationsplan und das Längenprofil sowie eine 3D-Darstellung umfassen. In diese Projektpläne werden die aktuell aufgefahrene Rohre in Echtzeit hineinprojiziert. Damit ist jederzeit sichtbar, an welcher Vortriebsposition sich die Bohrmaschine, einzelne Dehner oder Rohre befinden. Auf dem Touchscreen kann mit wenigen Fingerstrichen jede Perspektive eingestellt werden. Bei einem einfachen Doppelklick auf ein Rohr öffnet sich ein Zusatzfenster, welches Parameter und Messwerte des Rohres und der zugehörigen Fuge anzeigt.

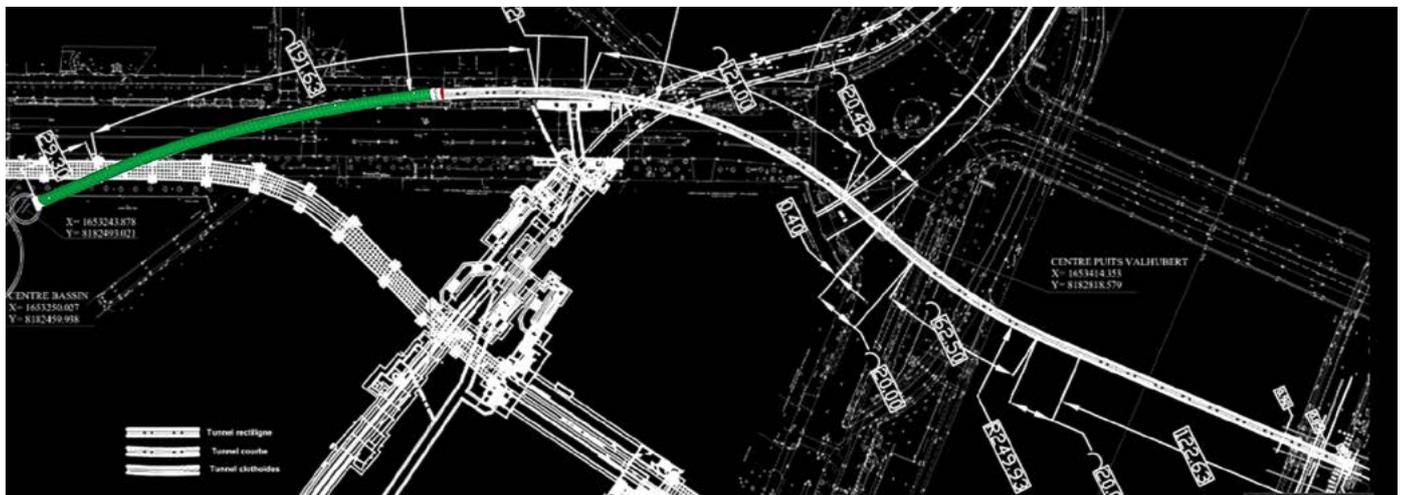


CHICAGO-SCREEN MIT VERLAUF VORHANDENE UND ZULÄSSIGE VORTRIEBSKRÄFTE

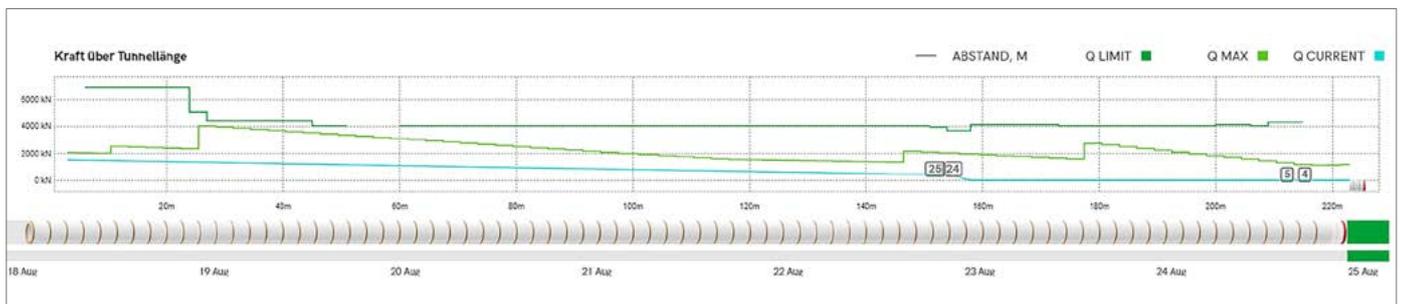


Durch die automatische Eintragung des Baufortschritts wird intuitiv sichtbar, wo sich die Bohrmaschine gerade befindet, was hinsichtlich vorhandener Infrastruktur im Boden (wie Werkleitungen, Fundamente usw.) sehr wertvolle Kenntnisse bzw. das rechtzeitige Wahrnehmen von Risiken mit sich bringt. Ebenso ersichtlich ist, in welchen Bodenschichten sich die Bohrausrüstung und die Rohre gerade befinden. Anhand eines Vergleiches zwischen abgetragenen Boden und Baugrundmodell kann Letzteres auf effiziente Art und Weise kalibriert und bei Bedarf angepasst werden.

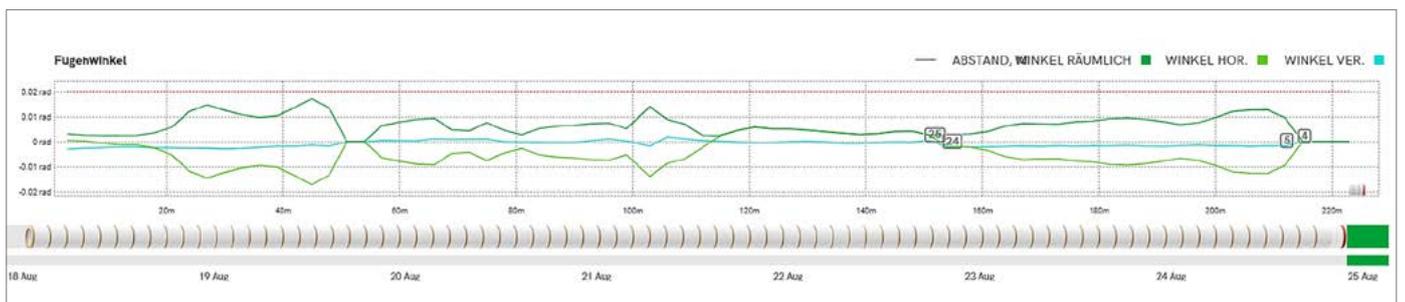
ROHR- UND FUGENINFORMATIONEN



VISUALISIERUNG SITUATION UND AUFGEFAHRENER ROHRSTRANG



VERLAUF DER VORHANDENEN, ZULÄSSIGEN UND MAXIMAL AUFGETRETENEN VORTRIEBSKRÄFTE



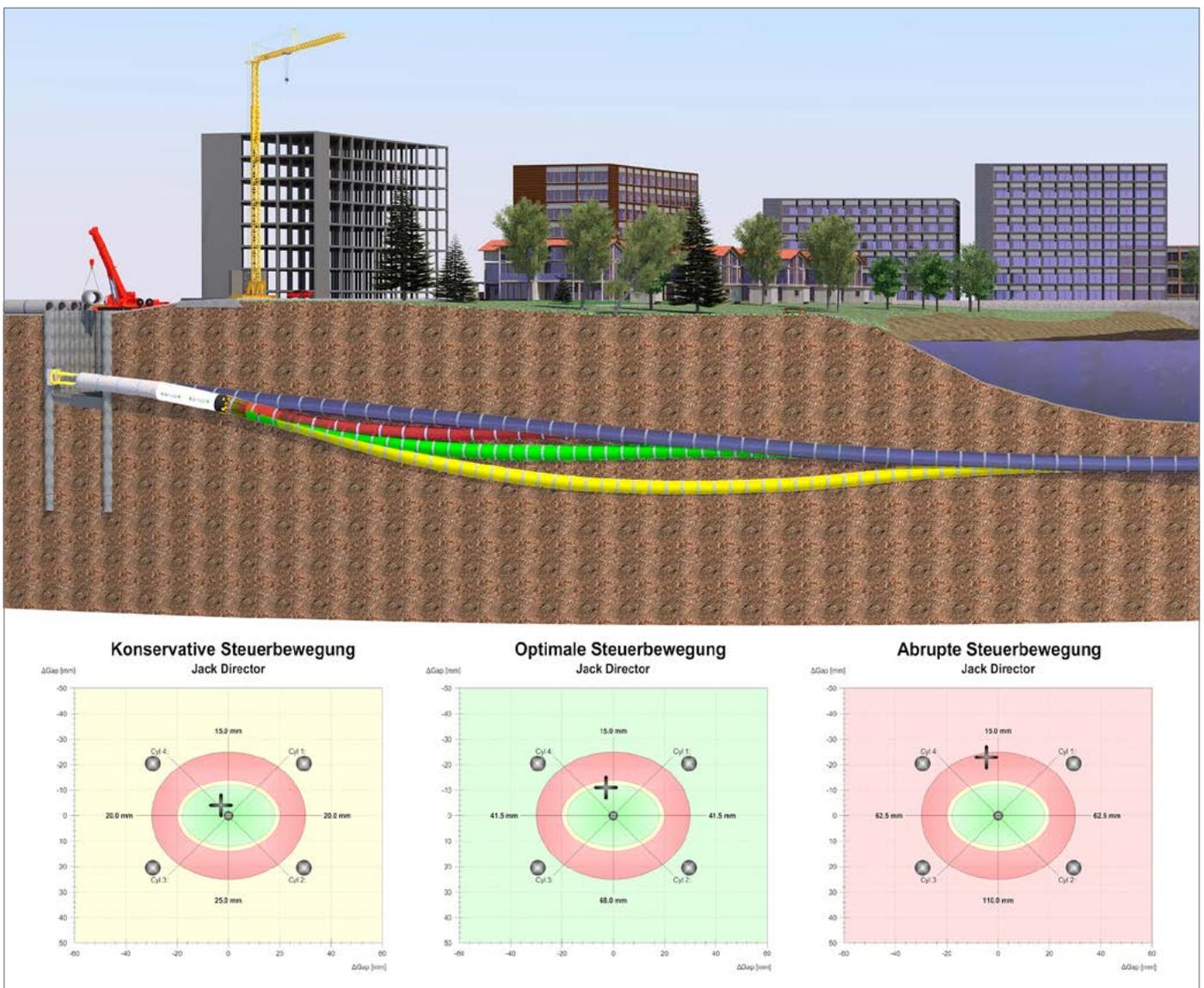
VERLAUF DER GEMESSENEN KLAFFUNGEN ZWISCHEN DEN ROHREN

6.4 JACK DIRECTOR®

Der Bohrmeister verfolgt in der Regel instinktiv das Ziel, dem geplanten Trasseeverlauf möglichst genau zu folgen. Daneben ist aber fast ebenso wichtig, dass über den gesamten Rohrstrang die vollen maximal zulässigen Vortriebskräfte auf die Rohre aufgebracht werden können. Grosse Winkeländerungen im Rohrstrang müssen dazu vermieden werden, denn sie führen zu Reduktionen der zulässigen Vortriebskräfte. Doch wie soll der Schildfahrer die Bohrausrüstung steuern, damit zu grosse Winkeländerungen und damit kleinere zulässige Vortriebskräfte vermieden werden können? Hier bietet das Software-Modul Jack Director® wertvolle Unterstützung: Unter Nutzung der gemessenen Bewegungen bzw. Stellungen der Steuerzylinder der Bohrausrüstung wertet der Jack Director® die Steuerbewegungen der Tunnelbohrmaschine aus und vergleicht sie mit den effektiv an den nachfolgenden Rohren gemessenen Fugenwinkeln und damit verbunden den zu-

lässigen Vortriebskräften. Aus dieser «Lernkurve» zieht der Jack Director® die Kenntnis, in welchem Bereich die Steuerbewegungen der Tunnelbohrmaschine liegen können, um keine Reduktionen der zulässigen Vortriebskräfte zu erhalten, siehe auch untenstehendes Bild.

Liegt der aktuelle Steuerwinkel der TBM bzw. das Fadenkreuz im grünen elliptischen Bereich der grafischen Darstellung, können die Vortriebsrohre ohne erforderliche Abminderungen der zulässigen Vortriebskräfte durchgepresst werden. Muss zur Einhaltung des Trasseeverlaufs eine Kurskorrektur vorgenommen werden, kann der Steuerwinkel bis zum Rand des grünen Bereichs verändert werden. Dort ist das Optimum einer Kurskorrektur unter Beibehaltung der maximal möglichen Vortriebskräfte erreicht. Gerät das Fadenkreuz ausserhalb des grünen Bereichs, ist mit einer Reduktion der zulässigen Vortriebskraft durch das Monitoringssystem zu rechnen bzw. mit Schäden an den Roh-



ren, wenn die Vortriebskraft nicht reduziert wird. Der Jack Director® unterstützt somit den Schildfahrer darin, die Vortriebssteuerung und die zulässigen Vortriebskräfte im optimalen Gleichgewicht zu halten.

6.5 SUPPORT (FERNBEDIENUNG, DATENANALYSEN, FEHLERBESEITIGUNG, BERATUNG)

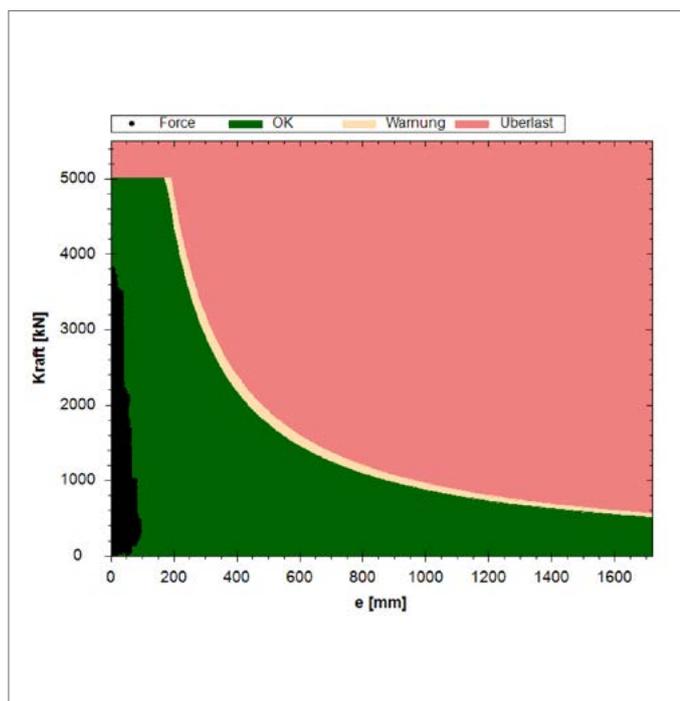
Die Messdaten und Auswertungen des Baustellencomputers werden auf der Jackcontrol-Webseite für am Projekt beteiligte Dritte bereitgestellt. Damit ist ein effizienter und vielseitiger Support möglich. Berechtigte Personen können über die Webseite www.jackcontrol.com und entsprechende Log-in-Daten die Prozesse auf der Baustelle mitverfolgen.

Von der Jackcontrol-Einsatzzentrale aus kann eine Fernbedienung zum Baustellencomputer aufgebaut und damit ein direkter, schneller und effizienter Support für die Baustelle angeboten werden. Jackcontrol erstellt während des Vortriebs täglich einen Statusreport des Baufortschritts und nimmt Kontakt mit der Baustelle auf, wenn aufgrund der durchgeführten Analysen sich ungünstige Entwicklungen abzeichnen und Massnahmen erforderlich sind. Fragen des Baustellenpersonals zu Messdaten und Grafiken werden damit von Jackcontrol-Mitarbeitern analysiert und beantwortet. Allfällige Störungen werden über diesen Kanal meist effizient und schnell behoben.

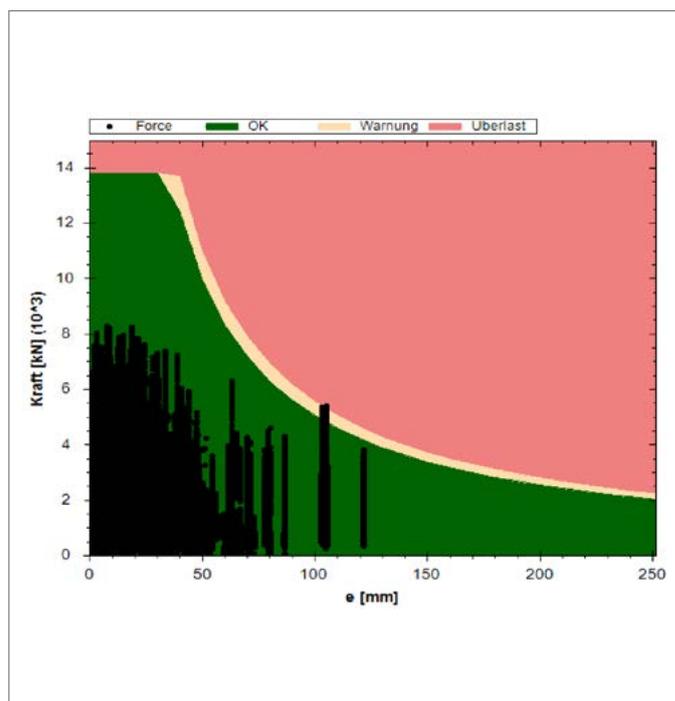
6.6 DOKUMENTATION DES VORTRIEBES

Nach Vortriebsende werden die Messwerte und ausgewerteten Daten des Vortriebs in einem Schlussbericht zusammengefasst. Darin werden alle wichtigen Punkte zum Vortrieb auch textlich festgehalten.

Der Schlussbericht zeigt namentlich die Belastungen der einzelnen Rohre durch die Vortriebskräfte auf und weist nach, ob die Vortriebskräfte während des gesamten Vortriebs im zulässigen Bereich der Grenzwertdiagramme blieben oder ob es Verletzungen gab. Für die Auswertung sämtlicher im Bauzustand aufgetretenen Vortriebskräfte werden der Maximalkraftverlauf der Rohre betrachtet und im Fall der Hydraulischen Fuge die Kräfte aller Rohre in die Grenzwertdiagramme eingetragen. Im Fall von Grenzwertverletzungen wird im Schlussbericht aufgezeigt, wann und bei welchen Rohren diese aufgetreten sind, welche Bemessungskriterien betroffen sind und welche Schäden an den Rohren potenziell erwartet werden müssen.



BEISPIEL AUSWERTUNG GRENZWERTDIAGRAMM



GRENZWERTDIAGRAMM MIT ÜBERSCHREITUNG DER ZULÄSSIGEN VORTRIEBSKRAFT

Eliminieren von Schächten und Optimierung des Bauablaufs in Washington DC



Bradshaw Construction Corp. hat die Arbeiten für das Kanalsanierungsprojekt in der Oregon Avenue NW von DC Water ausgeführt, das die Erstellung von zirka 1311 m PVC-Abwasserleitungen unter Verwendung von 823 m im Mikrotunnelbauverfahren hergestelltem Mantelrohr und 488 m in offener Bauweise umfasst. Der westliche Abschnitt entlang Bingham Drive NW bestand aus vier kurzen, geraden Mikrotunneln, die innerhalb des Strassenkorridors liegen mussten. Zwei der Schächte hätten in der Strassenmitte gebaut werden sollen und somit den Zugang zum östlichen, offen verlegten Abschnitt versperrt, was das gleichzeitige Arbeiten verunmöglicht hätte. Die Jackcontrol AG hat die Linienführung durch Implementierung einer S-Kurve und die Kombination von drei Tunneln zu einem einzigen neu konstruiert, um diese beiden Schächte zu eliminieren. Der Bauherr genehmigte Bradshaw diese Unternehmervariante einschliesslich der Änderung des Stahlmantelrohrs zu einem Stahlbetonmantelrohr, um die Kurve auffahren zu können. Die Mikrotunnelarbeiten starteten am 9. Januar und der Durchstich erfolgte am 5. Februar. Die durch das Echtzeit-Monitoringsystem von Jackcontrol gemessenen und kontrollierten Vortriebskräfte sowie die Kraftexzentrizitäten waren gering und die Gebrauchstauglichkeit sowie Tragsicherheit der Vortriebsrohre nie gefährdet. «Ich hatte wesentlich höhere Vortriebskräfte in der Kurve erwartet, aber die Hydraulische Fuge trug massgeblich dazu bei, die Vortriebskräfte tief zu halten», sagte AJ Haverly, Schildfahrer von Bradshaws Mikrotunnelbohrmaschine, der mit sorgfältiger Steuerung der Tunnelbohrmaschine einen entscheidenden Beitrag zum reibungslosen Vortrieb geleistet hat.

AUF EINEN BLICK

Projektname	Oregon Avenue, Kanalsanierung
Ort	Washington DC, USA
Zweck	Werkleitungsträger
Ausführung	2018
Spezielles	Unternehmer-Alternative, S-Kurve im Fels
Vortriebslänge	128 m
DN	1219 mm
DA	1524 mm
Linienführung	S-Kurve
Minimaler Kurvenradius	190 m
Rohrmaterial	Stahlbeton
Rohrlänge	3,05 m
Geologie und Grundwasser	geringe Durchlässigkeit, weicher Fels, wenig Grundwasser
Hydraulische Fuge	JC 250/ein Umlauf
Vermessungssystem	VMT SLS LT
TBM	Herrenknecht AVN1200
Bauherr	DC Water
Planer	JMT Johnson, Mirmiran & Thompson, USA
Vortriebsunternehmen	Bradshaw Construction Corp., USA



Jackcontrol AG

Buchholzstrasse 50 | 8750 Glarus | Schweiz

Telefon +41 (0)55 650 20 20

info@jackcontrol.com | www.jackcontrol.com