

## Datenmanagement und Risikoanalyse für Tunnelbauprojekte

Die Überwachung von Gebäudesetzungen bei Bodenveränderungen und der Einsatz eines geeigneten TBM-Leitsystems verringern Risiken und verbessern die Qualität. IRIS.tunnel ist eine hilfreiche Software für Überwachung und Datenmanagement, die Auftraggebern und Fachkräften beim unterirdischen Bauen nützlich ist, speziell im urbanen Umfeld. Die Echtzeit-Datenanalyse über die webgestützte IRIS-Plattform ermöglicht schnelle Entscheidungen, die Gefährdungen des Bauprojekts verhindern können.

## Data management and risk analysis for tunnelling projects

Control of settlements in buildings due to variations in ground conditions and the use of an appropriate TBM guidance system minimize risks and optimize construction quality. IRIS.tunnel is a helpful software for monitoring data management that offers an added value to the client and the jobsite in underground works, especially in urban areas. Real time data analysis through IRIS web-based platform enables short time decision-making to avoid any dangerous scenario during construction.

**Dr. Peter-Michael Mayer**, ITC Engineering GmbH & Co. KG, Stuttgart, Deutschland  
**MSc. Manfred Messing**, VMT GmbH, Bruchsal, Deutschland  
**MSc. Abraham S. Corriols**, ITC Engineering GmbH & Co. KG, Stuttgart, Deutschland  
**MSc. Nico Rosenbusch**, ITC Advanced Engineering Asia Pte. Ltd., Singapur

Bei unterirdischen Baumaßnahmen ist es dringend erforderlich, während der Planungsphase sämtliche Risiken zu ermitteln und deren Kontrolle während des Baus zu gewährleisten, um ein vertretbares Sicherheitsniveau zu erreichen. Dies geschieht durch ein Sensornetz, das neben den wichtigsten Parametern von TBM und anderen Baumaschinen auch geotechnische Messwerte erfasst und Gebäude, die von den Arbeiten beeinträchtigt werden könnten, überwacht.

Die gesammelten Daten müssen anschließend analysiert und interpretiert werden, um jederzeit das Risikoniveau beurteilen und die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Beide Arbeitsschritte sind wichtige Bestandteile des Monitorings, da die Erfassung großer Datenmengen nur dann sinnvoll ist, wenn diese auch weiterverarbeitet werden. Das integrierte Datenmanagement- und Überwachungssystem IRIS.tunnel vereint die Datenerfassung und -verarbeitung in einem Tool und optimiert die fundierte Entschei-

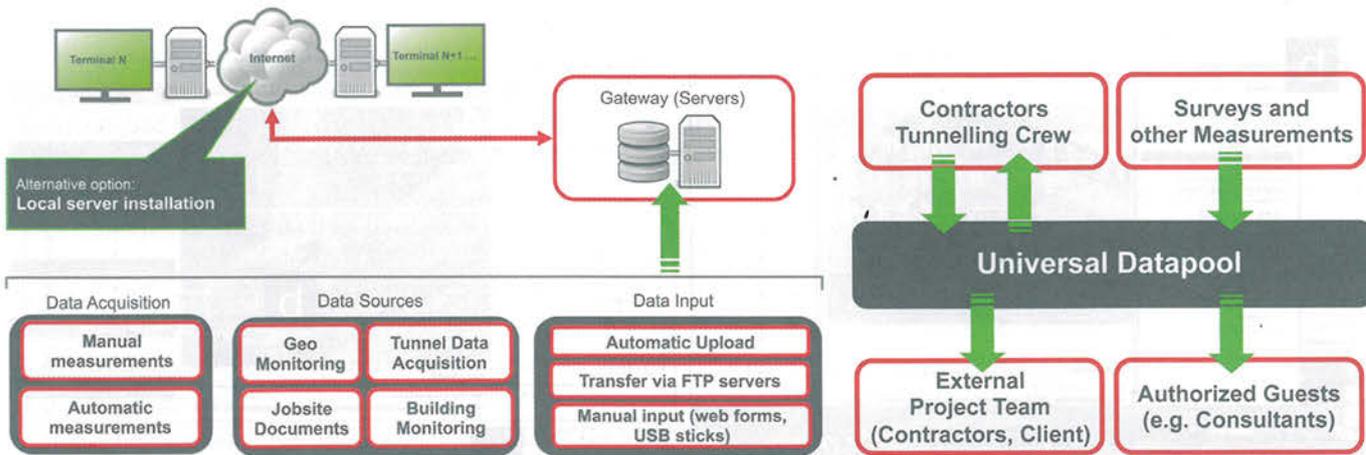
The execution of underground works requires an assessment of all risks during the planning phase and its comprehensive control during construction to establish acceptable levels of security. This is achieved by placing a sensor network to register a series of values of the most significant parameters of the machines – TBMs and auxiliary tools – geotechnical measurements and existing structures that may be affected during progression of works.

This data collection must be analysed and interpreted subsequently

to assess the level of risk at all times and to make the appropriate decisions. Both processes are essential parts of the monitoring, since the acquisition of a large volume of data makes no sense without further processing. The integrated data management monitoring system IRIS.tunnel combines data collection and processing to generally improve informed decision making during tunnelling works and to enable engineers to deal with suddenly arising problems without unnecessary delay. Among the main features of this monitoring system are:



1 Die Hauptmodule von IRIS.tunnel  
 The main modules of IRIS.tunnel



Quelle/source (3): TTC Engineering

2 Grundschemata für den Datenupload in das Monitoringsystem  
Basic scheme of the data upload into the monitoring system

dungsfindung während des Tunnelvortriebs. Zudem bietet es den Ingenieuren die Möglichkeit, auf plötzlich auftretende Probleme umgehend zu reagieren. Zu den wichtigsten Funktionen dieses Systems zählen:

- Vollständige Integration allgemeiner Projektinformationen, laufender Prozessdaten, Bauablaufpläne, geologischer Informationen und geotechnischer/umwelttechnischer Messwerte in eine einzige Datenbank
- Fortlaufende Datenauswertung während der Ausführung
- Transparenz durch die Darstellung komplexer Daten in standardisierten Berichten und Diagrammen
- Integrierte Alarmsysteme für alle Messwerte
- Weltweiter Zugriff auf die Daten laufender oder abgeschlossener Projekte, die in einem webbasierten Datenbanksystem gespeichert sind

Bild 1 zeigt die Hauptmodule der Software, während Bild 2 das Grundschemata für den Datenupload in das Überwachungssystem darstellt. Die Datenerfassung erfolgt entweder durch manuelle oder auch automatisierte Messungen von diversen Datenquellen auf der Tunnel-Baustelle. Die annähernde Echtzeitspeicherung in der Datenbank ermöglicht den Benutzern die permanente Analyse der Daten, erfordert aber auch eine ständige Kommunikation zwischen den Sensoren und der Datenbank über eine Netzwerkinfrastruktur mit Datenloggern, Servern, kabelgebundener oder kabelloser Übertragung, bei der die Daten auf sicherem Wege übermittelt werden. Bei den meisten Bauarbeiten, insbesondere in Stadtgebieten, ist der Anschluss an das Internet problemlos möglich. Doch in einigen Fällen kann es auch erforderlich sein, zusätzliche Kommunikationssysteme vorzuhalten, die den schnellen und ständigen Datenaustausch erleichtern (GPS und Funkfrequenz).

### Wer kann auf die Datenbank zugreifen?

In Bild 3 werden die Datenerfassung und der Datenabruf grafisch dargestellt. Die Daten werden von Vermessern und dem TBM-Team in einem gemeinsamen Datenpool gespeichert, der auch herangezogen werden kann, um die sichere Arbeitswei-

3 Datenerfassung und Datenabruf  
Data acquisition and data requirement

- Full integration of general project information, ongoing process data, construction schedule, geological information and geotechnical/environmental measurements into a single database system.
- Ongoing data evaluation during the construction.
- Transparency by presenting complex data in standardized reports and charts.
- Integrated alarm systems for all measurements.
- Worldwide access to data of ongoing or completed projects, stored on a web-based database system.

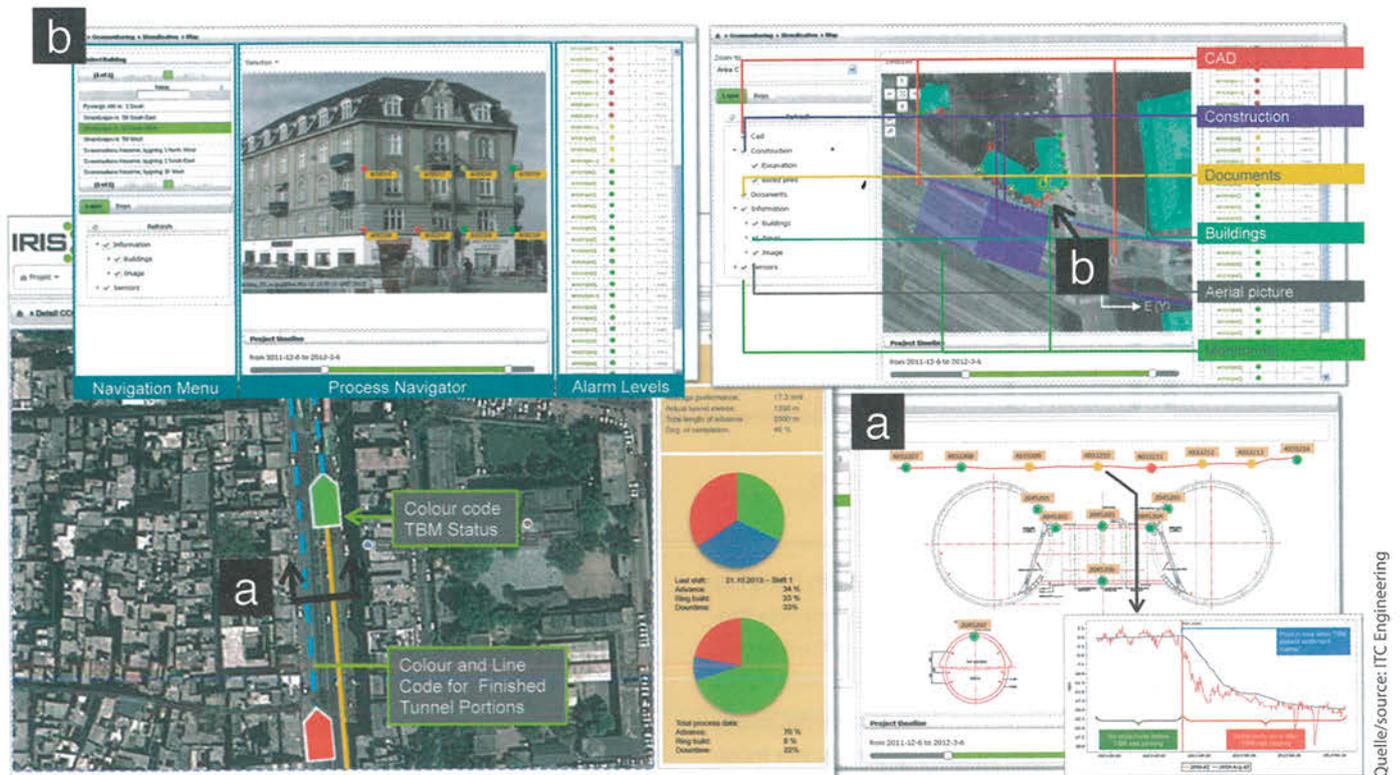
Figure 1 shows the main modules of the software, Figure 2 displays a basic scheme of the data upload into the monitoring system. Data acquisition is performed through manual or automatic measurement from various data sources in the jobsite. The near real-time storage in the database allows for constant analysis but requires constant communication between the sensors and the database through a network infrastructure with data loggers, servers and auxiliary cable or wireless transmission to send the information via secure connections. In most works, especially in urban areas, it is usually not a problem to access the Internet. However, in some cases it is necessary to have additional communication systems that allow for the transmission of data quickly and continuously (GPS and radio frequency).

### Who can access the database?

Figure 3 shows the relationship between parties for data acquisition and data requirement. The data are stored in a universal data pool by surveyors and the TBM team, who also have access. An external project engineering team of contractors and the client, as well as authorized guests (e.g. quality management team) analyse and interpret data from monitoring to ensure everything fits the project requirements.

### Monitoring-Tools

The software includes visualization tools for instant access to navigation, geotechnical and monitoring data. The map viewer presents the TBM position in plan-view with high accuracy provided by the



Quelle/source: ITC Engineering

4 Die Software enthält Visualisierungstools für den sofortigen Zugriff auf Navigations-, Geotechnik- und Monitoringdaten  
The software includes visualization tools for instant access to navigation, geotechnical and monitoring data

se der TBM zu überprüfen. Ein externes Projektteam, zu dem Auftragnehmer und Auftraggeber sowie autorisierte Gäste (z. B. Qualitätsmanagement) zählen, analysieren und interpretieren die Monitoringdaten und prüfen, dass alle Projektanforderungen erfüllt werden.

### Überwachungswerkzeuge

Die Software enthält Visualisierungstools für den sofortigen Zugriff auf Navigations-, Geotechnik- und Monitoringdaten. Der Map Viewer stellt dank des GPS-Tools die Position der TBM in der Draufsicht mit hoher Genauigkeit dar (Bild 4, unten links). Das Management und Monitoring mehrerer am selben Projekt beteiligter TBM erleichtert die Kontrolle des Gesamtprozesses. Die Messwerte der Sensoren, die im Tunnel platziert und auch an der Oberfläche verteilt sind, werden in der Datenbank (Bild 4, unten rechts) gespeichert. Außerdem kann auch der Einfluss der TBM auf die Oberflächensetzung analysiert werden. Das Visualisierungsmodul zeigt zum einen eine Draufsicht mit Sensorpositionen und Baufortschritt (Bild 4, oben rechts) und zum anderen eine Detailansicht des Gebäudemonitorings mit farbkodierten Alarmwerten (Bild 4, oben links) an.

Maschinendaten, wie Drehmoment des Schneidrads und Vortriebsgeschwindigkeit, werden angegeben. Umfangreiche Soll-Ist-Analysen gestatten es dem Nutzer, den TBM-Vortrieb an die geologischen Gegebenheiten anzupassen. Bearbeitung und Einbau der Tübbinge, Stillstandzeiten und andere Teilprozesse werden im Schichtbericht (Bild 5, oben) festgehalten. Durch die

GPS tool (Figure 4, bottom left). The management and monitoring of several TBMs on the same project facilitates the control of the overall process. Measurements of sensors located in the tunnel and also distributed on the surface are stored in the database (Figure 4, bottom right). Furthermore, the influence of the TBM on the surface settlements can be analysed. A zoomed view of the visualization module shows a plain view of the surface with the sensor location and evolution of works (Figure 4, top right), and detailed view of building monitoring with colour-coded alarm levels (Figure 4, top left). Machine data like cutting wheel torque and advance rate are plotted. Comprehensive target-performance analysis allows the user to update TBM advance predictions according to the geology ahead. Ring processing and installation, stand still phases and other sub-processes are registered on the Work Shift Report (Figure 5, top). Visualization of sensors placed on the cutting head allows control over the functioning of the excavation process and the detection of any problem during operation (Figure 5, bottom) such as pressures, torque, rotation speed, volume of air, volume of grouting and bentonite, transported excavation mass or conveyor belt speed.

The software automatically generates summaries and reports available for daily (Figure 6), weekly and monthly periods with a quick and detailed overview concerning advance rates, duration and causes of downtimes for instance. Alarms are activated to warn users if a sensor's measured value exceeds a predefined threshold. The software generates alarm notifications through two different channels: pop-ups (website) and e-mails.

Visualisierung der Sensoren am Schneidkopf ist es möglich, den Vortriebsprozess zu kontrollieren und mögliche Probleme zu erkennen (Bild 5, unten), die sich durch die Veränderung von Druck, Drehmoment, Drehzahl, Luftvolumen, Volumen der Verpressmenge oder des Bentonits, transportierte Aushubmasse, Förderbandgeschwindigkeit usw. abzeichnen.

Die Software erzeugt automatisch Zusammenfassungen und Berichte über Tages- (Bild 6), Wochen- oder Monatszeiträume, die einen schnellen und detaillierten Überblick über den Vortrieb, die Dauer und Ursachen von Ausfällen u. Ä. bieten. Alarmer sind aktiviert, die den Nutzer warnen, wenn der Messwert eines Sensors einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet. Die Software übermittelt solche Alarmmeldungen über Pop-up-Fenster (Webseite) und E-Mails.

### Umfassende Kontrolle

Das Monitoring- und Analysesystem bietet die vollständige Kontrolle über alle Tunnelbauarbeiten und deren Einflussbereiche. Dadurch kann ein hohes Maß an Sicherheit während des gesamten Bauprozesses sowohl beim Schildvortrieb wie auch bei herkömmlichen Tunnelbaumethoden und den erforderlichen sekundären Verfahren (Kompensationsinjektionen zur Gebäudesicherung,

### Extensive Control

The monitoring and analysis system offer complete control of all tunnelling works as well as their area of influence. A high level of safety can be achieved throughout the construction process both in TBM driving or traditional tunnelling methods and secondary processes required (compensation grouting stabilization, earth stabilization, shaft drilling). Controlling must be supported by the data analysis of measurements taken by the extensive network of sensors available. If any sensor measurement overpasses the alarm levels, a planned action protocol immediately follows to prevent any incident or inconvenience during construction works.

### Geomonitoring

Based on project-specific configuration, relations between sensors and construction elements can be created, to monitor not only the measured values but also the influencing factors. This cross-linking of elements from underground works and surface influence makes a progress-related interpretation of the monitoring data possible (Figure 4a). For example, deformation of retaining walls that is measured with inclinometers can be visualized together with the TBM driving at the location, and water levels can be shown as contour plots integrated in a representation of the current construction progress.

- Locomotives, Unloaders for Gallery, Personnel Carrier, Remixer
- Gallery Railway Equipment and Accessories
- High performance Dumpers
- Underground Ventilation, spiral and flexible Ventilation Ducts
- Mortar Injection Pumps
- Rock-Bolts, Friction Anchors, Self-drilling Injection Anchors
- Pipe Roof Systems
- Fitting Arches, TH-Profiles, Lattice Girders, Liner Plates
- Pipeline Tubes for Water and compressed Air
- Polyurethane resins and Injection Pumps

# belloli

## TUNNELLING IS OUR BUSINESS

### Belloli SA

CH-6537 Grono  
(Switzerland)  
Tel. +41 91 820 38 88  
Fax +41 91 820 38 80  
info@belloli.ch  
www.belloli.ch

### Belloli Italia S.r.l.

Via XXV Aprile 59  
IT-22070 Guanzate  
(Italy)  
Tel. +39 031 9780000  
Fax +39 031 3529089  
info@belloli-italia.it  
www.belloli-italia.it



Bodenstabilisierung, Schachtbohrungen) erreicht werden. Diese Überwachung wird durch die Analyse der Messdaten, die von den umfangreichen Sensoren-Netzwerk aufgenommen wurden, unterstützt. Falls ein Sensormesswert einen Grenzwert überschreitet, wird sofort ein Maßnahmenprotokoll angestoßen, um Zwischenfälle oder Störungen während der Bauarbeiten zu verhindern.

## Geomonitoring

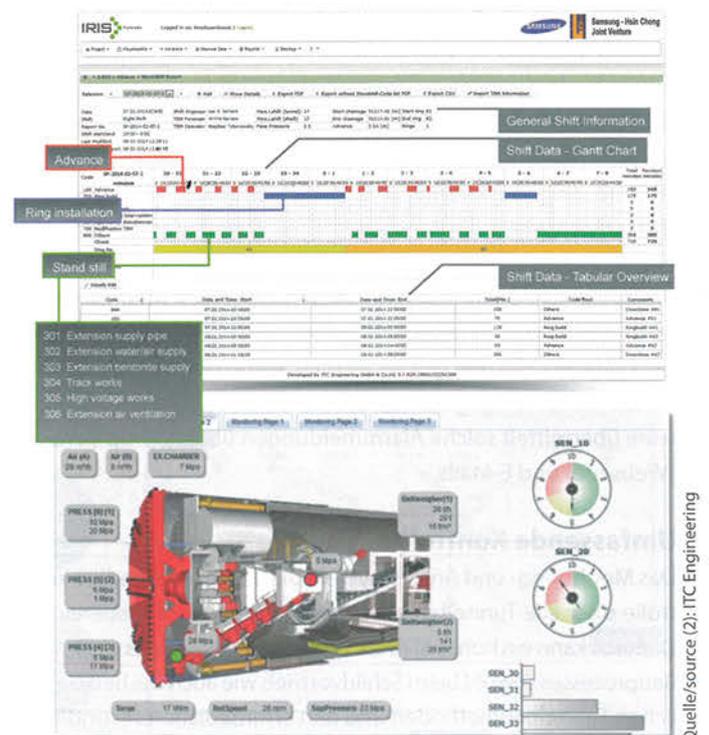
Auf Basis projektspezifischer Daten können Beziehungen zwischen Sensoren und Bauwerksteilen hergestellt werden. So kann man nicht nur die Messwerte, sondern auch die Einflussfaktoren überwachen. Diese Verknüpfung der Untertagearbeiten mit den Geschehnissen an der Oberfläche ermöglicht eine auf den Arbeitsfortschritt bezogene Interpretation der Monitoringdaten, wie in Bild 4a dargestellt. Beispielsweise wird die Verschiebung von Stützwänden, die über Inklinometer erfasst werden, bezogen auf den TBM-Vortrieb sichtbar gemacht, und auch Wasserstände können in die grafische Darstellung des Baufortschritts integriert werden.

## Kombination von IRIS.tunnel und IRIS.geomonitoring

Neben IRIS.tunnel, das eine Plattform für das Datenmanagement bei Tunnelbauarbeiten bietet, lassen sich mit IRIS.geomonitoring die Einflüsse von Tunnelbauten auf die Geländeoberfläche, die vorhandenen Gebäude und Infrastrukturbauwerke (Brücken, Wasser- und Abwassersysteme) überwachen, sodaß beim Eintritt möglicher Risiken sofort Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können.

Die zeitnahe Verfügbarkeit aktueller Prozessdaten, die an der TBM, im Tunnel, an der Oberfläche oder in benachbarten Gebäuden erfasst werden, ist eine wesentliche Voraussetzung, um den gesamten Bauablauf steuern und optimieren zu können. Beide Software-Produkte zusammen ergeben ein umfassendes Datenmanagement- und -analysetool. Damit können die Tunnelbohrarbeiten fortlaufend an die vorherrschenden geologischen Bedingungen angepasst und gleichzeitig auch die Boden- und Gebäudebewegungen an der Oberfläche überwacht werden. Durch die Kombination beider Programme werden Setzungsmessungen und TBM-Daten in einer einzigen Datenbank zusammengefasst.

Dies ermöglicht eine ständige Querauswertung der Oberflächen- und Gebäudesetzungen mit Fokus auf die Korrelation zwischen TBM-Prozessdaten und Setzung sowie auf die Visualisierung in Form von Diagrammen, Kartenansichten und Längsschnitten. Die Daten können auch mit CAD-Zeichnungen überlagert werden. Die IRIS-Software wird aktuell bei Tunnelbauprojekten in vielen Städten, wie London, Kopenhagen, San Francisco, Auckland, Sydney, Istanbul, Neu-Delhi, Hongkong und Singapur eingesetzt. Zwei dieser Projekte werden hier beispielhaft vorgestellt:



5 Schichtbericht (oben) und Visualisierung der Sensoren am Schneidkopf (unten)

Work shift report (top) and visualization of sensors placed on the cutting head (bottom)

## Combination of IRIS.tunnel and IRIS.geomonitoring

Besides IRIS.tunnel, that offers a platform for managing data from the excavation works, the main function of IRIS.geomonitoring is to control the influence of the tunnel works on the surface, existing buildings and infrastructure (e.g. bridges, utilities) to enable rapid action in case of any risk scenario.

The timely availability of current process data monitored on the TBM and on the surface is the crucial prerequisite to control and optimize the complete operating processes. The combination of both products offers a comprehensive data management and analysis tool. This allows TBM tunnelling to be continuously adjusted to the prevailing geotechnical conditions along with simultaneous ground and building monitoring at the surface. The combination of the programs integrates settlement measurements and TBM data into a single data platform.

This allows instant cross-evaluation of the surface and building settlement with particular focus on correlation between TBM process data and settlement, as well as visualization in forms of diagrams, map views and cross sections. The data can also be overlaid with CAD-images.

The IRIS software is being used in some cities with underground projects currently running, such as London, Copenhagen, San Francisco, Auckland, Sydney, Istanbul, New Delhi, Hong-Kong and Singapore. Two projects are presented here as examples: