

Bauüberwachung und Qualitätssicherung eines Projektes mit mehreren TBM-Vortrieben

F. Stahl, L. Babendererde

Die Bedeutung von intelligenter Bauüberwachung und Qualitätssicherung ist allen am Bau Beteiligten klar. Im folgenden Beitrag wird die erfolgreiche Umsetzung am Beispiel des Brightwater-Treatment-Systems in Seattle/USA dargestellt.

Das Brightwater-Projekt in Seattle, King County, gehört zu den größten Baumaßnahmen der USA, die Teil eines nationalen Programms zur umfassenden Erneuerung und Erweiterung der öffentlichen Abwasseraufbereitung sind.

Mit diesem Projekt erhöht der Bauherr die derzeitige Aufbereitungskapazität in den nördlichen Randgebieten der Stadt Seattle. Insgesamt umfasst das Brightwater-Treatment-System im Osten den Bau einer neuen Kläranlage nahe der Stadt Bothell und neue Transportleitungen. Im Westen endet das Projekt mit einem Unterwasserdifusor im Puget Sound, einem Meeresarm des Pazifiks. Der Investitionswert

des Gesamtprojekts beträgt rd. 1,8 Mrd. USD (Bild 1).

Die Transportleitungen werden in einem Tunnel untergebracht, dessen Gesamtlänge ca. 21 km beträgt. Der Tunnelaußendurchmesser beträgt je nach Projektabschnitt zwischen 4 und 5 m. Später werden die Transportleitungen eingezogen und die Zwischenräume verfüllt.

Die Projektgeologie besteht hauptsächlich aus unterschiedlichem, eiszeitlich beeinflusstem Geschiebemergel mit teilweise sehr hoher Abrasivität und durch die hohe Überdeckung bedingten Wasserdrücken bis zu 7,5 bar (Bild 2).

Aufgrund der Länge der Baumaßnahme wurde der Tunnel in 4 Vortriebe aufgeteilt und in 3 Vertragslosen beauftragt. Alle Vortriebe zeichnen sich durch Längen zwischen 3,5 und 6,4 km ohne Zwischenschächte aus. Für den West- und den East-Contract haben die jeweiligen Baufirmen EPB-TBM gewählt. Für

Dipl.-Ing. Frank Stahl,
Babendererde Engineers GmbH,
Deutschland
Dipl.-Ing. Lars Babendererde,
Babendererde Engineers GmbH,
Deutschland

Site Supervision and Quality Assurance of a Project with several TBM Drives

F. Stahl, L. Babendererde

All those involved in building are aware of the significance of intelligent site supervision and quality assurance. The following report presents its successful transposition taking the example of the Brightwater Treatment System in Seattle/USA.

The Brightwater Project in Seattle, King County, is numbered among the largest building projects in the USA, which are part of a national project for the comprehensive renovation and expansion of the public wastewater treatment system.

Through this project the client is increasing the current treatment capacity in the northern suburbs of the City of Seattle. All in all the Brightwater Treatment System foresees the building of a new clarification plant near the town of Bothell in the east and new transport pipelines. In the west the project ends with an underwater diffuser in the Puget Sound, an arm of the Pacific Ocean. The investment value of the total project is worth some 1.8 billion US\$ (Fig. 1).

The transport lines are to be housed in a tunnel with an overall length of roughly 21 km. Depending on the project section the tunnel's external diameter amounts to between 4 and 5 m. Subsequently the trans-

port lines will be installed and the intermediate areas back-filled.

The project geology mainly consists of different boulder marls with in some cases extremely high abrasiveness influenced by the ice age – with water pressures of up to 7.5 bar as a result of the high overburden (Fig. 2).

Owing to the length of the construction scheme the tunnel was split up into 4 drives and 3 contract sections were commissioned. All drives are between 3.5 and 6.4 km in length without intermediate shafts. The contractors responsible for the West and East Contracts have chosen EPB-TBMs. Two slurry shields were requested by the client for the Central

Dipl.-Ing. Frank Stahl,
Babendererde Engineers GmbH,
Germany
Dipl.-Ing. Lars Babendererde,
Babendererde Engineers GmbH,
Germany

den Central-Contract wurden wegen der hohen Wasserdrücke seitens des Bauherrn 2 Slurry-TBM vorgeschrieben (Bild 3).

Die Vortriebsarbeiten des East-Contracts konnten Ende 2008 erfolgreich beendet werden, während die anderen 3 TBM jeweils noch mehr als die Hälfte ihrer Vortriebsstrecken vor sich haben.

Die vom Bauherrn beauftragte Bauüberwachung, Jacobs Engineering Inc., hat für die Verfolgung der Vortriebsarbeiten und für die Qualitätssicherung des Tunnelbauwerks ein Hilfsmittel gesucht, mit dem folgende Anforderungen erfüllt werden sollten:

- Lückenlose Datensicherung der Vortriebs- und Maschinenparameter in Echtzeit auf einem eigenen Daten-Server
- Flexible Datenvisualisierung der gesammelten Daten in frei wählbaren Formaten
- Ein System für alle Vortriebe, unabhängig vom TBM-Hersteller
- Zugriff und Arbeiten mit dem Programm auch von externen Büros über Internet
- Datensicherheit und -bereitschaft auch nach Beendigung der Vortriebe
- Hilfsmittel zur Auswertung der Daten und zur Verfolgung des Qualitätsmanagements über Zusatzfunktionen

Bauherr und Bauüberwachung haben sich gemeinsam für die von Babendererde Engineers entwickelte Software



1 Tunneltrasse

1 Tunnel route

TPC (Tunnelling Process Control), entschieden.

Datenerfassung und Datenbankverwaltung der TBM

Aufgrund der hohen Anforderungen durch 4 gleichzeitig zu überwachende Vortriebe mit unterschiedlichen Vortriebssystemen und der großen örtlichen Abstände zwischen den Startschächten und dem Hauptbüro wurde gemeinsam eine Infrastruktur zur Datenerfassung entwickelt.

Die Zielsetzung war, ein getrenntes, sicheres und höchstmöglich ausfallsicheres Netzwerk zu errichten, das alle

Contract on account of the high water pressures (Fig. 3).

Driving operations for the East Contract were successfully concluded at the end of 2008, whereas the other 3 TBMs all still have to tackle more than the half of their driving sections.

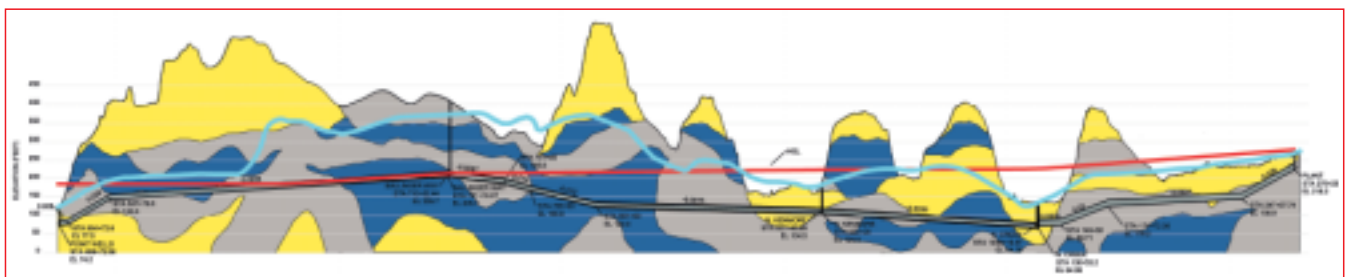
Jacobs Engineering Inc. commissioned by the client to undertake the supervision of construction, sought a device for scanning the driving operations and for controlling the quality of the tunnel, which had to fulfil the following requirements:

- complete data storage of the driving and machine parameters in real time on a data server
- flexible data visualisation of

the collected data in freely selectable formats

- one system for all drives, regardless of the TBM manufacturer
- access and working with the programme from external offices via the Internet as well
- data storage and readiness also after completion of the drives
- aids for evaluating the data and to trace the quality management via additional functions

The client and the construction supervision jointly decided in favour of the software TPC (Tunnelling Process Control) devised by Babendererde Engineers.



2 Geologie

2 Geology

Vortriebsdaten an einem zentralen Punkt zusammenfasst und dem Benutzer eine einheitliche Datenstruktur zur weiteren Auswertung aller Vortriebe zur Verfügung stellt. Bild 4 zeigt die entwickelte Hardware-Infrastruktur mit deren Hauptkomponenten.

Die Hardware-Infrastruktur besteht aus 1 Hauptserver im Hauptbüro und 2 Nebenservern auf der Baustelle East- und West-Contract, deren Kommunikation über eine verschlüsselte VPN-Verbindung (Virtuell-Privat-Netzwerk) erfolgt. Der Hauptserver stellt gleichzeitig den Einwahlpunkt für eine offene Zahl externer Benutzer dar. Der Zugriff auf die Software erfolgt über einen handelsüblichen PC mit einem verschlüsselten Internetzugang.

Die beiden Nebenserver sind mit dem Tunnel über eine Glasfaserleitung verbunden. Neben der unmittelbaren Übertragung der Daten zum Hauptserver dienen die Nebenserver auch zur redundanten Speicherung und zur Replizierung der eigenen Vortriebsdaten. Für die beiden Slurry-TBM des Central-

Contracts werden die Vortriebsdaten vom Bauunternehmen erfasst und in regelmäßigen Abständen (jede Stunde) an eine FTP-Seite versendet. Der Hauptserver lädt die neu verfügbaren Daten von der FTP-Seite und verarbeitet sie weiter.

Software

Die Software TPC wurde so implementiert, dass sie TBM-typen- und herstellerübergreifend arbeitet. Bei einer durchschnittlichen Anzahl von 130 Sensoren je Vortrieb und einem Aufzeichnungsintervall von 10 Sekunden ergibt sich eine jährliche Datenmenge von 1 639 872 000 Einträgen. Diese große Menge an Vortriebsdaten, die multidimensional in einer SQL-Datenbank gespeichert werden, können mit konstant bleibenden Anfragezeiten jederzeit visualisiert werden. Zusätzlich ist die Datenbank so konzipiert, dass Datenmanipulationen ausgeschlossen werden können.

Die regelmäßigen Abfrage- und Berichtskomponenten wurden zu Projektbeginn auf die Bedürfnisse maßgeschneidert,



3 Tunnel-Central-Contract

3 Tunnel Central Contract

Data Processing and Data Bank Administration for the TBMs

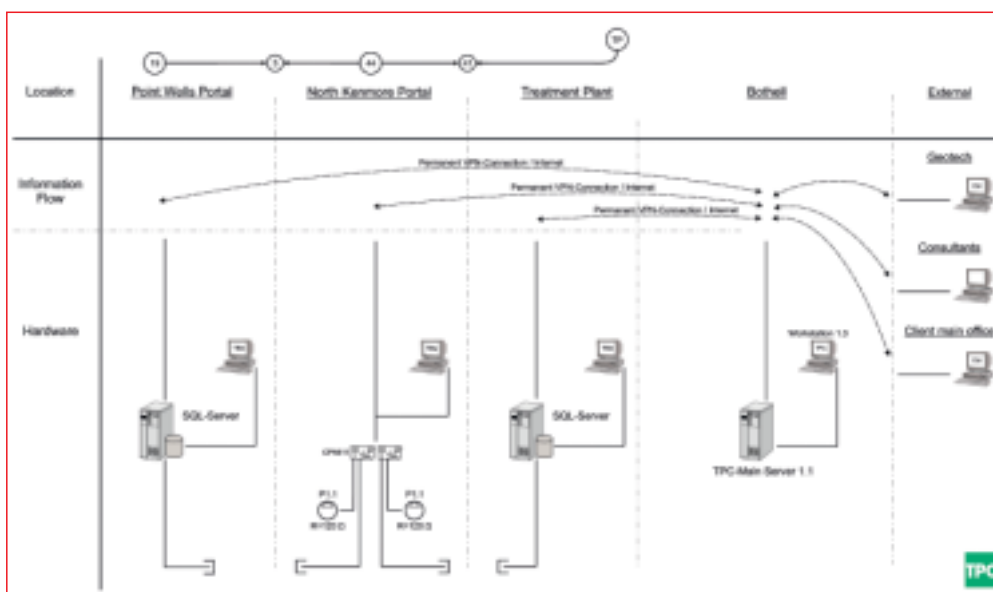
As a result of the high demands placed by the 4 drives that have to be monitored at the same time with different tunnelling systems and the major distances between the starting shafts and the main office at local level, an infrastructure for

data collection was evolved jointly.

The aim was to set up a separate, safe and as far as possible secure network, which collates all driving data at a central point and makes a standard data structure available to the user for the further evaluation of all the drives. Fig. 4 displays the developed hardware structure with its main components.

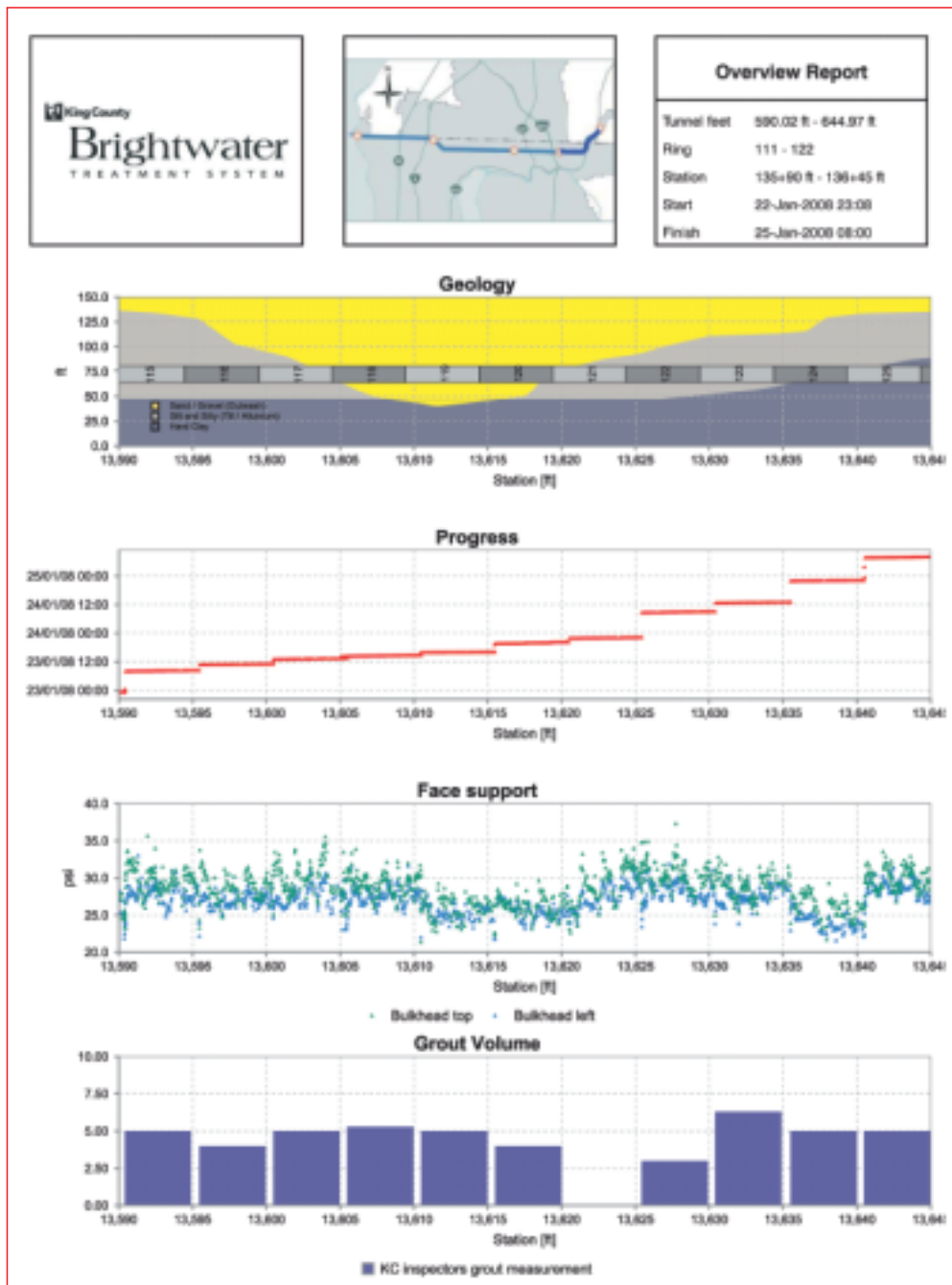
The hardware structure comprises 1 main server in the main office and 2 ancillary servers on the East and West Contract sites, which are linked with each other via a coded VPN connection (Virtual Private Network). The main server at the same time provides the gateway for an open number of external users. Access to the software is arrived at via a standard PC with a coded internet access.

The 2 secondary servers are linked with the tunnel via a fibre glass line. Apart from direct transference of data to the main server, the secondary servers provide redundant storage and replication of tunnelling data. For the 2 slurry TBMs for the Central Contract the data are collected by the contractor and set on a FTP page at regular intervals (every hour). The main



4 Systemaufbau der Hardware mit Hauptkomponenten

4 System set-up for the hardware with main components



5 Beispiel eines Spezialberichtes

5 Example of a special report

um die Bauüberwachung in diesem Punkt weitestgehend zu entlasten. So werden Standardberichte automatisch erstellt, abgelegt und selbstständig per E-Mail verteilt. Auch liest das System manuell erstellte Excel-Tabellen wie zum Beispiel Setzungsmessungen und Auf-

maß der Zugbelastung automatisch in die Datenbanken ein.

Für jede Personalebene des Projektes wurden entsprechende Benutzerprofile mit unterschiedlichen Zugriffsberechtigungen eingerichtet, die vom Bauüberwacher, Projekt-Ingenieur bis hin zum Projekt-

server takes over the newly available data from the FTP page and processes them further.

Software

The TPC software was implemented in such a way that it processes all types of TBM and

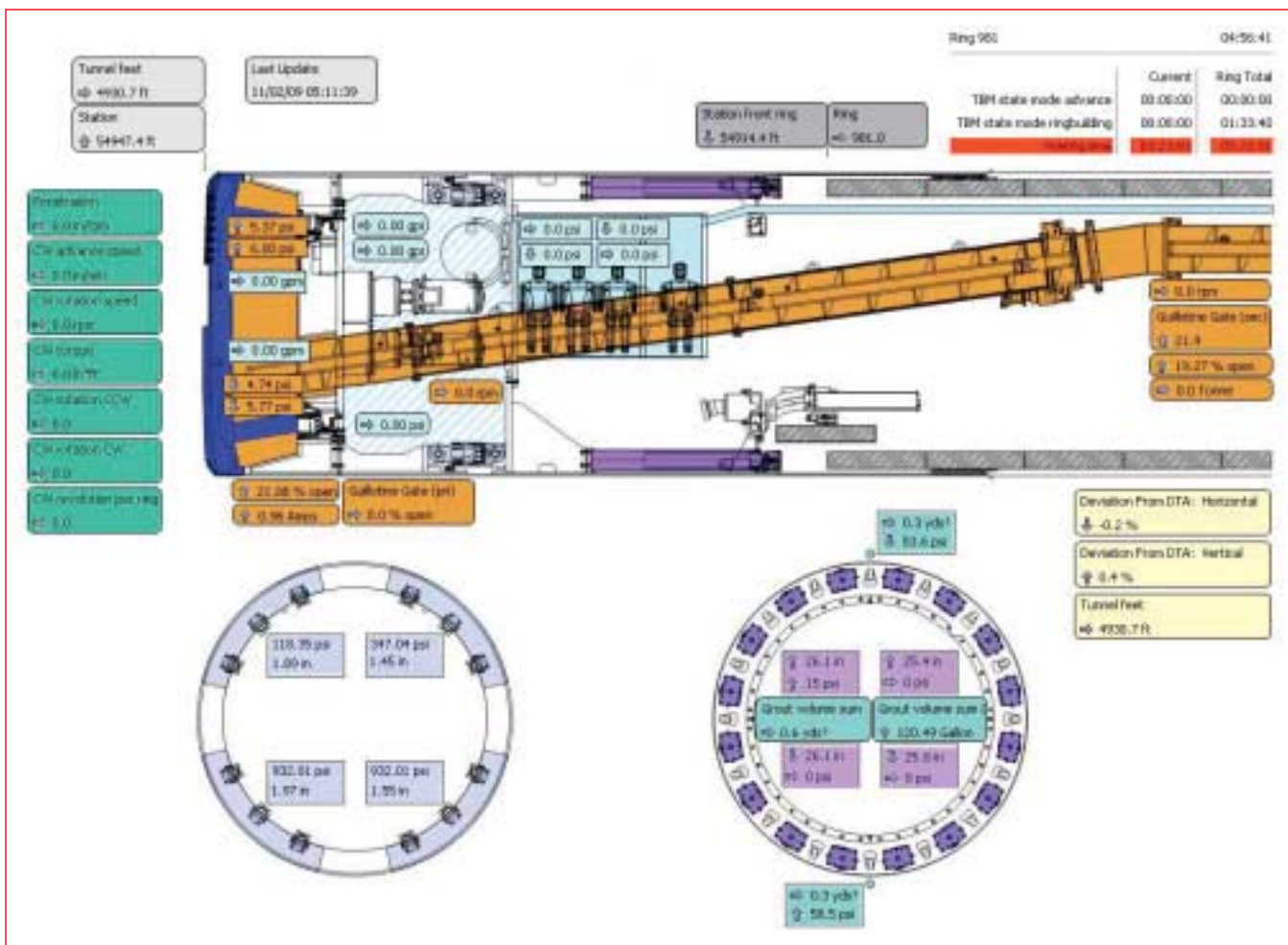
manufacturers. Given an average number of 130 sensors per drive and a 10 sec recording interval this results in an annual data amount of 1,639,872,000 entries. This huge quantity of tunnelling data, which are stored multidimensionally in a SQL data bank, can be visualised whenever required with constantly remaining inquiry times. In addition the data bank is devised in such a way that data manipulations can be excluded.

The regular inquiry and report components were tailor-made to suit requirements at the start of the project in order to ensure that the site supervision was relieved as far as possible as far as this was concerned. Standard reports are automatically produced, filed and distributed independently by e-mail. The system also reads manually produced excel tables, as for example settlement measurements and the loads carried by trains automatically into the data banks.

Corresponding user profiles with different access authorisations were set up for every personnel level of the project, which offer special desktops ranging from the site supervisor, the project engineer right up to the project manager and supply different reports and evaluations.

Special Reports

During discussions technical issues relating to the ongoing drive are on the agenda. Towards this end the presentation of the issues also compared with further driving parameters plays a decisive role. The special reports enable the presentation of graphics with free choice of the axes, parameter combinations and the data density. The straightforward use makes it possible to print or plot even inquiries over a great distance within a matter of minutes (Fig. 5).



6 Beispiel Übersichtsbildschirm im Echtzeitmonitoring

6 Example of a screen shot displayed in real time monitoring

leiter spezielle Oberflächen bieten und unterschiedliche Berichte und Auswertungen liefern.

Spezialberichte

Oft stehen bei Baubesprechungen Sachverhalte des bisherigen Vortriebs auf der Tagesordnung. Dabei spielt die Darstellung der Sachverhalte, auch vergleichend mit weiteren Vortriebsparametern, eine entscheidende Rolle. Die Spezialberichte ermöglichen die Darstellung von Grafiken mit freier Wahl der Achsen, der Parameterkombinationen und der Datendichte. Die einfache Handhabung erlaubt es, in wenigen

Minuten auch Anfragen über eine große Strecke auf Papier zu drucken oder zu plotten (Bild 5).

Echtzeitmonitoring mit aktiver Grenzwertüberwachung

Die Überwachung der Vortriebe und die Qualitätsüberwachung erfolgen durch Inspektoren sowohl im Tunnel als auch im Büro über Tage. Im Büro unterstützt das Echtzeitmonitoring mit flexiblen Oberflächen. Jeder Benutzer kann sich abhängig von seiner Aufgabe „seiner“ Oberfläche selbst gestalten. Die Art der Darstellung, Positionen und Gruppierungen sind

Real Time Monitoring with active Limit Value Monitoring

Inspectors both in the tunnel as well as in the office on the surface supervise the drives as well as the quality assurance. In the office real time monitoring with flexible desktops provides support. Every user can create “his own” desktop depending on his position. The nature of the presentation, positions and groupings are adapted in accordance with one's own requirements. Fig. 6 exemplarily shows a screen shot on the display page of a drive in a real time presentation.

The displays are updated at 10 sec intervals with the currently available data. In this connection, all incoming data are first checked to establish their consistency and plausibility. Selected values are at the same time compared with the limit values defined at the start of the project. If an active limit value is exceeded the responsible persons are informed by e-mail or SMS. An automatic cancellation report of a limit value being previously exceeded also follows.

Shift Reports and Evaluation

The recording of the driving times and the assessment of the

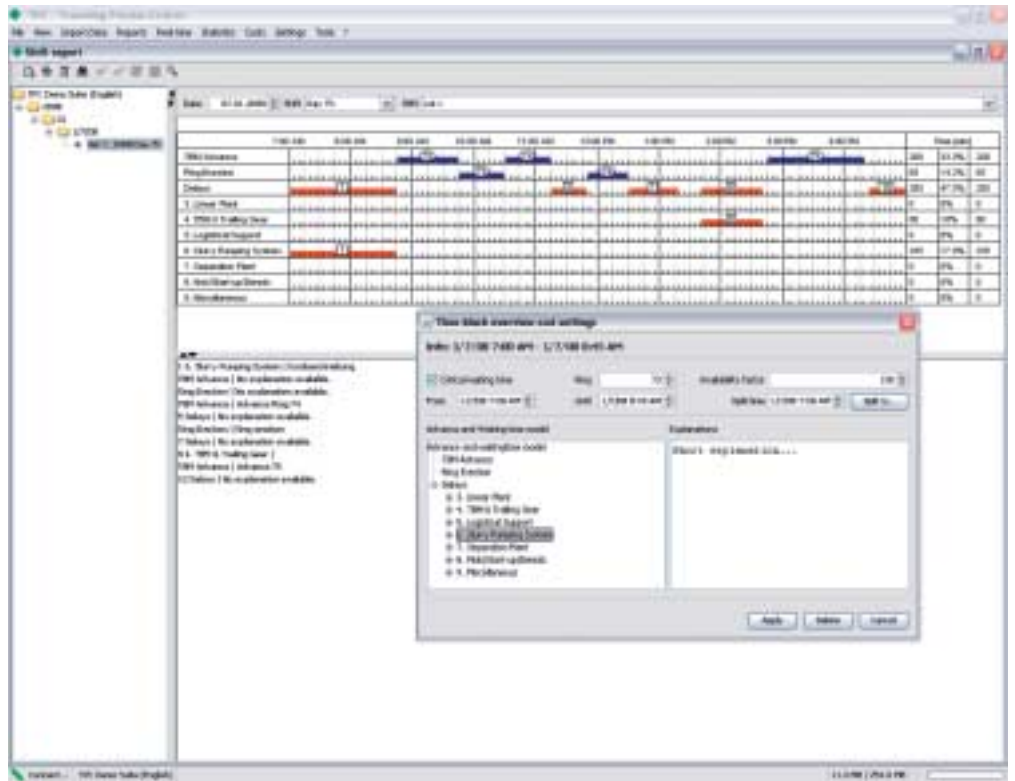
an die eigenen Bedürfnisse angepasst worden. Bild 6 zeigt exemplarisch einen Screenshot auf die Übersichtsseite eines Vortriebs in Echtzeitdarstellung.

Die Ansichten werden in 10-Sekunden-Intervallen mit den gegenwärtig aktuell verfügbaren Daten aktualisiert. Dabei werden alle ankommenden Daten vorher auf Konsistenz und Plausibilität überprüft. Ausgesuchte Werte werden gleichzeitig mit vor Projektbeginn definierten Grenzwerten verglichen. Das Überschreiten eines aktiven Grenzwertes wird per E-Mail oder SMS den zuständigen Personen mitgeteilt. Auch erfolgt eine automatische Auflösungsmeldung einer vorherigen Grenzwertschreitung.

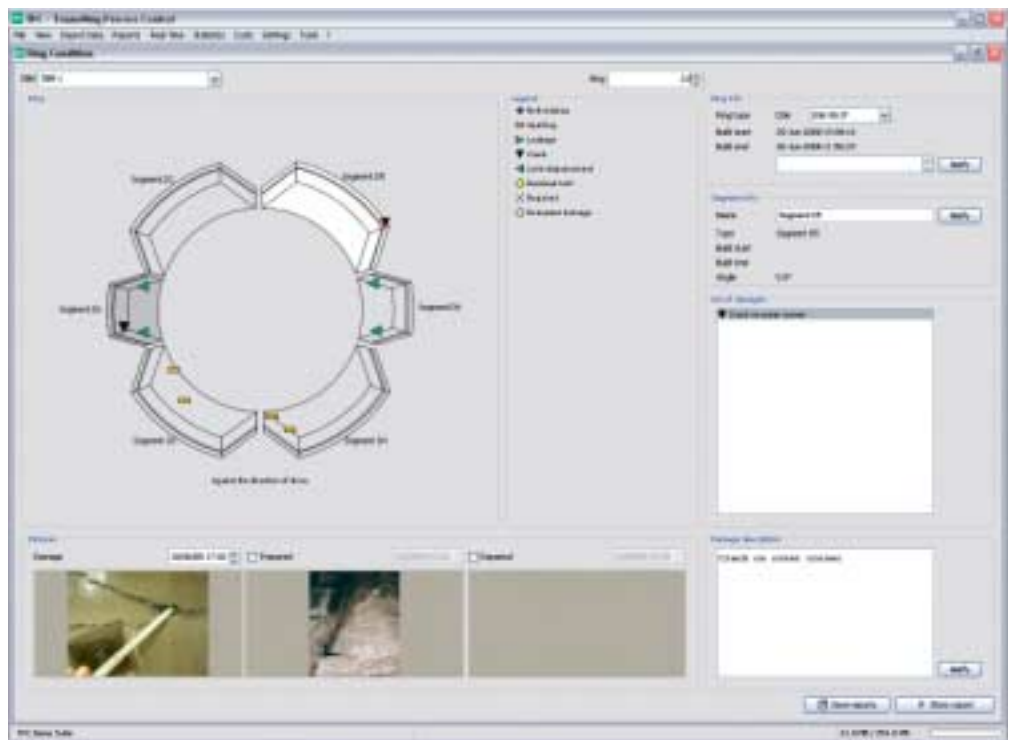
Schichtberichte und Auswertung

Das Mitschreiben der Vortriebszeiten und das Bewerten der Stillstände stellen eine der Hauptaufgaben nicht nur bei den Vortrieben des Brightwater-Projekts dar. Damit kann sowohl für die Bauunternehmen als auch für die Bauüberwachung objektiv der tatsächliche Vortrieb dargestellt werden. Die flexible Sortierung der Stillstände unterstützt alle Beteiligten dabei in der Prioritätsbewertung und auch in der Ursachenforschung der technischen Probleme. Gleichzeitig werden damit unterschiedliche Vortriebssysteme berücksichtigt.

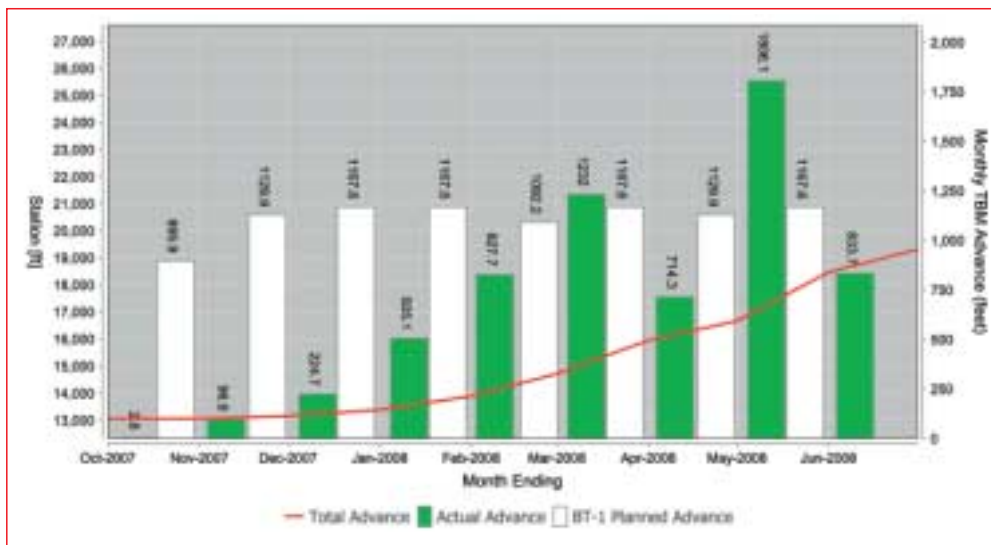
In diesem Projekt werden die Schichtberichte semiautomatisch anhand der empfangenen Vortriebsparameter ausgefüllt. Am Ende seiner Schicht teilt der Inspektor die erfassten Stillstände in die jeweilige Kategorie und kann weitere Beobachtungen über die Tastatur ergänzen. Die Bauüberwachung und die Baufirma können



7 Eingabebildschirm Schichtbericht
7 Shift report input display



8 Qualitätsmanagement
8 Quality management



9 Projektfortschritt

9 Project progress

hier auch den einzelnen Parteien Vorschläge für Verursacherteile anteilig zuzuordnen. Damit lässt sich rückblickend eine Auswertung der Stillstände sehr effektiv gestalten. Bild 7 zeigt eine solche Eingabemaske des Schichtberichtes während einer Verzögerungsklassifizierung.

Die Daten aus dem Schichtbericht dienen in Seattle der Bauüberwachung im Analysemodul als Datenbasis der Auswertung. Die einzelnen Vortriebsaktivitäten können auf Grundlage der Klassifizierung dargestellt werden. Wöchentlich erstellt die Bauüberwachung zu jedem Tunnel diese Analysen, die nach kritischen, d. h. den Vortrieb verzögernden und unkritischen Wartezeiten gefiltert werden.

Qualitätsmanagement und Dokumentation

Die Sicherstellung der Ausführungsqualität und die Bauwerksdokumentation sind die ursprünglichen Aufgaben der Bauüberwachung auch in Seattle. Die große Tunnellänge und die verschiedenen Ver-

tragsverhältnisse stellen dabei eine überdurchschnittliche Anforderung an die Organisation des Bauherrn dar. Aber auch die Baufirmen möchten eine in sich konsistente und dennoch einfach zu bedienende Mängelverfolgung durchführen. Nur damit kann der personelle Aufwand im Rahmen gehalten werden.

Dafür benutzt die Bauüberwachung 2 Tools, die sowohl die Bauwerksdokumentation als auch die Mängelverfolgung vereinfachen. Ringberichte fassen die wichtigsten Parameter der TBM, des gebauten Tübbingrings und der Ringspaltverfüllung zusammen. Dieser Report wird automatisch für jeden Ring erstellt und verteilt. Zusätzlich kann der Inspektor Beschädigungen der Segmente im QM-/QC-Modul eingeben. Per Mausclick werden Position und Art der Beschädigung eingegeben. Der weitere Reparaturfortschritt jedes einzelnen Schadens wird durch Text und Fotos durchgängig dokumentiert. Auf einem Ausdruckformular wird dann die Reparatur von der Bauüberwachung vertraglich akzeptiert (Bild 8).

standstills represents one of the main tasks not simply for the drives for the Brightwater Project. In this way the construction companies as well as the site supervision are provided objective details of the actual drive. The flexible assessment of the standstills assists all those involved in evaluating priorities as well as in finding out reasons for technical problems. At the same time various tunnelling systems are taken into consideration in this way.

In this project the shift reports are filled in semi-automatically on the basis of the driving parameters received. At the end of his shift the inspector divides the recorded standstills into the given category and is able to provide further observations via the keyboard. The site supervision and the construction firm can also allot proposals for establishing which of the individual parties was responsible for an incident. In this way an assessment of the standstills can be very effectively reproduced in retrospect. Fig. 7 displays such an input mask for the shift report during a delay classification.

The data from the shift report in Seattle serve the site supervision as a data base for evaluation in the analysis model. The individual driving activities can be presented on the basis of classification. The site supervision presents these analyses for each tunnel, which are filtered in keeping with critical, i.e. waiting periods holding up the drive and non-critical ones.

Quality Management and Documentation

The securing of the quality of execution and the documentation of the structure are the original tasks of the site supervision and this also applies in Seattle. Toward this end the extensive tunnel length and the various contractual conditions represent an above-average challenge to the client's organization. However, the construction firms too wish to be able to undertake consistent tracking of faults which is nevertheless easy to operate. Only in this way is it possible to confine the amount of personnel required within limits.

In this connection the site supervision uses 2 tools, which simplify both documenting the structure and tracing faults. Ring reports sum up the important TBM parameters, the installed segmental rings and backfilling the annular gap. This report is automatically produced and distributed for each ring. In addition the inspector can insert damage caused to the segments in the QM/QC module. The position and nature of the damage is entered per mouse click. Further progress in repairing each individual case of damage is thoroughly documented by means of text and photos. The repair is then contractually accepted by the site supervision on a print-out form (Fig. 8).

Projektfortschritt – Weitere Module

Der Vergleich des tatsächlichen Projektfortschritts mit den geplanten Annahmen ist für alle Beteiligten immer spannend, gibt es doch schon frühzeitig die Indikation, ob der Auftrag ruhig abgearbeitet werden kann oder ob eher mit spannungsgeladenen Baufortschrittsbesprechungen zu rechnen ist.

Dafür stellt die Software einen grafischen Vergleich an, der vom Gesamtprojekt bis zu den Arbeitsschichten beliebig verkleinert werden kann. Auch kann eine grafische Hochrechnung auf Basis des aktuell durchschnittlichen Fortschritts angezeigt werden.


Die Projektion in die Zukunft wird auch bei dem Kostenmodul verwendet, in dem tatsächliche Kosten mit den geplanten Ausgaben verglichen werden. Dieses Modul ist besonders für die Bauunternehmen interessant (Bild 9).

Fazit

Das Projekt Brightwater befindet sich mitten in der Ausführungsphase. Seit Oktober 2007 werden TBM auf dem Projekt betrieben. Momentan

sind ungefähr 8,5 km Tunnel aufgeföhren worden. Für die Bauüberwachung hat sich die Software als sehr effektives Werkzeug etabliert.

Des Weiteren haben sich noch ungeplante Zusatzeffekte ergeben. Bei den öffentlichen Projektfortschritt-Vorstellungen, die in den USA sehr ernst genommen werden, wird gerne auf die Echtzeitdarstellung zurückgegriffen. Sie erzeugt im Publikum auch immer einen gewissen „Wow“-Faktor. Auch bei Beschwerden über Bodenvibrationen konnten durch diese Darstellung die Anwohner überzeugt werden, dass die gefühlte Störung nicht von der TBM kam.

Langfristig führt das Speichern von Daten aber auch in der ganzen Tunnelbranche zu Vorteilen. Mithilfe der Datenerfassungssysteme und entsprechender Auswertungen ist es erstmals möglich, in einem vertretbaren Kostenrahmen historische Daten auszuwerten und für neue Projekte zu interpretieren. Dadurch werden sich im Laufe der nächsten Jahre genauere Vorraussagen erzielen lassen, als es aus subjektiven Erinnerungen möglich wäre. Die Verfahren im Tunnelbau können damit weiter optimiert werden. 

Project Progress – further Modules

Comparison of the actual project progress with the planned assumptions is always exciting for all those involved whether there is an early indication that the contract can be executed without any problem or whether tense discussion relating to construction progress must be reckoned with.

Towards this end the software presents a graphic comparison, which can be minimised as desired ranging from the total project to the working shifts. A graphic projection based on the actual average progress can also be displayed.

In future a projection will also be applied for the cost module, with the actual costs being compared with the planned expenditure. This module is of particular interest for contractors (Fig. 9).

Summary

The Brightwater Project is right in the middle of being executed. Since October 2007 TBMs have been operational there. Currently roughly 8.5 km

of tunnel has been driven. The software has emerged to be a very effective tool for the site supervision.

Furthermore unscheduled knock-on effects have resulted. For public project progress presentations, which are treated very seriously in the USA, the real time presentation is often referred to. It creates a certain “wow” factor among the public. This presentation also convinces local residents that any disturbance they might perceive cannot originate from the TBMs when it comes to complaints about soil vibrations.

In the long term data storage leads to advantages in tunnelling as a whole. With the help of data processing systems and corresponding evaluations it has first become possible to process historic data within a reasonable cost framework and to interpret them for new projects. As a result more precise predictions will be arrived at in the course of the years to come than were possible by simply trying to replicate them off the cuff. In this way tunnelling methods can be optimised even further. 