



Metro Delhi – Projektmanagement in der Ingenieurgeodäsie

Albrecht Prader ¹, Gerald Muhr ²

¹ *Geodata GmbH, Leoben, Chief Surveyor IMCC, Contract MC1B, 2001-2002, Schönbrunner Strasse 236, 1120 Wien*

² *Geodata GmbH, Leoben, Surveyor Tunnel IMCC, Contract MC1 B, 2001-2002 Monsbergergasse 8, 8010 Graz*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **91** (3), S. 178–193

2003

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Prader_VGI_200324,  
Title = {Metro Delhi -- Projektmanagement in der Ingenieurgeod{"a}sie},  
Author = {Prader, Albrecht and Muhr, Gerald},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {178--193},  
Number = {3},  
Year = {2003},  
Volume = {91}  
}
```



Literatur

- [1] Alt. W.: Nichtlineare Optimierung. Vieweg 2002.
- [2] Forsythe. G.E.; Malcolm. M.A.; Moler. C.B.: Computer Methods for Mathematical Computations. Prentice Hall 1977.
- [3] Späth. H.: Algorithmen für elementar Ausgleichsmodelle. München 1973.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Helmuth Späth. Fachbereich Mathematik. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Postfach 2503. D-26111 Oldenburg. Germany. e-mail: spaeth@mathematik.uni-oldenburg.de



Metro Delhi – Projektmanagement in der Ingenieurgeodäsie

Albrecht Prader, Wien und Gerald Muhr, Graz

Zusammenfassung

Im Rahmen des beginnenden U-Bahn-Ausbaus in der indischen Metropole Neu Delhi beauftragte die DMRC (Delhi Metro Rail Corporation) das Joint Venture IMCC (International Metro Civil Contractors) mit dem Bau des ersten untertägigen U-Bahn-Bauloses in Delhi. IMCC besteht aus den Firmen DYWIDAG (Deutschland), SAMSUNG (Südkorea), L&T (Indien), SHIMIZU (Japan) und IRCON (Indien).

Da die organisatorischen Anforderungen erfahrungsgemäß mit der Projektgröße exponentiell ansteigen, waren angesichts der im U-Bahn-Bau einzigartigen Dimensionen des Projektes (Bauloslänge ca. 7 km, Auftragssumme ca. 400 Mio. Dollar) besondere methodische Vorarbeiten unerlässlich. In monatelanger Entwicklung wurde daher ein Gesamtkonzept für Vermessung und Deformationsmessung, für Daten-, Personal-, Subunternehmer-, Geräte- und Fuhrparkmanagement erstellt. In der Umsetzungsphase musste das Konzept laufend an die lokalen Rahmenbedingungen angepasst werden. Mangels Vorprojekten und aufgrund der in Indien herrschenden schwierigen Zustände erforderte dies sowohl organisatorische als auch persönliche Höchstleistungen.

In fachlicher Hinsicht umfasst das Projekt ein umfangreiches Konglomerat von Tunnelbau-Techniken: vom Tübbing-Fertigteilwerk über maschinelle Tunnelvortriebe und unterirdischen Ausbruch ganzer Stationen mit Sprengvortrieb und NATM (New Austrian Tunneling Method) bis hin zu Stationsbau mit Schlitzwandtechnik.

Die Verantwortung für die Konzeption und Organisation der gesamten Vermessung und Deformationsmessung, sowie der Vortriebssteuerungen oblag dem zuständigen Chief Surveyor (Autor), der von der Firma Geodata GmbH, Leoben, Österreich, gestellt wurde.

Abstract

Since the need of public transportation became obvious in the congested urban areas of India a metro concept was developed for the capital New Delhi by Indian authorities represented by DMRC (Delhi Metro Rail Corporation). The Joint Venture IMCC, consisting of the partners DYWIDAG (Germany), SAMSUNG (South Korea), L&T (India), SHIMIZU (Japan) and IRCON (India), got the contract to build the first underground metro line in Delhi.

Experience shows that an increase of the project size leads to an exponential increase of organisation and management requirements. With a length of about 7 km and a contract sum of about 400 million dollars the Metro Delhi Project MC1B was unique worldwide. Therefore a methodical development of a concept for survey, monitoring, data-, staff- and subcontractor-management, instrument- and car park-administration was required. The implementation and adaptation of the concept was difficult because of the non-availability of similar projects in the past and the actual conditions in India. It required high performance in organisation and strong personal commitment.

The project covers a huge conglomeration of tunnelling techniques: the installation of a tunnel segment factory, Tunnel Bore Machines (TBM), Earth Pressure Balance Machines (EPBM), the New Austrian Tunneling Method (NATM) excavation for underground tunnels and stations and the construction of stations and structures with diaphragm walls are only some highlights of the project.

The responsibility for the conception and organisation of all survey works, optical monitoring and tunnel guidance was with the Chief Surveyor (author) from the company Geodata GmbH, Leoben, Austria.

1. Das Projekt MC1B

Das Joint Venture IMCC erhielt nach langwierigen Vertragsverhandlungen mit dem Bauherrn DMRC (Delhi Metro Rail Corporation) im Frühjahr

2001 den Zuschlag für den Bau des ersten untertägigen U-Bahn-Abschnittes der indischen Metropole New Delhi.

Das Projekt wurde als Turn-Key-Project vergeben. Damit muss der Auftragnehmer bei Ver-

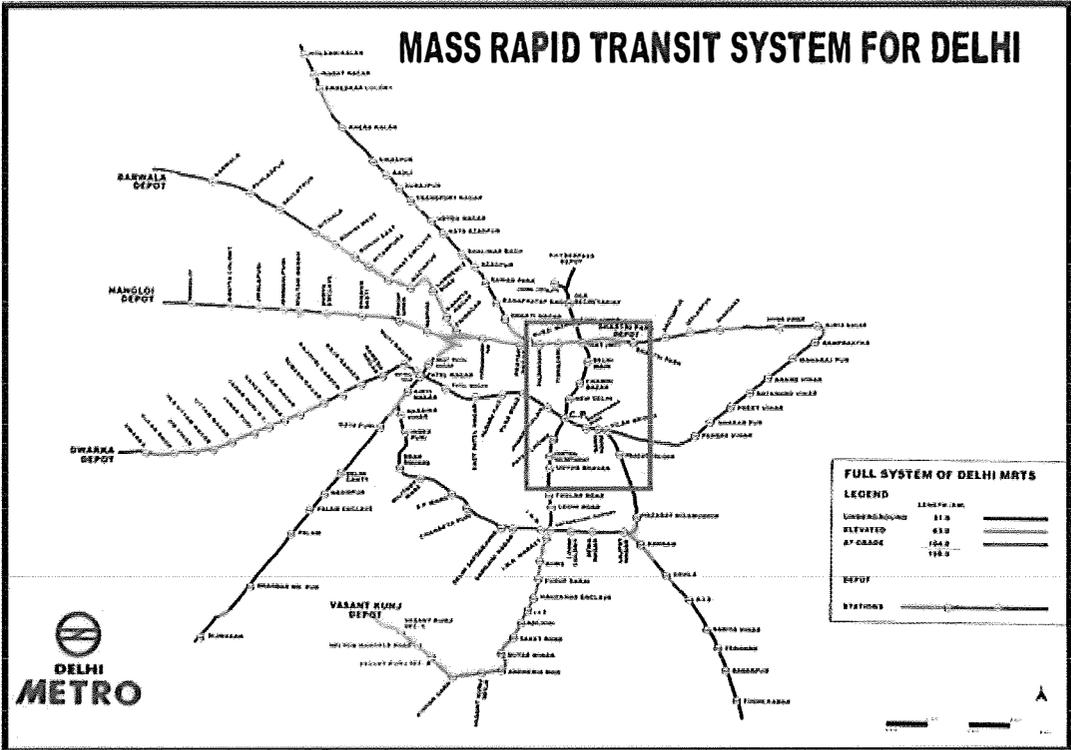


Abb. 1: U-Bahn-Netzplan New Delhi

tragsablauf das Bauwerk im Rohbau schlüsselfertig übergeben. Die gesamte Verantwortung inklusive dem Bodenrisiko liegt beim ausführenden Joint Venture. Diskussionen über allfällige Nachträge reduzieren sich auf die formale Auslegung des Vertrages. Die Überwachung der Bauausführung im Namen des Bauherrn DMRC obliegt dem Konsortium GC (General Consultant), bestehend aus den Firmen PCI (Japan), PBI (USA), JARTS (Japan), TONICHI (Japan) und RITES (Indien).

Das Baulos erstreckt sich zwischen den Stationen ISBT (Inter State Bus Terminal) im Norden des Stadtzentrums und Udyog Bhawan im Süden in der Nähe des Präsidentenpalastes. Die Länge des Loses beträgt ca. 7km. In ihrem Verlauf von Norden nach Süden passiert die Trasse die Altstadt Delhis mit ihrem mittelalterlichen Erscheinungsbild (Delhi Main, Chawri Bazar), geht dann in das in der britischen Kolonialzeit angelegte moderne Zentrum der Stadt über (New Delhi, Connaught Place, Patel Chowk) und endet im Regierungsviertel Delhis (Central Secretariat, Udyog Bhawan). Im Bereich der Stationen ISBT bis Patel Chowk werden neben den Stationsrohbauten (NATM, Bohrpfähle und Schlitzwände) die zwei parallel laufenden Tunnelröhren berg-

männisch (maschinell) vorgetrieben, zwischen Patel Chowk und Udyog Bhawan wird in offener Bauweise gebaut (Bohrpfähle und Schlitzwände).

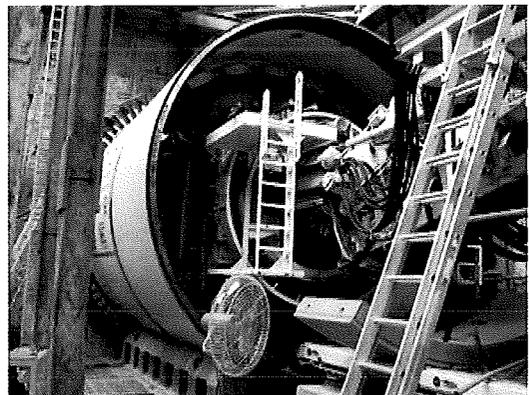


Abb. 2: Erddruck-Tunnelbohrmaschine (EPBM) der Firma Herrenknecht AG

Die bergmännischen Vortriebe erfolgen mit einer Festgesteins-Tunnelbohrmaschine (TBM) und zwei Erddruck-Tunnelbohrmaschinen (EPBM) der deutschen Firma Herrenknecht AG mit ca. 6.4m Außenradius (Abb. 2). Während

Festgesteinsmaschinen im standsicheren und homogenen Fels eingesetzt werden, kommen Erddruckmaschinen im Lockerboden zum Einsatz. Hier wird ein Gegendruck im Bereich des Schneidrades erzeugt, um Eindringen von Grundwasser und durch den Ausbruch bedingte Deformationen weitestgehend zu vermeiden. Die Maschinen sind mit dem Steuerleitsystem SLS-T der Herrenknecht-Tochterfirma VMT GmbH bestückt.

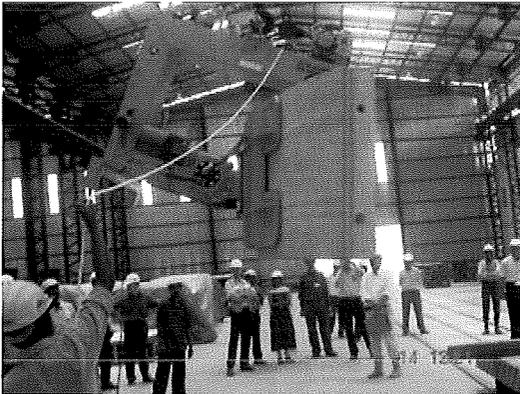


Abb. 3: Vakuumflöter für Tübbinge im Fertigteilwerk Nangloi

Zur Produktion der ca. 45.000 Tübbinge (Betonfertigteile) für den Tunnel-Innenausbau wurde an der Peripherie Delhis ein Segmentwerk errichtet. Das Werk arbeitet völlig autark, d.h. der gesamte Fertigungsprozess mit Errichtung und Nutzung des dazugehörigen Betonwerks, Herstellung der Bewehrungskörbe, Betonier- und Abkühlungsvorgang, Qualitätskontrolle, Lagerhaltung und Auslieferung erfolgt direkt vor Ort (Abb. 3). Mangelnde Qualität der vorhandenen Rohstoffe (Sand, Zement, Stahl) sowie Lieferen-



Abb. 4: Einsetzen des Bewehrungskorbes in ein Schlitzwandpanel

gpässe verursachen immer wieder Probleme bei der Anlieferung der Segmente an die Tunnelvortriebe.

Die Ausführung der Stationsrohbauten und des Bereichs der offenen Bauweise im Südteil des Projekts erfolgt mit Bohrpfählen und Schlitzwänden. Nach Fertigstellung der Leitwände (Guide Walls) and der Oberfläche werden mit dem Schlitzwandgreifer (Kelly) panelweise Schlitzte ausgehoben. Nach Erreichen der Soll-Tiefe wird nach Spülen mit einer Bentonitlösung der Bewehrungskorb abgesenkt (Abb. 4) und das Panel der Schlitzwand (Diaphragm Wall) betoniert. Zusätzlich werden je nach Erfordernis Bohrpfähle oder Bohrträger gesetzt.

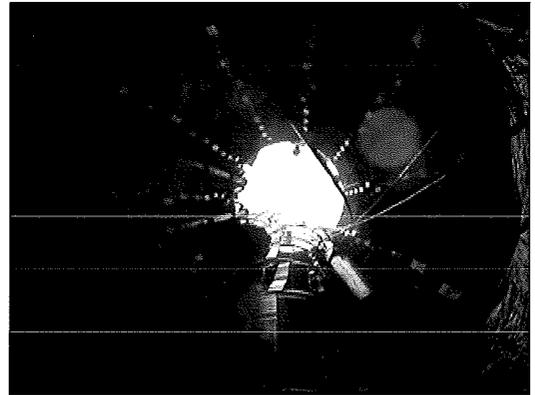


Abb. 5: Sondierschacht für Schachtaushub und Kavernenausbau im Chawri Bazar

Die Station Chawri Bazar im Zentrum der großteils moslemisch besiedelten Altstadt Delhis wird unterirdisch mit der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (NÖT, engl. NATM) ausgebrochen (Abb. 5). Dabei muss mit höchster Sensibilität vorgegangen werden, da die Substanz der Bauten und auch die geologischen Verhältnisse in diesem Stadtteil äußerst schlecht sind. Kleinste durch den Ausbruch bedingte Deformationen können bereits katastrophale Auswirkung haben. Zusätzlich bereiten Skepsis und Intoleranz der Bewohner dieses Stadtteils gegenüber dem Bauwerk bzw. das Überbevölkerungs- und das damit verbundene Verkehrsproblem in diesem Stadtteil enorme logistische Schwierigkeiten.

2. Konzeptionierung der Vermessung und des Monitoring

Vergleicht man Projekte in der Größenordnung von MC1B mit Tunnelbaustellen, wie sie im Allgemeinen üblich sind, so kann man sehen, dass

der organisatorische und logistische Aufwand mit zunehmender Projektgröße nicht mehr linear, sondern exponentiell ansteigt. Um sie trotzdem erfolgreich durchführen zu können, müssen methodisch detaillierte Konzepte für alle auftretenden technischen und organisatorischen Arbeitsschritte entwickelt werden. Im Fall MC1B müssen sie folgende Punkte enthalten:

- Aufbau einer einheitlichen Datenstruktur und eines einheitlichen Ablagensystems für die bis zu 7km voneinander entfernt liegenden Baustellenbüros und das Zentralbüro und Entwicklung und Umsetzung eines Datensicherungskonzepts (Qualitätsmanagement).
- Management der bis zu 20 Messtrupps mit bis zu 80 Vermessungstechnikern und -ingenieuren, der Subunternehmer für Personalleasing, GPS-Messungen, Punktstabilisierung und Topographical Survey.
- Verwaltung des Instrumentenparks.
- Grundlagennetz: Stabilisierung der Festpunkte (Haupt- und untergeordnete Netze, Stations- und Tunnelvortriebsnetze), Auswahl eines geeigneten Projektionssystems, GPS Messungen, Netzmessungen zur terrestrischen Verknüpfung der GPS Punkte, zur Bestimmung der Festpunktkoordinaten in den Stationsbereichen und in den Tunnelvortrieben, Präzisionsnivelements zur Höhenableitung.
- Lage- und Höhenpläne (Topographical Survey) für die ca. 140ha umfassende Projekttrasse als Grundlage für das Design.
- Absteckarbeiten Obertag für den Stationsbau und die offene Tunnelbauweise.
- Tunnelvermessung für Schachtabteufung und Tunnelvortriebe, TBM/EPBM Steuerung mit

dem Leitsystem SLS-T der Firma VMT/Herrnknecht, NATM Vortriebsvermessung für den Ausbruch der Station Chawri Bazar.

- Segmentfertigung: notwendige Vermessungsarbeiten zur Errichtung des Tübbingwerks, regelmäßige Kontrollen der Segmentgeometrie.
- Deformationsmessung zur vermessungstechnischen Überwachung der in der Umgebung der Stationen bzw. entlang der Tunnelvortriebe liegenden Bauwerke (3D-Monitoring, Präzisionsnivelements).
- Geotechnische Einbauten und Versuche zur Überwachung der Deformationen und zur Ermittlung von Bodenkenwerten.

2.1. Ablagesystem, Datenstruktur, Datensicherung

Die Datenstruktur und die Ablagesysteme in den einzelnen Stationsbüros und im Hauptbüro müssen die Daten des Projektes und aller damit verbundenen Arbeitsschritte aufnehmen können, ohne Redundanz zuzulassen. Dabei muss man speziell die räumlichen Entfernungen zwischen den einzelnen Büros berücksichtigen (bis maximal 7km im städtischen Gebiet). Folgende Daten sind zu verwalten (Abb. 6):

Bei der Erstellung der Datenstruktur und des Ablagesystems wirkt sich erschwerend aus, dass nicht immer alle bzw. die gleichen Daten auf jeder Station anfallen bzw. gespeichert werden müssen. Speziell die Daten, die im Hauptbüro verwaltet werden, weichen erheblich von jenen der Stationsbüros ab. Andererseits müssen die Stationsbüros teilweise über diese Daten verfügen bzw. auf diese zugreifen können. Dies erfolgt mit einem Baustellen-Intranet, das zwi-

Technische Projektdaten	Messdaten und Resultate	Organisatorische Projektdaten
hardcopy / digital	hardcopy / digital	hardcopy / digital
Method Statements	GPS-Daten	Schriftverkehr
Lage- und Höhenpläne	Trigonometrische Daten	Lieferscheine
Ausführungspläne	Nivellementdaten	Personalakten
Achsdaten	Geotechnische Messdaten	Rechnungen
Punkttopographien	Berechnungsprotokolle	Formblätter
Festpunktkoordinaten	Netzmessungsprotokolle	Vorlagedateien
Absteckdaten	Netzskizzen	Organigramme (Personal)
Absteckkoordinaten	Absteckprotokolle	Bauzeitpläne
Detailpunktkoordinaten	Absteckskizzen	Wochenberichte
TBM-Maschinen-Koordinaten	Monitoring-Tabellen	Kalibrierungsprotokolle für Instrumente
TBM-Steuerparameter	Monitoring-Graphen	Verfahrensanweisungen
NATM-Steuerparameter		
Pläne Monitoring		
		Allgemeine Dokumente

Abb. 6: Datentypen des Projekts MC1B

schen den Stationen über Internetverbindungen arbeitet.

Betrachtet man die infrastrukturellen Rahmenbedingungen im Schwellenland Indien (Stromversorgung unzuverlässig, Internet bzw. Email nur in Ansätzen und unregelmäßig vorhanden, Überbevölkerung und damit verbundene Verkehrs- und Transportproblematik), dann muss man von der Möglichkeit eines regelmäßigen Online-Zugriffs der Stationen auf das Hauptbüro und umgekehrt abgehen und ein Modell für eine zeitverzögerte Datenübermittlung einsetzen. Das bedingt ein Abgehen vom Prinzip der Redundanzfreiheit, da man Daten für eine gewisse Zeit (z.B. 1 Tag) parallel führen muss, was sich in der anzulegenden Folder-Struktur der jeweiligen Stationen auswirkt. Der Datentransfer zwischen den Stationen muss in diesem Fall mittels Datenträger erfolgen.

Das Risiko von Vermessungsfehlern durch die Verwendung nicht mehr aktueller Daten steigt damit erheblich. Die in der Baubranche üblichen oft sehr kurzfristigen Plan- bzw. Datenänderungen können nicht zeitgerecht an die zuständige Stelle weitergeleitet werden. Eine Übermittlung per Telefon ist nur bedingt möglich, da die Visualisierung nicht gegeben ist. Außerdem ist die Zuverlässigkeit bei dieser Art des Datentransfers nicht sehr hoch (schlechte Tonqualität, Missverständnisse, Missinterpretation, Schreibfehler, Sprach- bzw. Übersetzungsprobleme). Eine Übermittlung per Telefax ist bis zu einem gewissen Grad sinnvoll, hängt aber von der Datenmenge, der Telefonleitung und der Faxverfügbarkeit und -qualität ab. Praktische Erfahrungen zeigen, dass die Faxübermittlung oft an der Verfügbarkeit von Farbpatronen für die Faxgeräte scheitert. Als brauchbar erwies sich die Einführung eines Botensystems, in dem die jeweiligen Personen zu Fuß oft mehrere Stunden bis zu ihrem Ziel unterwegs waren. Aufgrund des niedrigen Lohnniveaus in Indien stellt dies auch von der Kostenseite her ein effizientes Modell dar.

Als Beispiel einer Datenstruktur auf dem PC sei jene des Hauptbüros abgebildet (Abb. 7):

Zur Erläuterung: das Projekt gliedert sich in 7 Abschnitte 01 bis 07, die jeweils in Daten- und CAD-Verzeichnisse untergliedert sind. Im Datenfolder befinden sich Vermessungs-, Absteck-, Nivellement- und Monitoringdaten, im CAD-Folder digitale Pläne bzw. Kartierungen oder Visualisierungen. In diesen Foldern wird entsprechend dem Arbeitsbereich noch in Subfolder untergliedert. Im Hauptbüro erfolgt zentral die Korrespondenz und Datenübermittlung von und nach außen. Auch die Organisation und Verwaltung der



Abb. 7: Datenstruktur Survey and Monitoring Projekt MC1B

Mitarbeiter, der Instrumente und sämtlicher anderer Projektdaten wird hier abgewickelt. Entsprechend müssen auch die Daten dort in den jeweiligen Foldern abgelegt werden.

Zur regelmäßigen Sicherung der Projekt- und Messdaten muss ein Datensicherungskonzept entworfen werden. Messdaten sollen täglich, Projektdaten wöchentlich gesichert werden. Dies erfolgt durch das Komprimieren der Datenfolder und ihren Transfer auf den Server des Baustellen-Intranets. Falls nicht möglich, müssen die Daten auf ZIP-Disks, CDs oder PCMCIA-Karten gespeichert und ins Hauptbüro transportiert werden. Dort erfolgt wöchentlich

eine Datensicherung aller Daten auf ZIP-Drive oder CD.

2.2. Personal- und Subunternehmer-Management

Das Joint Venture wird organisatorisch in die 3 Bereiche Construction, Technical und Commercial geteilt (Abb. 8):

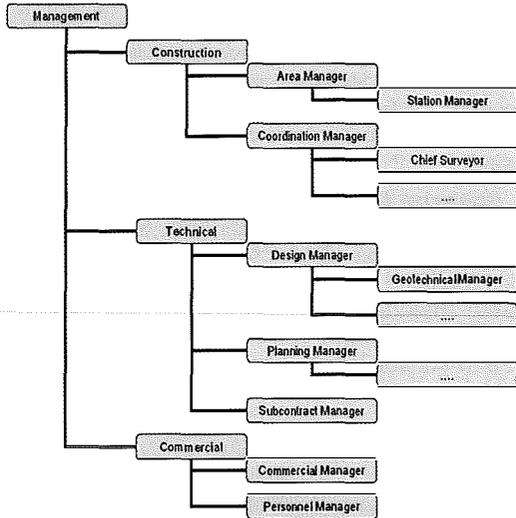


Abb. 8: Organigramm Joint Venture IMCC (vereinfacht)

Diese Bereiche tragen entsprechend die Verantwortung für Bauausführung, Planung bzw. Baustelleneinrichtung und für den kaufmännischen und Personalbereich.

Construction: jeweils 2 Stationen werden organisatorisch zu so genannten „Areas“ zusammengefasst, an deren Spitze die Area Manager stehen. Diesen sind die Station Manager (vgl. Bauleiter) unterstellt. Das Segmentwerk in Nangloi stellt eine zusätzliche „Area“ dar. Neben den Area Managern ist der Coordination Manager speziell für die bauvorbereitende und -begleitende Kommunikation mit Behörden, Anrainern, Firmen etc. zuständig. In seinen Ressortbereich fallen auch die gesamte Vermessung und das Monitoring mit dem zuständigen Chief Surveyor.

Technical: Dieser Bereich umfasst das gesamte Design (Planung) des Projekts inklusive Design und Interpretation des Monitoring, die Bauzeitplanung und Baustelleneinrichtung mit dem zuständigen Planning Manager und das Subcontracting, also die Auswahl und Betreuung der Subunternehmer.

Commercial: Im kaufmännischen Bereich liegt die Verantwortung für Buchhaltung, Rechnungs-

wesen, Controlling, finanzielle und steuerliche Angelegenheiten und Personal (im administrativen Sinn).

Survey Department: Alle Vermessungsingenieure, Vermessungstechniker, Figuranten und CAD-Zeichner des Survey Department sind dem Chief Surveyor unterstellt. Diesem obliegt die Verantwortung für die technische, organisatorische und disziplinarische Führung des Personals und der benötigten Subunternehmer. Zur Bewältigung dieser Aufgaben sind folgende Schritte erforderlich:

- Erstellung von dem Bauzeitplan angepassten Wochen- und Monatsprogrammen zur Abdeckung aller erforderlichen Vermessungs- und Monitoringarbeiten.
- Erstellung und laufende Updates von Organisation Charts mit der jeweiligen Personal- bzw. Messtrupporganisation für das gesamte Projekt. Diese Organisation variiert je nach Bauphase und -Anforderungen.
- Heranziehen und Ausbildung eines Führungsstabs aus gut ausgebildeten und erfahrenen lokalen Ingenieuren. Dieser Führungsstab muss als Bindeglied zwischen Chief Surveyor (Management) und den Messtrupps agieren. Damit vermeidet man Kommunikations- und Akzeptanzprobleme bei lokalen Messtrupps und man bringt die Anzahl der zum Chief Surveyor reportierenden Personen auf ein vernünftiges Maß (4-6 Personen). Diesem Führungsstab muss das Hauptaugenmerk in Schulung und Training gelten, repräsentiert er doch das Survey Department auf der Baustelle nach innen und außen und soll die Baustelle vielleicht einmal selbstständig zu Ende führen (Kostengründe). Das entspräche der oft und gern als Konsulententätigkeit gesehene Arbeit von ausländischen Ingenieuren in Schlüsselpositionen bei solchen Großprojekten.
- Regelmäßige Schulungen und Training der Vermessungsingenieure und -techniker an den verwendeten Geräten, mit der verwendeten Software und in den anzuwendenden Arbeitsmethoden. Diese Schulungen sollten mittelbar über den vorhin erwähnten Führungsstab erfolgen. Auf Disziplin muss bei Projekten dieser Größenordnung ein besonderes Augenmerk gelegt werden, um einen störungsfreien laufenden Betrieb zu gewährleisten.
- Abstellung von Personal für CAD und Instrumenten- und Fuhrparkverwaltung.
- Auswahl von Subunternehmern für zu erbringende externe Leistungen (Pfeilerbau, GPS-

Messungen, Topographical Survey, Personal-leasing).

- Kontrolle der Ausführung der externen Leistungen, meist mittelbar über eigenes Personal. Hier besteht die Gefahr von teils finanziell motivierten Absprachen. Kontrolle der Rechnungslegung der Subunternehmer für die Leistungserbringung.

Das Personal- und Subunternehmermanagement stellt einen Schlüsselfaktor für die erfolgreiche Abwicklung des Projektes dar. Ein gewisses Maß an Erfahrung, Fingerspitzengefühl und die Einhaltung gewisser Umgangsformen sind dafür zwingend notwendig.

Zahlen (September 2002):	Management Level 1:	ca. 50 Personen
	Vermessung:	ca. 80 Personen
	Gesamtes Projekt MC1B:	ca. 3000 Personen

2.3. Verwaltung des Instrumentenparks

Die Verwaltung des Instrumentenparks ist ein nicht zu vernachlässigender Faktor, handelt es sich immerhin um ca. 15 Totalstationen, 8 Digitalnivelliere, 10 Kompensatornivelliere und deren Zubehör. Regelmäßige Kalibrierungen sind vertraglich in gewissen Intervallen vorgeschrieben. Zur Einhaltung der Kalibrierungsdaten müssen Listen geführt werden und Kalibrierungsprotokolle entsprechend archiviert werden. Zusätzlich müssen bei den Geräten im Bedarfsfall Service- und Reparaturarbeiten durchgeführt werden.

Ein wesentlicher Faktor zum Erbringen der erforderlichen Leistung ist das Vorhandensein von ausreichend Vermarktungsmaterial und Werkzeugen. Dies ist in Ländern wie Indien schwierig. Oft sind die Materialien nicht in ausreichender Menge oder Qualität verfügbar. Letzteres trifft speziell auf Werkzeuge zu, die großteils „hand-made“ sind. Man muss die politische Situation des Landes sehen: Indien war jahrzehntlang ein so genanntes „blockfreies Land“ mit einem geschlossenen Markt und starker Affinität zur ehemaligen Sowjetunion. Importe sind trotz einer spürbaren Öffnung gegenüber dem Westen nur eingeschränkt möglich, und wenn, dann zu extrem überbeurten Preisen.

2.4. Grundlagenvermessung für das Projekt MC1B

Zur Errichtung eines homogenen Projektkoordinatensystems und zum Erreichen der erforder-

lichen Durchschlagsgenauigkeiten für die späteren Tunnelvortriebe muss eine entsprechende Grundlagenvermessung für das gesamte Projekt konzipiert werden. Diese setzt sich aus dem Grundlagnetz und den Stations- bzw. Baustellenetzen zusammen.

Das Grundlagnetz der U-Bahn-Linie ist durch 9 GPS-Punkte entlang der Baulose MC1A und MC1B repräsentiert. Zur Vermeidung von Abschattungsproblemen und Mehrwegausbreitungen während der GPS-Messungen und zur Gewährleistung der Sichtverbindung zwischen benachbarten Punkten während der trigonometrischen Verknüpfungsmessungen sind die Punkte auf den Dächern von Hochhäusern stabilisiert.

Statische GPS-Messungen mit Sensoren der Leica-Serie 300 bzw. 500 (Abb. 9), Beobachtungszeiten von 45 Minuten pro Standpunkt, die Sichtbarkeit von mindestens 7 Satelliten für diese Perioden und die Auswertungen mit der Software SKI bzw. SKI Pro ermöglichen hinreichend genaue Ergebnisse.



Abb. 9: Statische GPS Messungen für das Grundlagnetz

Die so erhaltenen WGS84-Koordinaten der Hauptpunkte (Mother Points) müssen in ein Abbildungssystem transformiert werden. Das stellt ein Problem dar, da die Kenntnis von geografischer Information und speziell von Abbildungssystemen in Indien der militärischen Geheimhaltung unterliegt. Begünstigt durch den Nord-Süd-Verlauf der Projekttrasse bietet sich ein UTM-System mit Berührmeridian auf Länge der mittleren Trasse an. Höhenmäßig ist der Bezug der mittlere Projekthorizont. Damit wird eine weitestgehend maßstabs- und verzerrungsfreie Abbildung ermöglicht. Als Ergebnis liegen die Easting/Northing-Koordinaten der 9 GPS Mother Points im quasi-lokalen ebenen UTM System MC1A-MC1B vor.

Entlang der Trasse muss mittels terrestrischer Vermessung zwischen den GPS Punkten ein Polygonnetz zum Zwecke des Koordinatentransfers zu den 6 Metro-Stationen geschaffen werden. Das Festlegen der Visuren und der Punktlage kann nur nach lokalen Gegebenheiten erfolgen (Bebauung, Zugänglichkeit, Verkehrsaufkommen, Messmöglichkeit). Zu beachten ist, dass einige der Hochhäuser, auf denen sich GPS Punkte befinden, Bauten der Stadtverwaltung bzw. des Bundesstaates Delhi und somit nur eingeschränkt zugänglich sind.

In der Nähe der Stationen müssen die Punkte als Messpfeiler stabilisiert werden (Abb. 10), zwischen den Stationen als Bodenpunkte (einbetonierte Metallplatten, Abb. 11). Insgesamt waren ca. 45 Messpfeiler und ca. 85 Bodenpunkte notwendig.



Abb. 10: Vermessungspfeiler

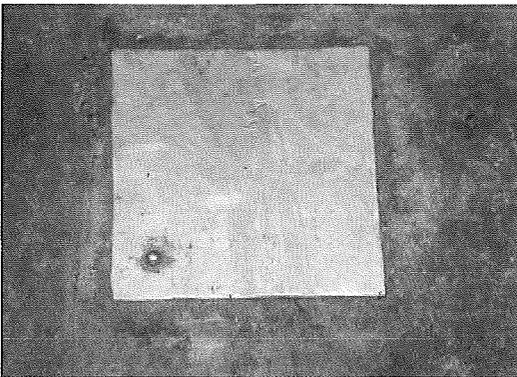


Abb. 11: Bodenpunkt

Zur koordinativen Bestimmung der Pfeiler und Bodenpunkte müssen groß angelegte trigonometrische Netzmessungen durchgeführt werden.

In einem ersten Schritt wird das Grundlagennetz, bestehend aus den bereits stabilisierten

GPS Punkten und den Pfeilern bzw. Bodenpunkten eingemessen. Dabei treten als besonders erschwerend die extreme Überbevölkerung mit dem damit verbundenen Verkehrsproblem, das extreme Klima (Temperaturen bis zu 48° Celsius), die damit verbundenen Refraktion (Netzmessungen obligatorisch nachts und am frühen Morgen) und die schon erwähnten Zutrittsprobleme während der Messzeiten auf.

Das Netz muss in einem ersten Schritt frei ausgeglichen werden (vermittelnder Ausgleich), um Auffälligkeiten bei der Qualität der GPS-Koordinaten und allfällige Ausreißer in den trigonometrischen Messungen feststellen zu können. Nach der so erfolgten Qualitätsbeurteilung und

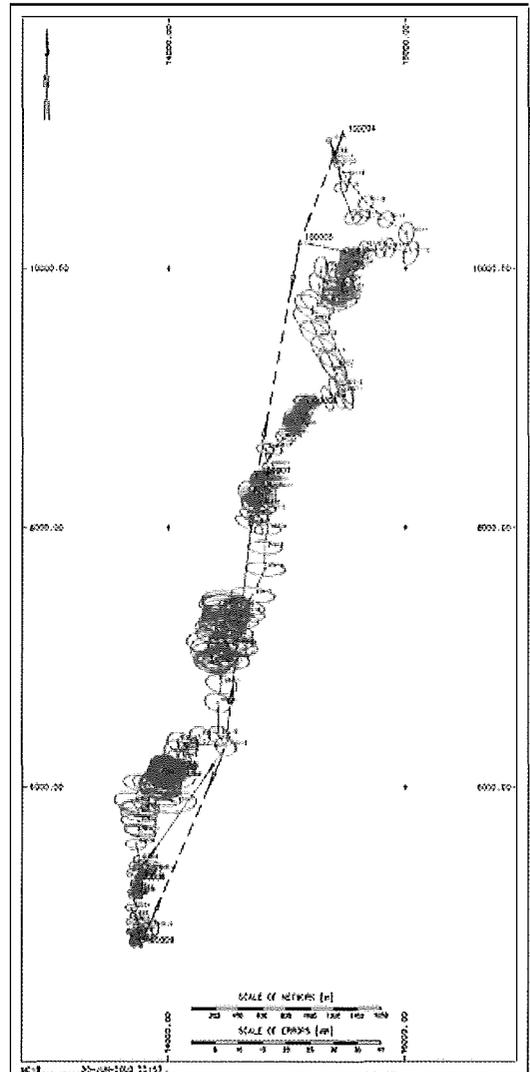


Abb. 12: Grundlagennetz MC1B mit Fehlerellipsen

Filterung können die GPS-Koordinaten festgehalten und der vermittelnde Ausgleich wiederholt durchgeführt werden, was die Koordinaten des Grundlagentznetzes und den Netzmaßstab ergibt (Abb. 12).

Einige Zahlen zum Grundlagentznetz:

Measurements:	1682
Parameter:	770
Redundancy:	912
Standard deviation (m0):	2.2152
Net points:	273
Conditions:	0
Scale factor:	26.09 ± 0.79

In einem zweiten Schritt muss im Bereich der U-Bahn-Stationen das Grundlagentznetz verdichtet werden, um eine ausreichende Anzahl an Referenzpunkten für die Bauvermessung und Deformationsmessung zu haben. Als Punktstabilisierung für die ca. 20–40 zusätzlichen Punkte pro Station oder Schacht verwendet man zweckmäßigerweise Bireflex-Targets (Abb. 13) oder Mini-Prismen (Abb. 14). Man kann sie besonders leicht auf Mauern, Wänden, Bohrpfehlen, Bohrträgern etc. befestigen, um sie als Referenzpunkte für die freie Stationierung zu nutzen. Eingemessen und berechnet werden die lokalen Netze basierend auf dem Grundlagentznetz (vermittelnde Netzausgleichung).

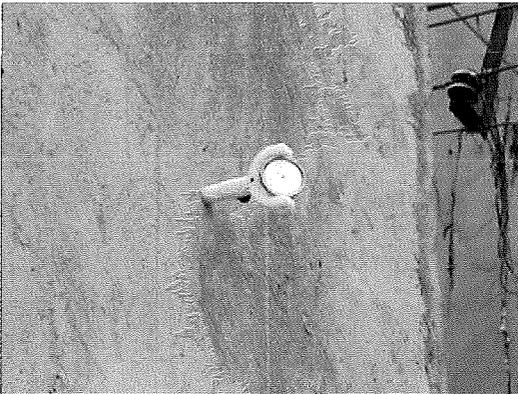


Abb. 13: Bireflex-Target

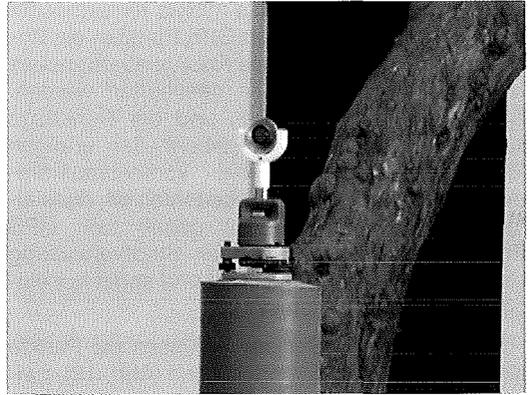


Abb. 14: Prismen-Target

rig. Grund dafür sind die hohe Bevölkerungs- und Verkehrsdichte und Refraktionseinflüsse wegen des extremen Klimas. Letztere führt zum Verlegen der Messzeiten in den frühen Morgen. Das verursacht bei Digitalnivellieren Probleme bei der Strichcode-Ablesung aufgrund mangelnder Beleuchtung (schlechter Kontrast) und hat einen merkbaren Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse.



Abb. 15: Präzisionsnivelements MC1B

Für die Höhenübertragung von vom Bauherrn übergebenen Höhenmarken an der nördlichen und südlichen Projektsgrenze hin zu den Grundlagentznetzpunkten bzw. zu den Festpunkten im Stationsbereich müssen Präzisionsnivelements durchgeführt werden (Abb. 15). Die Anlage der Nivelementzüge erfolgt schleifenweise. Sämtliche Messungen erfolgen mit Digitalnivellieren Leica und Sokkia. Die Messungen sind wie auch die trigonometrischen Netzmessungen schwie-

2.5. Lage- und Höhenpläne (Topographical Survey)

Als Grundlage für die Planung des Projektes ist die Durchführung eines Detailed Topographical Surveys der gesamten Projekttrasse und Nutzungsflächen (ca. 140 ha) notwendig. Die von lokalen Subunternehmern durchgeführten Arbeiten müssen entsprechend organisiert, beaufsichtigt und kontrolliert werden, um vermessungstechnisch einen Anschluss der Pläne an das Festpunktfeld des Bauloses und eine methodisch richtige Durchführung der Vermessungsarbeiten des Subunternehmers zu gewähr-

leisten. Die Endprodukte (Plots, digitale Lage- und Höhenpläne) müssen vor der Freigabe zur Verwendung in der Planung auf die Einhaltung vertraglich vorgeschriebener Normen und allgemein gültiger technischer Richtlinien überprüft werden.

2.6. Absteckarbeiten Obertag für den Stationsbau und die offene Tunnelbauweise

Absteckarbeiten dienen zur praktischen Realisierung der Design-Koordinaten der zu bauenden Strukturen. Die Übertragung in die Natur erfolgt im Regelfall (1) durch Aufstellung des Tachymeters über einem koordinativ bekannten Punkt und Orientierung an zweckmäßigerweise 2–4 Referenzpunkten oder (2) durch die Methode der freien Stationierung, wobei das Tachymeter beliebig aufgestellt wird und durch Richtungs- und Distanzmessung zu 4–6 Referenzpunkten über einen vermittelnden Ausgleich die Stationskoordinaten und die Orientierungsunbekannte berechnet werden. Danach werden die Punkte meist direkt koordinativ abgesteckt oder es werden Punkte auf Achsen eingefluchtet (Reference Line Methode). Höhenangaben erfolgen teils mit Totalstation, teils nivellistisch mit Kompensatornivellieren. Die Vermarkung erfolgt den lokalen Gegebenheiten entsprechend mit Pflöcken, Steck-eisen, Stahlnägeln oder Farbmarken.

Für die Stationsbauten und die offene Tunnelbauweise sind im Wesentlichen folgende Arbeiten notwendig:

- Direkte koordinative Absteckung von Bohrpfehlern und Bohrträgern
- Absteckung der Achsen und Schalungen von Leitwänden
- Absteckung der Achsen und Panelgrenzen von Schlitzwänden
- Betonabsteckungen
- Höhenangaben



Abb. 16: Absteckungsarbeiten MC1B

Abgesteckt werden die Hauptpunkte der geometrisch zu realisierenden Struktur (z.B. Zentrum, Mittelpunkt, Achspunkte, Eckpunkte). Zwischen- und Detailpunkte müssen von Polieren und Schichtingenieuren mit einfachen Hilfsmitteln (Maßband, Theodolit, Baunivellier) hergestellt werden (Abb. 16).

Eine entsprechende Dokumentation und Archivierung der Absteckarbeiten ist notwendig, um Sachverhalte bei eventuell auftretenden Problemen klären zu können.

2.7. Tunnelvermessung, TBM/EPBM Steuerung, NATM Vortriebsvermessung

Hauptziel der Schaffung eines homogenen Grundlagennetzes (siehe Kapitel 2.4) ist letztendlich die technisch und wirtschaftlich bestmögliche Steuerung des Tunnelvortriebs. Dies soll bei maschinellen Vortrieben durch Minimierung der Fehlfahrten der TBM Tunnelbohrmaschinen oder EPBM Erddruckmaschinen erreicht werden, bei der neuen österreichischen Tunnelbauweise (NÖT oder englisch NATM) durch Optimierung der Ausbruchssteuerung und Einhaltung der bestmöglichen Richtung und Sollgeometrie des Vortriebs. Die wesentlichen Arbeitsschritte sind:

- Design und Vermarkung des Vortriebsnetzes in Stationsbox, Schacht und Tunnel
- Durchschlagsfehlerprognose bei den Vortrieben, eventuelle Modellverbesserungen
- Netzmessungen während des Vortriebs
- TBM/EPBM-Steuerung
- NATM Vortriebssteuerung
- Absteckungen und Höhenangaben
- As-Built Vermessungen von Schlitzwänden, Schächten und Tunnels (Profilkontrollen)

Vortriebsnetz TBM: Das Design des Vortriebspolygons oder -netzes wird aufgrund der Vortriebsmethode gewählt. Hat man maschinellen Vortrieb mit kleinen Profildurchmessern wie im U-Bahn-Bau, so wird man zweckmäßigerweise aufgrund der Sichtbarkeitsbeschränkungen durch die TBM bzw. durch das in der Mitte des Tunnels laufende Transportgleis für Tübbinge und Abraumaterial ein fliegendes Polygon wählen, das mit Konsolen an der Tunnelwand zu stabilisieren ist. Es muss zur Reduktion von systematischen Refraktionseinflüssen alternierend gleichabständig auf der linken und rechten Seite des Tunnels angebracht werden (Zick-Zack). Die Punktabstände in Längsrichtung sollten refraktionsbedingt nicht größer sein als 50–70m. Bei Nichterreichen der geforderten Durchschlagsgenauigkeit kann man sich mit einem zweiten Polygonzug helfen, der jeweils auf der

gegenüberliegenden Seite des ersten stabilisiert wird und damit „gegengleich“ verläuft. Durch Verknüpfung der zwei Züge über gegenüberliegende Konsolen erreicht man bei einem gemeinsamen Ausgleich ca. 30% Genauigkeitsteigerung für den Durchschlagspunkt. Zusätzlich lassen sich speziell bei kurzen Basen in den Stationsboxen oder Schächten Kreiselmessungen zur direkten Bestimmung des Azimuts in den Polygonpunkten einsetzen.

Vortriebsnetz NATM: Bei NATM-Vortrieben wählt man frei stationierte zwangszentrierte Netze mit Aufstellung in der Tunnelmitte und Verknüpfung über Vermessungsmesspunkte (Targets) als „identische Punkte“ zwischen zwei Aufstellungen. Die Deformationsmessquerschnitte werden im Allgemeinen in regelmäßigen Abständen symmetrisch im Tunnelprofil angeordnet. Daher werden gleichartige systematische Fehler bei Netzmessungen durch die Messanordnung eliminiert. Die Abstände zwischen zwei Aufstellungen sollten refraktionsbedingt im Bereich 50–80m liegen. Man kann im Bedarfsfall Kreiselmessungen oder zusätzliche Ablotungen über bestehende oder zu schaffende Bohrungen oder Schächte entlang des Vortriebs durchführen, um die Durchschlagsgenauigkeit zu steigern.

Durchschlagsfehlerprognosen und Modellverbesserungen: Zur Beurteilung, ob geforderte Durchschlagsgenauigkeiten eingehalten werden können, kann die relative Fehlerellipse der Nullstrecke im fiktiven Tunneldurchschlagspunkt in einer A-Priori-Ausgleichung betrachtet werden. Je nach Ansatz beurteilt man als Prüfgröße den Konfidenzbereich oder den mittleren Fehler. Die Parameter dieser Prognose müssen den tatsächlichen Verhältnissen bestmöglich angepasst werden. Sie resultieren unter anderem aus der Ausgangsgeometrie der Stationen bzw. Portalbauwerke und Tunnelröhren, dem Vortriebsnetz-Design, aus Refraktionseinflüssen, baubetrieblichen Faktoren, aus den Genauigkeiten der eingesetzten Instrumente, aus der Messanordnung sowie aus Vergleichsparametern von bereits durchgeführten Netzmessungen und -ausgleichen vergangener Projekte. Bei Nichterreichen der Sollgenauigkeiten müssen Modellverbesserungen durch Änderung der Netzanordnung oder der verwendeten Instrumente oder die Einbindung zusätzlicher Verfahren (z.B. Kreiselmessungen, Ablotungen) in Betracht gezogen werden.

Netzmessungen während des Vortriebs: Da während der Tunnelvortriebsarbeiten die Koordinaten des Vortriebspolygons zur bestmöglichen Vortriebssteuerung in regelmäßigen Abständen

verbessert werden müssen, kann nicht auf eine durchgehende Netzmessung zum Durchschlagszeitpunkt gewartet werden. Vielmehr werden die Vortriebsnetze, der Vortriebsleistung angepasst, etappenweise gemessen und, unter Annahme des Abklingens der Deformationen in den hinteren, d.h. von der Ortsbrust entfernten Bereichen, blockweise ausgeglichen und aneinandergehängt. Die letzte Netzmessung beim Durchschlag liefert dann aufbauend auf die bisherigen Blöcke den Durchschlagsfehler.

TBM / EPBM Steuerung: Das Einsetzen von TBM oder EPBM Maschinen ist vom vermessungstechnischen Standpunkt her als gleichwertig bezüglich der Anforderungen an das Maschinenleitsystem zu sehen. Dieses besteht im Wesentlichen aus den Komponenten motorisierter Laser-Theodolit mit Selbstanzielungsfunktion (Autotracking), Steuer-PC mit Software, Interfaceboxen zum Tachymeter und zu TBM-Komponenten, Target oder Targetsystem im Maschinenbereich und Target für die Rückvisur (Reference Target, Abb. 17).

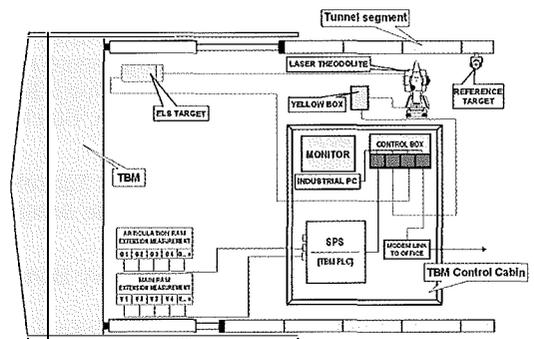


Abb. 17: Herrenknecht TBM mit VMT SLS-T Guidance System (schematisch)

Das Steuerleitsystem arbeitet nach dem Prinzip eines fliegenden Polygonzugs: von einer bekannten Theodolitstation wird mit der Orientierung aus Rückvisur zum Reference Target der Laserstrahl auf die Sollposition an der Stationierung des ELS Targets gestellt. Dort wird die Solllage des Lasers detektiert und mit der Istlage des Targetzentrums verglichen. Das ergibt die aktuellen Ablagen der TBM Fahrt. Die aktuelle Stationierung des ELS Targets wird über Distanzmessung zum Reference Target und danach zum ELS Target ermittelt. Die Theodolitstation und das Reference Target werden vom aktuellen Vortriebspolygon aus eingemessen. Softwareseitig wird eine automatisierte Umsetzung der Totalstation auf die nächste Konsole nach einer gewissen Fahrstrecke unterstützt. Messungen

der Längs- und Querneigung (Pitch und Roll) an Inklinometern im Main Body der TBM geben zusätzliche Informationen zur Verbesserung der TBM Istlage. Automatische Messungen der Pressenausfahrungen (Jack Extensions) und manuelle oder automatische Messungen der Schwanzluft (Tailskin Clearance), d.h. des Abstands des Schildschwanzblechs zu den letzten eingebauten Segmenten, liefern Zusatzinformationen zur Schildlage und zur Vorausberechnung der weiteren Ringbaufolge.

NATM Vortriebssteuerung: Bei Spreng-, Meißel- oder Baggervortrieb nach der NÖT Methode oder bei Schachtabteufungen ist aufgrund der Kosteneffizienz eine geometrisch möglichst genaue und automatisierte Steuerung der Ausbruchs-, Spritzbeton- und Innenbetonarbeiten notwendig. Dazu werden im Regelfall Motorlaser-Systeme, konventionelle Richtlaser und Pendel eingesetzt. Bei Bedarf müssen zusätzliche Absteckarbeiten vom Baustellenvermesser durchgeführt werden.

Mittels Motorlaser-Systemen kann die Vortriebsmannschaft durch Eingabe des Tunnelmeters (Stationierungsmaß in Vortriebsrichtung) und durch Auswahl des entsprechenden Regelprofiltyps am Touchscreen des Tunnel-PCs diskrete Punkte durch den Laser-Theodolit (Abb. 18) anzeigen lassen. Diese Punkte, die im Wesentlichen bestimmte Quer- und Höhenablagen an den eingegebenen Stationierungen repräsentieren, werden von den Vortriebsmannschaften als geometrische Bezugspunkte für weitere Arbeitsschritte wie z.B. Bogenstellen genutzt. Im Steuer-PC (Abb. 19) ist dafür die Projektgeometrie (Achsen, Profilgeometrien) gespeichert. Der Laser-Theodolit wird durch Rückvisur zu mehreren Reference Targets orientiert.

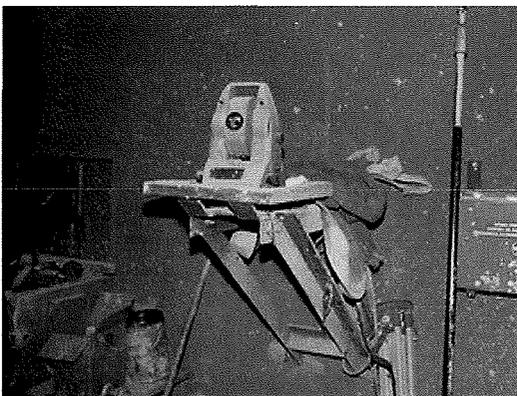


Abb. 18: Laser-Theodolit

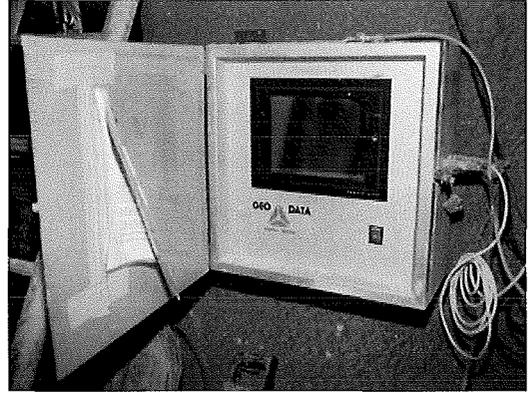


Abb. 19: Steuer-PC für Motorlaser

Richtlaser realisieren räumlich definierte 3-dimensionale Geraden, von denen es Längs-, Quer- und Höhenablagen zu bestimmten Bezugspunkten meist in Form von Listen gibt.

Pendel werden bevorzugt bei Abteufungen von Schächten großer Tiefe und bei einfachen Vortrieben mit niedrigen Genauigkeitsanforderungen eingesetzt. Bei Schachtabteufungen werden zweckmäßigerweise regelmäßig verteilte Punkte nahe der Schachtaußenschale abgelotet (Abb. 20, Abb. 21). Bei einfachen Vortrieben wird die Tunnelachse durch in den Tunnelfirsten aufgehängte Pendel realisiert. Die Übertragung der Tunnelachse auf die jeweilige Ortsbrust erfolgt durch optisches Durchfluchten.

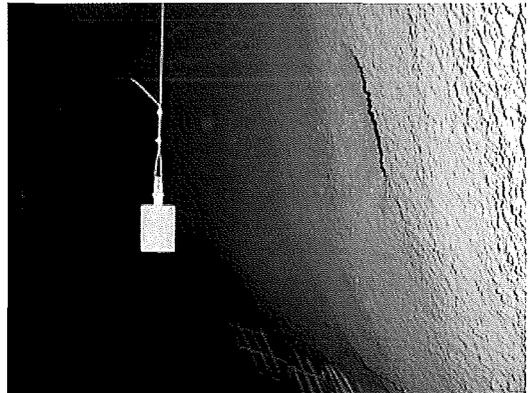


Abb. 20: Schachtabteufung: Pendelgewichte

Absteckungen und Höhenangaben: Diese erfolgen baubegleitend während des Vortriebs und in großem Ausmaß während der danach folgenden Arbeiten für die Bewehrung und für den Innenbeton (Schalungs- bzw. Schalwagenabsteckungen). Die Koordinatenübertragung erfolgt wie in Kapitel 2.6 durch Aufstellung über einem

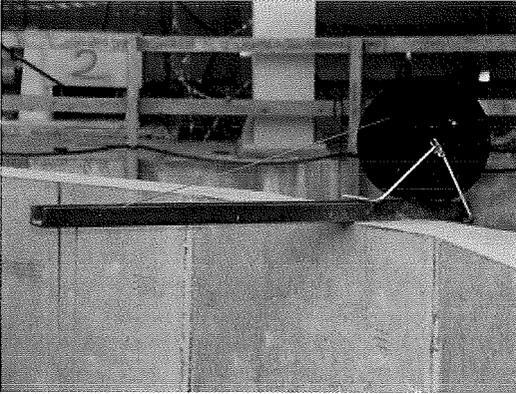


Abb. 21: Schachtabteufung: Pendelaufhängung

koordinativ bekannten Punkt oder durch die Methode der freien Stationierung. Zu beachten ist, dass die Anzahl der verwendeten Festpunkte untertage wesentlich größer sein muss, um die vermehrt auftretenden Störfaktoren während der Messungen im Tunnel in den Griff zu bekommen. Außerdem müssen bei der Auswahl der Festpunkte vermehrt symmetrische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Höhenangaben erfolgen meist mit Totalstation, nivellitische Höhenübertragung ist weniger häufig. Die Vermarkung erfolgt den lokalen Gegebenheiten entsprechend meist mit Stahlnägeln, Steckseisen oder Farbmarken.

As Built Checks (Profilkontrollen): Zur Kontrolle der Einhaltung der Sollgeometrie erfolgen bereits während des Vortriebs, aber auch später baubegleitend bis zur Fertigstellung der Innenschale, Profilkontrollen der einzelnen Ausbaustufen (Ausbruch, Spritzbeton, Bewehrung, Innenschale, ev. Nischen). Dabei werden Punkte auf der zu kontrollierenden Struktur bzw. Oberfläche in ausreichender Anzahl und mit entsprechend geometrischer Verteilung aufgemessen. Die Vi-

sualisierung der erreichten Baugenauigkeiten kann man einerseits tabellarisch, andererseits grafisch durchführen (Abb. 22).

Zur Erläuterung: die blaue Linie stellt das einzuhaltende Sollprofil dar. Das schwarz strichlierte Kreuz repräsentiert die Tunnelachse. Sie entsteht aus der geometrisch definierten Streckenachse (rotes Kreuz mit Kreis) durch Anbringen der Quer- und Höhenablagen, welche wiederum aus den Querneigungen des Profils bedingt durch Fahrdynamik und -geschwindigkeit resultieren. Die tatsächlich aufgenommenen Punkte sind als grüne oder rote Kreise mit dem Über- oder Untermaß in Zentimetern dargestellt (grün: Überprofil, rot: Unterprofil). Im unteren Teil sieht man eine Grundrissdarstellung mit der Lage der aufgenommenen Punkte bezüglich der Streckenachse und der mittleren Stationierung.

2.8. Segmentfertigung

Die zum Einbau in die Tunnel verwendeten Tübbinge werden im Fertigteilwerk Nangloi an der Peripherie Delhis erzeugt. Das Werk arbeitet völlig autark, d.h. der gesamte Fertigungsprozess mit Errichtung und Nutzung des dazugehörigen Betonwerks, Herstellung der Bewehrungskörbe, Betonier- und Abkühlungsvorgang, Qualitätskontrolle, Lagerhaltung und Auslieferung erfolgt direkt vor Ort.

Für den Aufbau der Fabrik und der Fertigungsanlagen müssen umfangreiche Vermessungsarbeiten wie z.B. Topographical Survey, Absteckungen und As Built Checks durchgeführt werden.

Während der Produktion werden pro einzubauenen Ring 5+1 verschiedene Segmente hergestellt (5 Segmente und 1 Keystone, Abb. 23), das gibt multipliziert mit den Tunnellängen

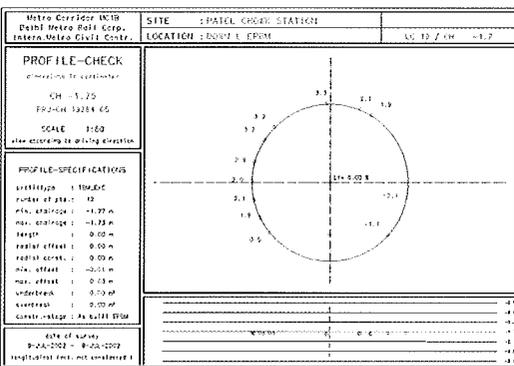


Abb. 22: Profilkontrollen-Plot

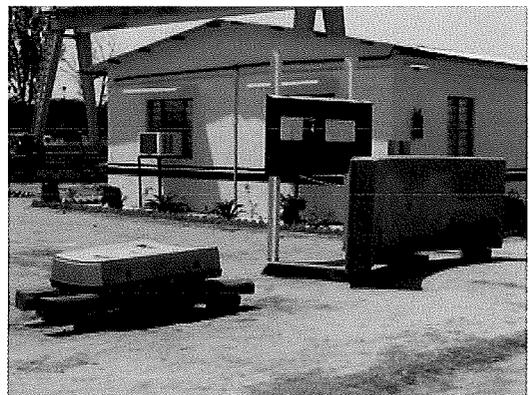


Abb. 23: Keystone und Segment

in Summe ca. 45.000 Tübbinge. Diese werden in Spezialformen (sog. Moules, Abb. 24) gepresst. Die regelmäßige geometrische Kontrolle der Schalungen ist ein wesentlicher Bestandteil der geodätischen Arbeiten vor Ort.

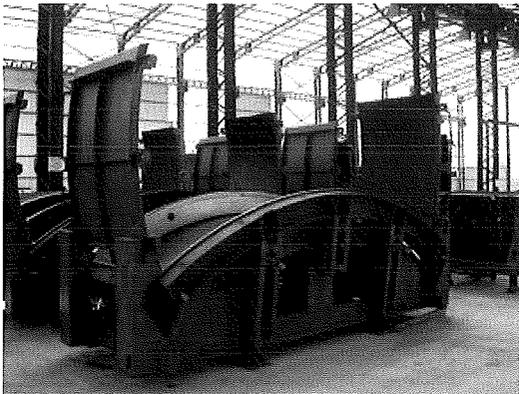


Abb. 24: Spezialschalungen für Tübbinge

Weiters muss in regelmäßigen Abständen die Geometrie der aus den 5+1 Segmenten zusammengesetzten ganzen Ringe erfolgen. Praktisch kann das durch den Aufbau eines „lotrechten“ Tunnels erfolgen, in dessen Inneren man ähnlich wie in einem Schacht eine Profilkontrolle mit einer Totalstation durchführt (Abb. 25).

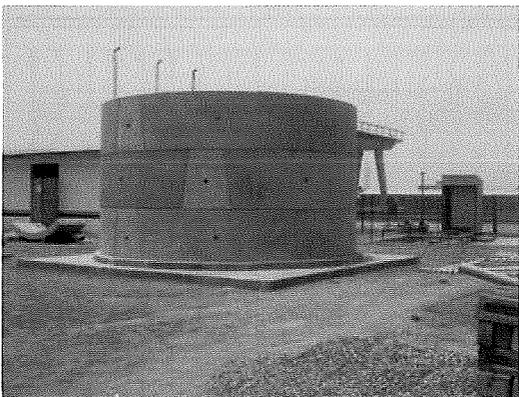


Abb. 25: Ring-Test Nangloi

2.9. Deformationsmessung, geotechnische Einbauten

In der Zusammenarbeit zwischen Geotechnical Manager und Chief Surveyor wird das von den Designern erstellte geotechnische Messkonzept zur messtechnischen Überwachung der Stationsboxen, Tunnelvortriebe und umliegenden Objekte (Häuser, Straßen, Brücken etc.) umgesetzt.

Im Vorfeld des Projektes (Machbarkeitsstudie) und bis hin zur Erstellung des geotechnischen Konzeptes werden stichprobenartig geologische und geophysikalische Voruntersuchungen durchgeführt. Das Resultat ist eine geologische Kartierung des Projektgebiets.

Während der Bauarbeiten müssen zur Gewährleistung der Sicherheit des Baubetriebs und der angrenzenden Objekte weitere, umfangreiche Kontrollen durchgeführt werden. Dabei gibt es im Wesentlichen 3 Komponenten:

- Baubegleitende geologische Kartierungen
- Optische Verformungsmessungen
- Geotechnische Messungen

Baubegleitende geologische Kartierungen:

Sie dienen der Erhöhung des geologischen Informationsgehalts entlang des Bauwerks bzw. in den Tunnels. Schichtungen können durch das Abgraben bzw. den Ausbruch direkt untersucht und kartiert werden. Die Genauigkeit der räumlichen Zuordnung der Lage der Schichtgrenzen oder Klüfte wird verbessert. Die Bodenparameter können bis zu einem gewissen Grad direkt festgestellt werden. Bei groben Abweichungen zur Prognose aus den Vorerkundungen muss eine Modellverbesserung in Betracht gezogen werden.

Optische Verformungsmessungen: Die optischen Verformungsmessungen machen den Hauptanteil der Überwachungsmessungen aus. Sie werden im Allgemeinen als optische 3-dimensionale Verformungsmessung mit Totalstation und als Präzisionsnivellements mit Digitalnivelellern durchgeführt.

Im ersten Fall wird die Totalstation frei stationiert. Dabei wird besonders auf die Geometrie der Aufnahmesituation (ausreichende Anzahl von Festpunkten, Schnittgüte des Stahlenbüschels, Entfernungen $\geq 0m$) und auf Symmetrieeffekte Rücksicht genommen (Abb. 26). Im Projekt MC1B werden ca. 300 3d-Punkte pro Woche beobachtet.

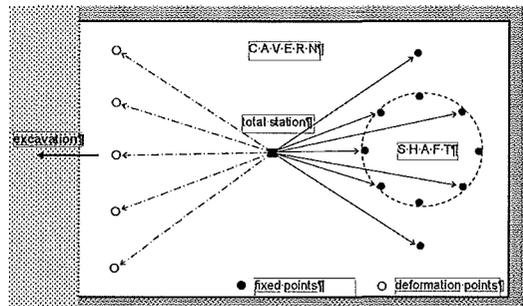


Abb. 26: Beispiel einer Messanordnung für 3d Monitoring

Im zweiten Fall werden Präzisionsnivelements als geschlossene Schleifen von einem zuvor überprüften Höhenfixpunkt aus gemessen. Pro Tag werden auf den 6 Stationen und in den umgebenden Objekten bis zu 2000 Punkte abniveellert.

Die Messfrequenz und -häufigkeit der Deformationspunkte wird vom zuständigen geotechnischen Ingenieur festgelegt. Faktoren, die diese Entscheidung beeinflussen, sind: Geologie, Vortriebs- bzw. Aushubmethode, Vortriebs- bzw. Aushubgeschwindigkeit, Verformungsverhalten der Punkte (Zunahme, Abnahme), räumliche Distanz der Punkte vom Ausbruch oder Aushub, Bebauung und Qualität der Bauwerke usw. Es wird unterschieden zwischen langperiodischen Messungen von Bereichen fernab von Bauaktivität, und kurzperiodischen, so genannten „täglichen Messungen“ im unmittelbaren Deformationsbereich. Während Langzeitmessungen Intervalle von 1 Woche bis 1 Monat haben, können tägliche Messungen bei Gefahr im Verzug durchaus 2–3-mal pro Tag oder öfter durchgeführt werden.

Als Resultat der Messungen erhält man zeitabhängige Verformungskurven (Abb. 27) und davon abgeleitete Größen (Konvergenzen, Verfor-

mungsgeschwindigkeiten, Querschnittsbezogene Darstellungen etc.). Sie müssen vom verantwortlichen Vermessungsingenieur auf ihre Plausibilität vom messtechnischen Standpunkt her analysiert werden. Eine weiterführende Interpretation wird vom zuständigen Geotechniker durchgeführt, der bei Bedarf auch zusätzliche Maßnahmen anordnen kann.

Die teilweise sehr kurzfristige Vorgabe der Messfrequenzen und -häufigkeiten stellt für die Organisation des Monitoring und damit in weiterer Folge kostenseitig ein massives Problem dar. Im Vorfeld des Projektes getroffene Annahmen werden oft um ein Vielfaches überschritten. Personal ist nicht oder nur unzureichend verfügbar (quantitativ und qualitativ). Der Einsatz von automatischen Überwachungssystemen ist nur bedingt machbar, einerseits aufgrund mangelnder Infrastruktur (Stromversorgung, Sicherheit etc.), andererseits aufgrund des extrem niedrigen Lohnniveaus in entsprechenden Ländern. Dies reduziert die wirtschaftliche Attraktivität und Konkurrenzfähigkeit solcher Systeme gegenüber manuell durchgeführten Messungen eklatant.

Ein weiterer wichtiger Faktor beim Monitoring ist die sofortige Analyse der Messdaten und de-

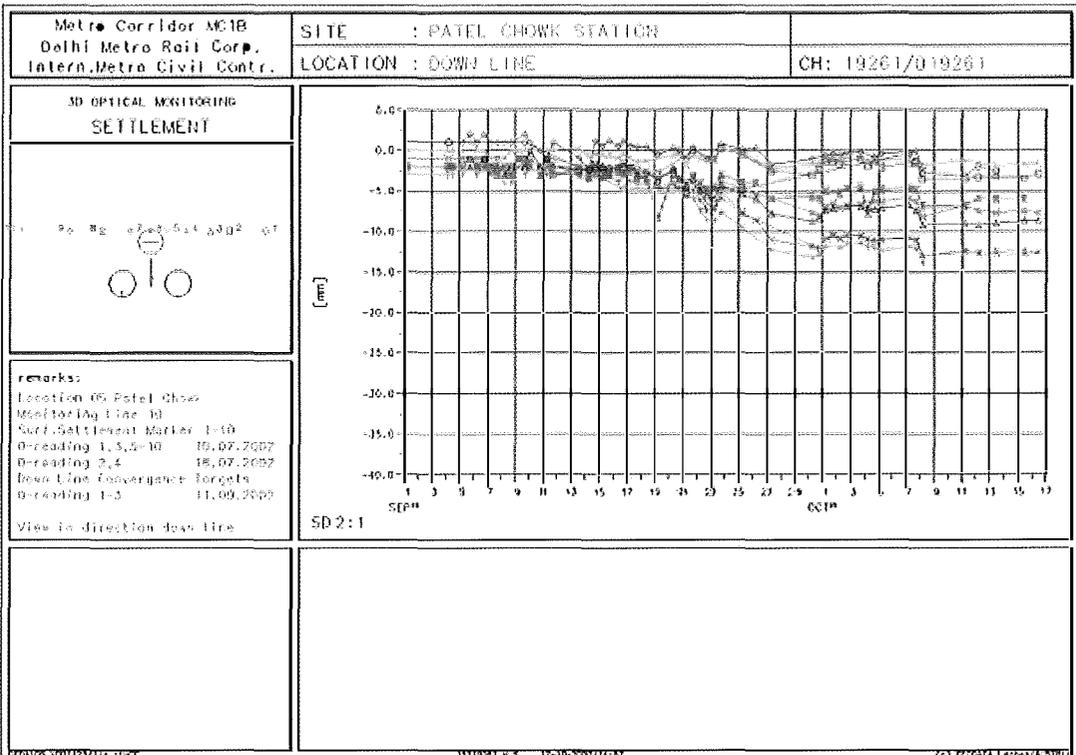


Abb. 27: Beispiel eines Graphen für eine 3d-Meßkette

ren zeitgerechte Übermittlung an den Geotechniker. Diese muss bei Bedarf in Echtzeit erfolgen. Auf die Einrichtung einer entsprechenden Datenübertragungsmöglichkeit ist zu achten. Rahmenbedingungen, wie sie in Entwicklungsländern oft herrschen, schränken diese Möglichkeiten und damit auch das entsprechende Reaktionsvermögen der zuständigen Stellen empfindlich ein (Verfügbarkeit von Elektrizität, Internet etc.).

Geotechnische Messungen: Geotechnische Einbauten und Messungen sind ein wesentlicher Bestandteil des geotechnischen Messkonzeptes. Mit ihnen werden zusätzliche Informationen geliefert, die mit der optischen Verformungsmessung nicht erfasst werden können. Außerdem können charakteristische Parameter des Gebirges oder Bodens ermittelt werden.

Beispiele für geotechnische Instrumente sind Extensometer, Inklinometer, Gebirgsdruckdosen, Dehnungsgeber, Tilt Meter, Crack Meter, Magnet-Extensometer, direkte und indirekte Pendel, Strain Meter, usw. Sie liefern je nach Konzeptionierung und Verwendungszweck unterschiedliche Daten, welche vom zuständigen Geotechniker zusammen mit den Daten aus der optischen Verformungsmessung analysiert und interpretiert werden müssen.

3. Ausblick

In diesem Artikel wurde aufgezeigt, wie ein internationales Infrastruktur-Großprojekt ingenieurgeodätisch gemanagt werden kann. Die methodische Konzeptionierung des Projektes mit allen seinen Arbeitsschritten ist die zentrale Voraussetzung für den Erfolg. In ihr liegt die zielführende und effiziente Organisation der Arbeitsabläufe, des Personals und der Messmittel begründet.

Das exponentielle Anwachsen der organisatorischen und logistischen Anforderungen mit der Projektgröße und das Fehlen vergleichbarer Projekte als Vorlage erschweren die Erstellung und Umsetzung eines solchen Konzepts. Außerdem muss eine gewisse Flexibilität gegeben sein, um die teils extremen Rahmenbedingungen mit einbinden zu können. Zu große Abweichungen vom Konzept sind jedoch technisch und organisatorisch und in weiterer Folge wirtschaftlich nicht tragbar.

Zielstrebigkeit und Konsequenz bei der Durchführung können auch unter erschwerten Umständen, wie sie etwa im Schwellenland Indien herrschen, zum Erfolg führen. Mittlerweile wurden beim Projekt MC1B die ersten Tunnel durchgeschlagen. In weiterer Folge ist zu hoffen, dass die noch ausstehenden Bauwerke den Anforderungen entsprechend fertig gestellt werden, um der überbevölkerten und unter extremen Verkehrsverhältnissen leidenden Stadt Delhi hier eine Erleichterung zu schaffen!

Links:

www.delhimetrorail.com
www.metropla.net/as/delh/delhi.htm
www.indiaonline.com/infr/spfe/delh.html
www.mjconstruct.com/tunnel/archive/2002/august/delhmetro0802.pdf
www.geodata.at
www.herrenknecht.de
www.vmt-gmbh.de

Anschrift der Autoren:

Dipl. Ing. Albrecht Prader: Geodata GmbH, Leoben, Chief Surveyor IMCC, Contract MC1B, 2001-2002, Schönbrunner Strasse 236, 1120 Wien. email: prader@geodata.at
Gerald Muhr: Geodata GmbH, Leoben, Surveyor Tunnel IMCC, Contract MC1B, 2001-2002
Monsbergergasse 8, 8010 Graz. email: muhr@geodata.at