

Licht am Ende des Tunnels

von Norbert Benecke, Volker Schäpe und Volker Schultheiß

Weltweit werden immer mehr und immer längere Tunnel gebaut. Ist zurzeit der Gotthard Basistunnel in der Schweiz mit 57km Länge noch der längste Tunnel der Welt, so könnte er schon in den kommenden Jahrzehnten durch den geplanten Unterseetunnel von 123km Länge zwischen den chinesischen Städten Dalian und Yantai abgelöst werden. Jedes Tunnelprojekt ist eine millionenschwere Investition, und die Anforderungen an die Genauigkeit der Tunnelvermessung steigen kontinuierlich. Wo Züge mit Geschwindigkeiten von bis zu 300km/h fahren sollen, muss die geplante Tunnelachse hochpräzise eingehalten werden; und bei Tunnelauffahrungen im Grundwasser wie dem Elbtunnel in Hamburg muss die riesige Tunnelbohrmaschine am Ende zentimetergenau in ein Ausfahrbauteil gefahren werden. Schon minimalste Richtungsfehler in der Auffahrung können bei solchen kritischen Projekten zu erheblichen technischen Problemen und finanziellen Risiken führen.

Damit der Durchschlag präzise am vorgegeben Zielpunkt erfolgt kommt dem Tunnelvermesser eine entscheidende Rolle zu. Die Herausforderung ist es, den Tunnel in die richtige Richtung zu steuern. Die Richtungsübertragung erfolgt mittels langgestreckter Polygonzüge, die nur am offenen Tunnelportal an ein bekanntes Festpunktfeld angeschlossen werden können. Zur Vortriebsseite hin gibt es dagegen keinerlei Kontrollmöglichkeit. Mit zunehmender Tunnellänge ergeben sich aus dieser Konstellation erhebliche Risiken und Unsicherheiten für die Richtigkeit der gemessenen Tunnelrichtung.

Vermessung unter schwierigen Bedingungen

In vielen Tunneln erfolgt der Einstieg in die Tunnelröhre über Startschächte. Dort müssen also die Festpunktkoordinaten durch Abloten in das Tunnelniveau übertragen werden. Koordinaten in einem engen Schacht abzuloten birgt immer das Risiko, dass schon ein kleiner, in der Regel nicht vermeidbarer Ablofehler in einem langgestreckten, sich anschließenden Polygonzug zu erheblichen Querabweichungen führen kann. Im Tunnel selbst führen dann die Umge-



bungsbedingungen mit Temperaturunterschieden, Feuchtigkeit und Staub dazu, dass der Zielstrahl bei der Winkelmessung unvermeidbar Refraktions-einflüssen unterliegt. Das heißt, der Zielstrahl wird abgelenkt und ist nicht sicher bestimmbar, sodass daraus resultierende Fehler unvermeidbar sind. Dies gilt umso mehr, als in den meisten Tunneln die Vermessungspunkte aus logistischen Gründen nicht in der Tunnelmitte angeordnet werden können, sondern nur an den Tunnelwänden. Wandnahes Zielen erhöht das Refraktionsrisiko weiter. Auch Tunnelverläufe mit vielen und engen Kurven verlangen höchste Genauigkeitsanforderungen.

Die Fehler aus Ablotung und Refraktion können sich mit zunehmender Tunnellänge auf Werte im Mehrmeterbereich addieren, so dass dann ein Durchschlag an der gewünschten Position nicht mehr erreicht werden kann – erhebliche Mehraufwände sind oft die Folge.

Ein «Spielzeug» als Lösung

Früher haben Bergleute und Tunnelbauer das beschriebene Problem durch den Einsatz von Kom-

passen gelöst. In heutigen modernen Tunneln ist das aber nicht möglich, da in erheblichem Umfang Eisen und Stahl eingesetzt werden. Seit Beginn der 1950er Jahre hat es erste Entwicklungen gegeben, das Problem durch den Einsatz sogenannter Kreisel (*engl. gyroscope*) zu lösen.

Kreisel kennt fast jeder aus seiner Kindheit – wer hat keinen «Brummkreisel» besessen? Das zugrunde liegende physikalische Prinzip der Präzession machen wir uns immer wieder im Alltag zunutze, etwa wenn wir beim Fahrradfahren die Hände von der Lenkstange nehmen und das Rad wie von Zauberhand geführt weiterhin geradeaus fährt.

Die Präzession ist die Richtungsänderung der Achse eines rotierenden Körpers (eines Kreisels), wenn äußere Kräfte ein Drehmoment auf ihn ausüben. Ist ein solcher Kreisel nun in einem Messgerät eingebaut, das für einen bestimmten Zeitraum irgendwo auf der Erde positioniert wird, dann wirkt während dieser Zeit die Schwerkraft der Erde als externe Kraft auf diesen Kreisel. Der Kreisel versucht dieser externen Kraft entgegen zu wirken und in seiner



DMT und Leica Geosystems – 20 Jahre enge Partnerschaft

Damit der Gyromat der DMT funktioniert, benötigt er eine feste Verbindung mit einem Hochleistungstheodolit. Über den Theodolit erfolgt nach erfolgter Kreiselmessung im Gyromat die Richtungsübertragung auf die Vermessungspunkte im Tunnelnetz. Die DMT hat sich schon vor über 20 Jahren zu einer engen Kooperation mit Leica Geosystems entschieden. Die jeweils aktuellen Leica Geosystems Instrumente passen perfekt zum DMT-Gyromat, sie sind zuverlässig und robust für den Einsatz unter den schwierigen Bedingungen im Tunnel. Der Datentransfer funktioniert einwandfrei und durch die hervorragende partnerschaftliche Zusammenarbeit der Entwicklungsingenieure von Leica Geosystems und DMT sind auch Modellwechsel leicht zu handhaben.

Die Möglichkeit der individuellen Bestückung von Theodoliten oder Totalstationen erlaubt einen universellen Einsatz für geodätische Anwendungen oder Steuerungsaufgaben. Der Gyromat 5000 ist kompatibel zu den hochgenauen Totalstationen von Leica Geosystems, darunter natürlich die aktuellsten Modelle Leica Viva TS11 und TS15, Leica TS30, TM30 und TM6100A und die neue Nova TS50 und MS50 MultiStation.

ursprünglichen Position zu verharren. Gelingt es nun, diese Werte zu messen, dann lässt sich mit einem solchen Kreiselmessung die Richtung zur Erdachse (zu kartografisch Nord) bestimmen.

Die DMT (Deutsche Montan Technologie) entwickelte eine der ersten hochpräzisen bandgehängten Vermessungskreiseln im Auftrag des deutschen Steinkohlebergbaus. Der Gyromat wurde später für verschiedene Aufgabenstellungen, z.B. für Tunnel- und Schiffsbau, weiterentwickelt. Das aktuelle Modell ist der Gyromat 5000, der mit einer Winkelgenauigkeit von 0,8 mgon (das entspricht einer Bogenabweichung von etwa 1,2 cm bei einem Kilometer Entfernung) der mit Abstand genaueste Vermessungskreiselmessung der Welt ist.

Gyromat im weltweiten Einsatz

Die kreiselgestützte Polygonzugmessung zur Absicherung der Auffahrungsrichtung erlebte ihren Durchbruch bei der Auffahrung des Eurotunnels zwischen England und Frankreich. Beim Durchschlag 1990 konnte bei einer Gesamttunnellänge von 55 km eine Querabweichung von nur 35 cm erreicht werden. Möglich war das nur durch den Einsatz des damaligen Gyromat 2000 mit dem die DMT auf englischer und französischer Seite unabhängige Kontrollmessungen durchführte.

Gyromat im weltweiten Einsatz

Mittlerweile haben die Experten der DMT mehr als 3.500 Kreiselkampagnen weltweit erfolgreich mit

den hochgenauen Gyromaten und Leica Geosystems Totalstationen durchgeführt. Ob beim Teilchenbeschleuniger CERN in Genf, Wasserkraftwerksbauten in Lesotho oder auf Island, bei Basistunnelprojekten am Gotthard, Brenner und im indischen Himalaya, aber auch bei Abwassertunneln in den USA oder aktuell dem weltweit größten Abwasserprojekt Emscher-Umbau im deutschen Ruhrgebiet – überall sind die DMT-Experten mit dem Gyromat und Leica Geosystems Totalstationen dabei, um die Tunnelrichtung unabhängig zu prüfen und – falls nötig – zu korrigieren. Auch beim Bau der Infrastruktur für die olympischen Winterspiele in Sotchi und beim Metrobau in zahlreichen Städten auf allen Erdteilen waren die DMT-Vermesser erfolgreich beteiligt.



■ Kamele beobachten Volker Schultheiß aufmerksam bei Messungen mit dem Gyromat in Abu Dhabi.



© DMT GmbH & Co. KG

DMT-Vermesser Volker Schultheiß: «Durch unsere unabhängige Kontrollmessung geben wir dem Bauherren und der ausführenden Baufirma die Gewissheit, dass der Tunnel genau dort aufgeföhren wird, wo er soll. Mit geringem finanziellem Aufwand sichern wir so ein Millioneninvestment ab. In etwa 70% der Messungen können wir bestätigen, dass sich die Aufföhruung im Rahmen der zulässigen Toleranzen bewegt; allerdings muss auch in rund 30% der Fälle aufgrund unserer Messergebnisse korrigiert werden. Im Extremfall waren das auch schon mehr als drei Meter. Durch solche Korrekturen werden dann erhebliche Mehrkosten vermieden.» ■

Über die Autoren: Alle Autoren sind Mitarbeiter der DMT GmbH & Co. KG in Essen.

Norbert Benecke ist Markscheider und für die Geoleistungen im internationalen Bergbau verantwortlich.

norbert.benecke@dmt-group.com

Volker Schäpe ist Geophysiker und für den weltweiten Vertrieb von Geogeräten verantwortlich.

volker.schaepe@dmt-group.com

Volker Schultheiß ist im internationalen Tunnelbau als Projektleiter und Vertriebsverantwortlicher für Kreiselmessungen tätig.

volker.schultheiss@dmt-group.com



Die DMT GmbH & Co. KG ist ein Unternehmen der TÜV Nord Gruppe und ein international tätiges, unabhängiges Ingenieur- und Consulting-Unternehmen mit Schwerpunkt Rohstofferkundung und Exploration, Bergbau und Kokereitechnik, Bau und Infrastruktur, Produktprüfung und Gebäudesicherheit sowie industrielle Prüf- und Messtechnik. Eine besondere Stärke der DMT ist die Entwicklung innovativer geodätischer, geotechnischer und geophysikalischer Messgeräte für Spezialaufgaben auf Grundlage von eigenen Pra-

xisierungen mit speziellen Kundenanforderungen. Neben den Dienstleistungen im Tunnelbau vertreibt DMT als Leica Geosystems Partner auch die Kombination Gyromat/Leica Geosystems Theodolit an Kunden vor allem aus den Bereichen Tunnelbau, Schiffsbau, Militär und Herstellung faseroptischer Kreisel (hier wird der Gyromat genutzt, um die produzierten Kreisel zu kalibrieren). Der Gyromat wird sowohl von DMT direkt, als auch über das weltweite Leica Geosystems Händlernetzwerk vertrieben.