

Licht am Ende des Tunnels



Bild 1: Mit-Autor Volker Schultheiß im Einsatz mit dem Gyromat 2000 vor dem Südportal des Tunnels in Bodio / Tessin



Bild 2: Der Gyromat 2000 im Tunneleinsatz

Weltweit werden immer mehr und immer längere Tunnel gebaut. Derzeit ist der soeben eröffnete Gotthard Basistunnel in der Schweiz mit 57 km Länge noch der längste Eisenbahntunnel der Welt, so könnte er schon in den kommenden Jahrzehnten durch den geplanten Unterseetunnel von 123 km 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 300 km/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 Ausfahrbauwerk gefahren werden. Schon minimalste Richtungsfehler in der Auffahrung können bei solch 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, die Tunnelbohrmaschine 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 auf das Tunnelniveau übertragen werden. Koordinaten in einem engen Schacht abzuloten birgt immer das Risiko, dass schon ein kleiner, in der Regel nicht vermeidbarer Ablotfehler in einem langgestreckten, sich anschließenden Polygonzug zu erheblichen Querabweichungen führen kann. Im Tunnel selbst führen dann die Umgebungsbedingungen mit Temperaturunterschieden, Feuchtigkeit und Staub dazu, dass der Zielstrahl bei der Winkelmessung unvermeidbar Refraktionseinflüssen unterliegt. Das heißt, der Zielstrahl wird abgelenkt und ist nicht sicher bestimmbar, so dass 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. Wandnahe 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 – erheblicher Mehraufwand ist dann die Folge.

Ein „Spielzeug“ als Lösung

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

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.

Volker Schultheiß, Projektleiter bei der DMT: „Durch unsere unabhängige Kontrollmessung geben wir dem Bauherren und der ausführenden Baufirma die Gewissheit, dass der Tunnel genau dort aufgefahren 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 Auffahrung 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.“

versucht dieser externen Kraft entgegen zu wirken und in seiner ursprünglichen Position zu verharren. Gelingt es nun, diese Werte zu messen, dann lässt sich mit einem solchen Kreisel die Richtung zur Erdachse (zu kartografisch Nord) bestimmen.

Die DMT GmbH & Co. KG (Deutsche Montan Technologie) entwickelte eine der

ersten hochpräzisen bandgehängten Vermessungskreisel 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 Bogenabwei-

chung von etwa 1,2 cm/km) der mit Abstand genaueste Vermessungskreisel der Welt ist.

Im Gotthard-Basistunnel kamen die Modelle Gyromat 2000 (Winkelgenauigkeit 1 mgon) und der Gyromat 3000 (Winkelgenauigkeit 1 mgon) in Verbindung mit einer Leica-Totalstation TM5100A und TCA1800 zum Einsatz. Zwischen den Jahren 2005 und 2010 wurden von der DMT acht große Messkampagnen mit insgesamt ca. 350 Einzelmessungen durchgeführt. Die Kreiselkontrollvermessungen für den Gotthard-Basistunnel wurden im Wechsel von der DMT, der ETH Zürich und von der Bundeswehrhochschule München durchgeführt.

Anmerkung

Überarbeiteter Artikel aus dem Leica Magazin Nr. 71 mit freundlicher Genehmigung der Leica Geosystems GmbH, München

Autoren

Dipl.-Ing. Norbert Benecke
Dipl.-Ing. Volker Schäpe
Volker Schultheiß
DMT GmbH & Co KG
Am Technologiepark 1,45307 Essen
www.dmt-group.com

Ausgewählte Literatur zum Gotthard-Basistunnel (von Dieter Klemp)

- Elmiger et al: *Geodätische Alpen traverse Gotthard*. In *Geodätische-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Nr. 50/1993
- Ebneter, F. und Carosio, A.: *Gut vermessen ist halb gebohrt, Sonderdruck aus „Schweizer Baublatt“*, März 1998, Seite VIII bis XIII.
- Amberg, F. und Röthlisberger, B.: *Vortriebe beim Gotthard-Basistunnel in druckhaftem Gebirge, am Beispiel des Teilabschnittes Faido*. *Bauingenieur* 80, 7-8/2005, S. 356–361.
- Ryf, A.: *Gotthardtunnel: Weltrekord*, *Leica-Reporter* 55, 10/2006
- Zbinden, P.: *Der Zwischenangriff Sedrun*. *VDVmagazin* 5/2006, S. 360–363
- Neuhierl, T.; Wunderlich, T.; Ryf, A.; Ingensand, H.: *Alp Transit Sedrun, Weltpremiere mit inertialer Messtechnik*. *VDVmagazin* 5/2006, S. 364–367
- Deicke, R. und Bräker, F.: *Bau und Vermessung des neuen Gotthard-Basistunnels, Vortrieb von der südlichen Seite*. *VDVmagazin* 3/2007, S. 194–202, mit 27 Literaturhinweisen.
- Völter, U.: *Vermessungsarbeiten für den Einbau der Festen Fahrbahn im Gotthard-Basistunnel*. *Der Eisenbahningenieur* 9/2011, S. 7–12
- Müller, M./Weißenborn, A.: *Zweigniederlassung THYSSEN SCHACHTBAU Schweiz – Rückblick auf 12 Jahre erfolgreiche Arbeit*, *Thyssen Mining Report* 2014/2015, Seite 55–57
- Weise, B.: *Seminarbericht 23.-27.5.2001: Lötschberg- und Gotthard-Basistunnel*, *Der Vermessungsingenieur* 5/2001, S. 404
- Weise, B.: *Seminarbericht 4.-9.5.2005: Gotthard und U-Bahn Turin*, *Der Vermessungsingenieur* 4/2005, S. 365
- Weise, B.: *Seminarbericht 29.10.-1.11.2005: GBT, Faido, Besondere Bau- und Vermessungsaufgaben beim Tunnelbau im druckhaften Gebirge*, *VDVmagazin* 1/2006, S. 77–78
- Schwerpunktheft Geomatik Schweiz, 12/2010 mit 16 Beiträgen zum Gotthard-Basistunnel*
- Simoni, R.: *Gotthard- und Ceneri-Basistunnel: die neue Gotthard-Bahn nimmt Gestalt an*. S. 533
- Weidmann, U.: *AlpTransit: ein europäischer Verkehrsweg durch die Schweizer Alpen*. S. 540
- Ingensand, H.: *Moderne Technologien und Konzepte zur Lösung der messtechnischen Herausforderungen bei AlpTransit*. S. 545
- Stengele, R. und Schättli-Stählin, J.: *Grundlagen- und Hauptkontrollmessung im Gotthard-Basistunnel*. S. 548
- Ebneter, F.: *Die (vermessungstechnischen) Herausforderungen am Anfang des Projektes, als noch alles neu und unbekannt war*. S. 558
- Carosio, A.: *Die Vermessung des längsten Eisenbahntunnels der Welt – die Sicht des Experten des Bauherrn*. S. 563
- Deicke, R.: *Vermessungstechnische Herausforderung beim Bau des Gotthard-Basistunnels aus Sicht des Unternehmers*. S. 568
- Messing, M.: *Steuerung der Tunnelbohrmaschine am Gotthard*. S. 571
- Wieget, A., Marti, U. und Schlatter, A.: *Beiträge der Landesvermessung zum AlpTransit Gotthard-Basistunnel*. S. 575
- Stähli, D., Baumeler, M. und Silbermann, T.: *Vermessung der Bahntechnik im Gotthard-Basistunnel*. S. 582
- Heister, H. und Liebl, W.: *Zur Messunsicherheit von Kreiselmessungen im Gotthard-Basistunnel*, S. 586
- Bättig, U., Bühler, S. und Bänziger, R.: *Vieleseitige Vermessungsarbeiten ausserhalb des Tunnels auf den Aussenanlagen Altdorf-Erstfeld, Amsteg und Faido*. S. 598
- Bürki, B. und Guillaume, S.: *Astrogeodätische Lotabweichungs- und Azimutmessungen für AlpTransit*. S. 620
- Geiger, A. und Schlatter, A.: *Von der Potenzialtheorie zu den Senkungen am Gotthardpass*. S. 628
- Bertges, M.: *Monitoring – Herausforderung angenommen*. S. 640
- Probst, R. und Fesler Isch, D.: *300 Vermesser würdigen langjährige Präzisionsarbeit*. S. 642