

Zentimetergenau durch die Alpen

Franziska Konitzer

■ Beim Bau des Gotthard-Basistunnels half eine Vielzahl geodätischer Messmethoden, sich präzise unter den Alpen hindurch zu navigieren. Sie trugen zum erfolgreichen Durchbruch des längsten Eisenbahntunnels der Welt bei.

Keine Frage, der Gotthard-Basistunnel ist ein Jahrhundertprojekt. Die Zahlen sprechen für sich: 57 Kilometer lang führen zwei parallele Röhren mitten durch die Schweizer Alpen hindurch. Bis zu 2.300 Meter Gebirge türmen sich mit dem Piz Vatgira im Gotthard-Massiv über dem Tunnel, an dessen Bau 2.600 Arbeiter über 17 Jahre lang beschäftigt waren.

Wenn man bei Erstfeld in den Tunnel hineinfährt, erblickt man in Bodio erst nach rund zwanzig Minuten wieder das Tageslicht. Der Zug kann bis auf maximal 250 Kilometer pro Stunde beschleunigen, die Fahrtzeit von Zürich nach Lugano verkürzt sich um 45 Minuten, von Zürich nach Mailand wird ein Reisender künftig nur noch drei statt bisher vier Stunden benötigen – allerdings erst ab 2020, wenn auch der Ceneri-Basistunnel in Betrieb ist.

Während die Eröffnung des Gotthard-Basistunnels bereits am 1. Juni 2016 gefeiert wurde und einige Tage später Volksfeste zu seinen Ehren stattfanden, wird der reguläre Betrieb im Dezember 2016 aufgenommen werden.

Eine Meisterleistung der Bau- und Vermessungsingenieure

Dabei ist der Erfolg des Gotthard-Basistunnels auch jenen Geodäten zu verdanken, die mit ihren Messungen sicherstellten, dass man nicht den Durchschlag verfehlt und aneinander vorbei bohrt. Zwar liegen die Anfangs- und Endpunkte fest, in diesem Fall das Nordportal bei Erstfeld im Kanton Uri und das Südportal bei Bodio im Kanton Tessin. Doch dazwischen liegen eben 57 Kilometer Berg, durch die es sich durchzubohren und durchzusprengen galt.

Aber wie navigiert man sich durch einen Berg? Ein genaues Koordinatennetz ist entscheidend. Dabei ist gerade beim Tunnelbau das Finden der richtigen Richtung eine besondere Herausforderung, da hochgenaue Navigationssysteme wie GPS satellitenbasiert sind und es um den Empfang durch mehrere hundert Meter massiven Fels denkbar schlecht bestellt ist.

Polygonzüge und Vermessungskreisele

Daher kommt zunächst ein Verfahren zum Einsatz, das sich sowohl ober- als auch unterirdisch anwenden lässt: der Polygonzug. Von den beiden Portalen aus sind die Koordinaten aus GPS-Daten hinreichend genau bekannt.



Copyright: © Alp Transit Gotthard AG

Der Bau des Gotthard-Basistunnels hat über 17 Jahre gedauert, 2.600 Arbeiter waren damit beschäftigt – darunter auch einige Geodäten.

Von dort aus kann sich der Polygonzug Schritt für Schritt vorarbeiten. Ein Tachymeter fängt auf einem bekannten Punkt an und vermisst anschließend Winkel und Distanzen millimetergenau zu weiteren Punkten, die im Inneren des Berges liegen.

Allerdings hat das Verfahren seine Tücken, denn es stellt Geodäten vor ein Problem, das über Tage in der Vertikalen auftritt. Durch die unterschiedlichen Luftschichten mit ihren verschiedenen Dichten und Temperaturen werden die Lichtstrahlen des Tachymeters gekrümmt. Während Geodäten diese Krümmung mit Hilfe von Formeln gut im Griff haben, macht unter Tage die Seitenrefraktion dem erfolgreichen Übertragen der Richtung einen Strich durch die Rechnung. Auch hier gibt es nämlich ein großes Temperaturgefälle, denn der freigelegte Fels ist heiß, teilweise betragen seine Temperaturen bis zu 46 °C. Von außen aber strömt kühle Alpenluft in den Tunnel. Aufgrund dieses Temperaturunterschieds wird der Strahl des Tachymeters seitlich abgelenkt; und diese Abweichung von der Geraden kann kaum berechnet werden. Kein Wunder, dass eine solche Störquelle über längere Strecken Abweichungen im Dezimeterbereich und mehr verursachen kann.



Copyright: © AlpTransit Gotthard AG

Auch Tachymeter kamen beim Zwischenangriff bei Sedrun zum Einsatz.

Daher wird als unabhängige Messmethode ein Vermessungskreisell eingesetzt, der mit dem Tachymeter kombiniert werden kann. Ursprünglich für die Schiffsnavigation konzipiert, sind gute Vermessungskreiselle technisch extrem aufwendige Geräte und daher nicht nur vergleichsweise teuer, sondern auch in ihrer Anwendung recht zeitintensiv. Andererseits ist ihre Präzision kaum zu übertreffen. Ähnlich wie ein Kompass zeigen auch sie gen Norden – allerdings geben sie den geografischen Nordpol an, unbeeindruckt von den störenden Magnetfeldern, die unter Tage, von magnetischen Gesteinen erzeugt, einen Kompass ablenken würden.

Das liegt daran, dass sich Vermessungskreiselle an der Rotationsachse der Erde ausrichten. Der Kreisell ist an einem Torsionsband aufgehängt, seine Achse waagrecht. Aufgrund der Erdrotation und der damit einhergehenden Präzession richtet sich diese Drehachse immer in Meridianrichtung aus. Daher vollführt der Kreisell aufgrund des Torsionsbandes eine Schwingung um die geografische Nordrichtung aus.

Achthundert Meter in die Tiefe bei Sedrun

Hätte es der Gotthard-Basistunnel bei zwei Portalen belassen, hätten die Vermessungen komplett per Polygonzug und Vermessungskreisell durchgeführt werden können. Auch für zwei der drei Zwischenangriffe, bei Amsteg und bei Faïdo, sind diese Messmethoden ausreichend, da es sich dabei um horizontale Zwischenangriffe handelte und man sich von der Seite an den voraussichtlichen Tunnelschacht annähern konnte.

Blieb nur noch der Zwischenangriff ziemlich genau in der Mitte des Tunnels nahe des Urlaubsortes Sedrun. Zu hoch türmten sich hier die Alpen, als dass ein seitlicher Angriff möglich gewesen wäre. Und somit galt das Prinzip ab durch die Mitte – von oben. Bereits zwei Jahre vor dem eigentlichen Beginn der Bauarbeiten am Tunnel wurde ein Schacht abgeteuft, dessen Durchmesser lediglich 8,5 Meter betrug, der dafür aber stolze achthundert Meter tief war. Ausgestattet mit einem Aufzug, ging von diesem Schacht der Tunnelbau weiter voran. Zunächst

aber mussten die Koordinaten von der Oberfläche bis zum Schachtboden übertragen werden, was durch mechanische und optische Lotung kontrolliert erfolgen konnte.

Für die Bestimmung der Orientierung kamen wieder Vermessungskreiselle zum Einsatz. Allerdings ließen u. a. die extrem hohen Umgebungstemperaturen damals einen Genauigkeitsabfall befürchten, sodass eine methodisch unabhängige Kontrolle erstrebenswert erschien. Zum damaligen Zeitpunkt gab es jedoch keine unmittelbar verfügbare Alternative zu den Vermessungskreisellen – zumindest nicht, bis Geodäten der TU München ein Inertialmesssystem mit einer Richtungsübertragung über Planspiegel koppelten und so die Messungen mit den Kreisellen ergänzen konnten.

Derartige Systeme kamen bis zu diesem Zeitpunkt lediglich in U-Booten und in Flugzeugen zum Einsatz. Flugzeuge etwa müssen sie an Bord haben, falls das GPS-Navigationssystem versagt oder zu ungenau wird. Dabei vermessen drei Beschleunigungssensoren Wegstücke entlang und drei Lasergyroskope Richtungsänderungen um die drei Rotationsachsen. Allerdings können sie nur relative Veränderungen messen im Gegensatz zum Vermessungskreisell, der die absolute Richtung bestimmen kann. Die Herausforderung bestand nun u. a. darin, das Inertialmesssystem so schnell wie möglich von oben nach unten zu transportieren, damit es die Verdrehung des Schachtkorbs um die vertikale Achse möglichst fehlerfrei erfassen kann.

Übungen auf dem Münchner Olympiaturm

Dabei blieb nicht viel Spielraum für Fehler – oder besser gesagt, gar keiner, da es einer einjährigen Vorlaufzeit bedurfte, um den Schachtkorb einen ganzen Arbeitstag zur Verfügung gestellt zu bekommen. Um das Verfahren zu erproben und zu üben, mussten sich die Geodäten also etwas einfallen lassen und blickten dabei nicht in die Tiefe, sondern in die Höhe. Sie verfielen auf den Olympiaturm in München als passenden Übungsort. Dieser kann es mit 291 Metern Höhe zwar nicht ganz mit dem Schacht von Sedrun aufnehmen, hatte dafür aber einen Betriebsaufzug für das Restaurant an seiner Spitze vorzuweisen. Dieser konnte für tagelange Proben genutzt werden, sodass beim Ernstfall in der Schweiz alles reibungslos funktionierte. Mit 58 Kilometern pro Stunde rauschte der Schachtkorb dort mit dem Inertialmesssystem an Bord mehrmals in die Tiefe und wieder herauf. Aus dem Mittel dieser Messungen konnten so die von den Vermessungskreisellen ermittelten Werte bestätigt werden, sodass auch bei diesem Zwischenangriff die Vortriebsrichtung erfolgreich in die Tiefe getragen werden konnte.

Das wiederholte Überprüfen sämtlicher Messmethoden durch voneinander unabhängige Verfahren hat sich beim Durchschlag des Gotthard-Basistunnels im Jahr 2010 schließlich bezahlt gemacht. Lediglich acht Zentimeter betrug die Abweichung – erlaubt wären 25 Zentimeter gewesen.

Kontakt: f.konitzer@gmail.com