

Vermessen: Wie der Brenner-Basistunnel die Ingenieurskunst herausfordert

Martin Bünnagel

Tief durch das Alpenmassiv zwischen Innsbruck und Franzensfeste bohrt sich seit 2009 eines der wichtigsten Verkehrsprojekte Europas. Ein komplexes Tunnelsystem quer durch eine tektonische Bruchzone. Mit 64 Kilometern der längste Eisenbahntunnel der Welt. Der Brenner-Basistunnel ist ein Jahrhundertprojekt, auch für Geodäsie und Vermessung, das nach einigen Verzögerungen wieder Fahrt aufnimmt.

Als Wilma und Olga in den ersten Juni-Tagen dieses Jahres bei St. Jodok in den Tiroler Alpen in den Berg einfahren, sind sie noch in Einzelteile zerlegt. 2600 Tonnen wiegt jede der Tunnelbohrmaschinen (TBM). Mit einem Durchmesser von 10,37 Metern und einer Länge von über 180 Metern sind die Ungetüme Feinstrumente für Millimeterarbeit. Und neben Sprengstoff die wichtigsten Werkzeuge beim Angriff auf Granit, Quarzphyllit, Schiefer und Gneis.

400 Meter tief im Fels, in einer Kaverne groß wie ein Flugzeughangar, werden Wilma und Olga bis zum Herbst zusammengesetzt. Sie sind Teil einer 10,5 Milliarden Euro teuren Choreografie in den unterschiedlichen Bauabschnitten des Brenner-Basistunnels – den sogenannten Baulosen –, einer hochpräzisen, dreidimensionalen Streckenplanung durch das Alpenmassiv, die vor mehr als 15 Jahren begann und deren Einhaltung millimetergenau überwacht wird.

55 Kilometer misst die Strecke zwischen Innsbruck in Österreich und Franzensfeste in Italien. Die vorgelagerte und schon fertig gestellte Umfahrung von Innsbruck mit neun Kilometer Länge hinzugerechnet, sind es 64 Kilometer. Der Brenner-Basistunnel wird bei seiner Fertigstellung im Jahr 2032 die längste unterirdische Eisenbahnverbindung der Welt sein.

Ohne exakte Vermessungsverfahren wären Wilma und Olga in der Kaverne bei St. Jodok auch nach ihrem Zusammenbau nur nutzlose Kolosse aus Stahl. So aber werden die beiden Maschinen im September nicht nur mit rund 6000 PS Leistung in ihren 7,5 Kilometer langen Bauabschnitt getrieben, sondern auch mit dem Wissen und der Erfahrung aller vorherigen Tunnelprojekte, kombiniert mit den neuesten Technologien und Vermessungsverfahren.

Geodätisches Rahmennetz

So begann auch beim Brenner-Basistunnel alles mit der Schaffung eines geodätischen Rahmennetzes für den Projektraum, um zunächst einen grundlegenden Bezug zwischen den Plänen und dem Gelände herstellen zu können. Ein Netz aus GNSS (Global Navigation Satellite Systems)-Koordinaten war der Ausgangspunkt für die Streckenplanung. 28 Grundlagenpunkte wurden als geodätisches Rah-

mennetz festgelegt und über zwei 24-Stunden-GNSS-Messungen eine Genauigkeit von sieben Millimetern erreicht.

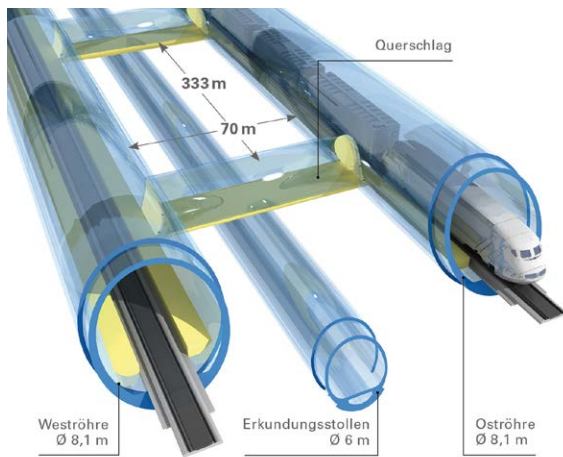
Amsterdam für den Brenner

Benötigt wurden auch exakte Höhenangaben der 28 Grundlagenpunkte – die festlegen, wie hoch über dem Meeresspiegel ein Messpunkt im Alpenmassiv überhaupt liegt. Denn aufgrund der unterschiedlichen Dichteverhältnisse im Erdinneren verläuft die Höhenbezugsfläche, das Geoid, unregelmäßig. Im offenen Meer breitet sich das Wasser näherungsweise entlang des Geoids aus und spiegelt dessen Form wider. Die Höhe des Meeresspiegels variiert jedoch regional aufgrund von Meeresströmungen und Gezeiteneffekten. Österreich und Italien verwenden in ihren Ländern unterschiedliche amtliche Höhenbezugspunkte und Methoden – Italien bezieht sich auf den Meeresspiegel bei Genua unter Verwendung einer »orthometrischen Höhen«-Angabe, Österreich auf den Pegel bei Triest mit einer »normal-orthometrische Höhen«-Angabe. Dadurch ergibt sich ein Höhenunterschied von 12,5 Zentimetern zwischen den Pegeln in Genua und Triest. Zur Vereinheitlichung einigte man sich auf das Europäische Höhenreferenzsystem EVRS des UELN (United European Levelling Network) mit dem Bezugspegel Amsterdam (33 Zentimeter höher als Triest und 28 Zentimeter höher als Genua) für die Höhenangabe der 28 Grundlagenpunkte des geodätischen Rahmennetzes. Es schuf die Basis für jede weitere Planung und Vermessung – und ab September auch für Wilma und Olga in ihrer Montage-Kaverne, dem Startpunkt ihrer Arbeit in den Alpen.

Navigation unter Tage

Dort im Fels gibt es keinen Satellitenempfang – aber das Vermessungsverfahren des verschränkten Polygonzuges, bei dem im Tunnel während des Vortriebs mit einem Tachymeter Infrarotwellen ausgesendet und Reflektoren anvisiert werden, um fortlaufend Winkel und Distanzen zu messen. Ausgehend vom Messpunkt des geodätischen Rahmennetzes am Eingang des Tunnels, arbeiten sich Wilma und Olga mit diesem Vermessungsverfahren Zug um Zug in den Berg. Am Ende geht es immer um den sogenannten Durchschlag. Darum, dass sich Tunnel, die aus unterschiedlichen Richtungen in den Fels getrieben wurden, tief im Alpenmassiv exakt treffen.

Ein traditionell riskantes Geschäft. Denn aus Abweichungen im Millimeterbereich summieren sich irgendwann viele Zentimeter. Für den bereits fertig gestellten Erkundungsstollen rechneten die Planer im Vorfeld mit einer



Ansicht der Haupttröhen. Bei Fertigstellung mit 64 Kilometern der längste Eisenbahntunnel der Welt. Rechts: Erkundungstollen mit Abzweigtunnel zu den Haupttröhen



Quelle: BBT SE Brenner-Basistunnel Projektgesellschaft

maximalen Querabweichung von 22 Zentimetern – tatsächlich wurden es dann 18,5.

Fehlerquellen in Vermessungsverfahren

Voraussetzung für die Einhaltung der Durchschlag-Prognosen sind möglichst exakte Polygonzüge mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich. Um dies zu erreichen, müssen drei weitere Probleme gelöst werden. Zum einen fehlt bei der Winkelmessung mit einem Tachymeter unter Tage ein absoluter Bezugspunkt, wodurch ein Polygonzug verschwenkt werden kann. Abhilfe schafft ein sogenannter gefesselter Kreisler, dessen Rotationsachse immer in Richtung Norden ausgerichtet ist. Damit können Abweichungen von Tachymeter-Messungen auf einer Strecke von 100 Metern auf maximal 1,3 Millimeter begrenzt werden.

Eine weitere Fehlerquelle liegt in den Umweltbedingungen unter Tage. Sowohl die Frischluftzufuhr im Stollen als auch die Temperatur der Tunnelwände von bis zu 46 Grad haben Einfluss auf die Messgenauigkeit des Tachymeters. Denn unterschiedliche Luftschichten mit ihren unterschiedlichen Dichten und Temperaturen krümmen die Infrarotwellen des Tachymeters und lenken sie ab. Mathematische Korrekturverfahren funktionieren im Tunnel kaum. Um die Auswirkungen der Effekte dennoch gering zu halten, wird der Tachymeter in der Tunnelmitte platziert, möglichst weit entfernt von Tunnelwand und Frischluftzufuhr.

Bewegung im Alpenmassiv

Die letztendlich größte Herausforderung für die Einhaltung der Durchschlag-Prognosen liegt jedoch im Gebirge selbst. In möglichen Bewegungen wie Setzungen, Längs- oder Querbewegungen. Während des Baus wird der Brenner Basistunnel deshalb ständig vermessungstechnisch überprüft. Dazu werden Konvergenz-Bolzen in die Tunnelwände gebohrt und mögliche Bewegungen zur Tunnelachse mit Hilfe von Prismen erfasst. Geotechniker können damit das Verhalten des Gebirges beurteilen und Abweichungen aus dem

Polygonzug erkennen. Binnen weniger Minuten erfasst dabei ein Tunnelscanner Millionen von Messpunkten, um die Größe einer Abweichung zu prüfen.

Periadriatische Naht

Zudem quert der Tunnel auf seiner 55 Kilometer langen Strecke auch die gefürchtete Periadriatische Naht. Diese geologische Störzone entstand vor 35 Millionen Jahren, als von Süden die afrikanische Kontinentalplatte gegen die adriatische Platte drückte und von Norden die europäische Platte. In der Knautschzone falteten sich die Alpen auf. Zunächst rechneten die Planer mit einer 500 Meter mächtigen Störzone, in der das Gestein krümelig und instabil ist. Beim Bau des Erkundungstunnels erstreckte sie sich schließlich über 800 Meter.

GNSS für die Störzone

Auch über Tage wird diese Zone besonders beobachtet und laufend vermessen. Ein regionales GNSS-Netz überwacht, ob es während des Vortriebs unter Tage zu oberirdischen Setzungen kommt. Die zentral gelegene Station Fischerhof dient dabei als Referenzstation für die Berechnung der Basislinien zu den anderen vier Stationen in Mauls, Krustner, Stoffl und Pfitscherhof. Da die Referenzstation Fischerhof jedoch in einem potenziellen Deformationsgebiet liegt, wird auch die Referenzstation selbst überwacht, mittels Daten von drei Stationen des GNSS-Referenzdienstes STPOS der Provinz Bozen in Südtirol.

Fernab der Periadriatischen Naht wartet auf Wilma und Olga nur Hartgestein. Kann der Zeitplan bis zum Durchschlag beim Baulos H41-Sillschlucht-Pfons bis 2026 gehalten werden, wird der Brenner-Basistunnel ab 2032 für Güter- und Personenzüge zentraler Teil des transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-V) zwischen Skandinavien und dem Mittelmeer sein – nach dem vollständigen Ausbau bis 2041 für Geschwindigkeiten von bis 250 km/h.

Kontakt: martin.buennagel@zon-verlag.de