

WOW!

Das Technikmagazin für Junge und Junggebliebene

TechnoScope

1/16
by SATW

Gotthard-Basistunnel

Entdecke, was es alles braucht, um einen 57 km
langen Tunnel quer durch die Alpen zu bauen.

www.satw.ch/technoscope

Im November 2015 brauste ein spezieller
Testzug mit 275 km/h durch den Tunnel.

290 Kilometer Schienen und 380 000 Einzelblock-
Schwellen wurden verlegt.

An der tiefsten Stelle sind ganze 2500 Meter Fels über dem Tunnel.
Im Juli 2009 hat die Tunnelbohrmaschine im Abschnitt Erstfeld einen neuen
Weltrekord aufgestellt: Sie schaffte in 24 Stunden 56 Meter.

Das Tunnel-, Schacht- und Stollensystem des Gotthard-Basistunnels ist insgesamt rund
152 km lang.

1999 erfolgte der Anstich zum Gotthard-Basistunnel. Im Oktober 2010 fand der Durchschlag
in der Oströhre statt, wenige Monate später in der Weströhre. Seit Oktober 2015 laufen
Testfahrten. Mit dem Fahrplanwechsel im Dezember 2016 beginnt der reguläre Bahnbetrieb.

Impressum
SATW Technoscope 1/16, Mai 2016
www.satw.ch/technoscope
Konzept und Redaktion: Beatrice Huber
Redaktionelle Mitarbeit: Felix Würsten, Samuel Schläfli
Bilder: AlpTransit, Fotolia, Kommission für das Reussdelta
Gratisabonnement und Nachbestellungen
SATW, Gerbergasse 5, CH-8001 Zürich
technoscope@satw.ch, Tel. +41 (0)44 226 50 11
Technoscope 2/16 erscheint im September 2016 zum Thema «Neue Energiequellen».

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

Erstfeld

Eine Flachbahn durch die Alpen

Am 1. Juni 2016 ist es soweit: Nach 17 Jahren Bauzeit wird der neue Gotthard-Basistunnel feierlich eröffnet. Mit einer Länge von 57 Kilometern ist er der längste Eisenbahntunnel der Welt. Sein Bau wäre ohne den bemerkenswerten Einsatz von vielen Ingenieurinnen und Ingenieuren und unzähligen weiteren Fachleuten gar nicht möglich gewesen.

Zusammen mit dem Ceneri-Basistunnel, der 2020 eröffnet wird, entsteht eine schnelle und leistungsfähige Bahnverbindung, die nur minimale Steigungen und weite Kurven aufweist. Während die Züge auf der alten Gotthardstrecke über zahlreiche enge Kehrschleifen bis auf eine Höhe von 1150 Metern hinauffahren müssen, liegt der höchste Punkt der neuen Strecke nur noch auf 550 Metern über Meer. Mit dem Gotthard-Basis-

tunnel entsteht also eine Flachbahn durch die Alpen, die sich gut in das europäische Hochgeschwindigkeitsnetz einfügt.

Schneller und leistungsfähiger

Für die Reisenden auf der Nord-Süd-Achse hat dies grosse Vorteile: Die Fahrzeit zwischen Zürich und Lugano verkürzt sich um etwa 45 Minuten. Der neue Bahntunnel ist auch für den Güterverkehr wichtig: Auf der neuen Flachbahn können längere und schwerere Güterzüge verkehren als auf der alten Strecke. Waren auf der Bergstrecke bisher zwei Zuglokomotiven notwendig, um einen Güterzug von 1400 Tonnen über die Alpen zu schleppen, braucht es künftig nur noch eine Lokomotive, um einen bis zu 2000 Tonnen schweren Zug zu befördern.



Im Dezember 2016 beginnt der fahrplanmässige Betrieb im Gotthard-Basistunnel.

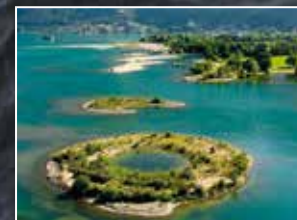


A
m
s
t
e
g



Rohstoffe aus dem Berg

28 Millionen Tonnen Gestein brachen die Mineure aus dem Gotthard aus. Damit könnte man gleich fünf der grossen Cheops-Pyramiden aus Ägypten bauen. Bei den Tunneleingängen stellten die Tunnelbauer vier Kieswerke auf, um das Gestein fortlaufend aufzubereiten. Es wurde gebrochen, gesiebt, gerundet und anschliessend in Fraktionen mit unterschiedlicher Korngrösse aufgeteilt. Gut 30 Prozent konnte als Sand und Kies für die Herstellung von Beton genutzt werden. Ein Grossteil davon wurde gleich wieder im Tunnel als Spritzbeton oder als massive Betonelemente verbaut. Mit dem übrigen Ausbruchmaterial wurden Flüsse und Bäche renaturiert oder alte Kiesgruben aufgefüllt.



Etwa 2,5 Millionen Tonnen Gestein, das die Mineure aus dem Gotthard gebrochen hatten, wurden in den Urner See geschüttet, um das Reussdelta als Naturlandschaft wiederherzustellen.

Erfahre noch viel mehr zum Gotthard-Basistunnel unter www.satw.ch/technoscope



1 km 2 km 3 km 4 km 5 km 6 km 7 km 8 km 9 km 10 km 11 km 12 km 13 km 14 km 14 km 16 km 17 km 18 km 19 km

Sicherheit

Eine zentrale Rolle für die Sicherheit im Tunnel spielen die beiden Nothaltestellen unterhalb von Sedrun und Faido. Falls der Lokomotivführer bei einem Notfall – zum Beispiel bei einem Brand – nicht mehr ins Freie fahren kann, fährt er mit dem Zug zu einer Nothaltestelle. Dort wird im Brandfall über grosse Ventilatoren von aussen Frischluft in den Tunnel geblasen. Gleichzeitig werden die Rauchgase über grosse Entlüftungsschächte abgesogen. Dann erst dürfen die Passagiere aussteigen. Für solche Ernstfälle stehen rund um die Uhr speziell ausgebil-

dete Rettungskräfte bereit, die innerhalb von spätestens 45 Minuten mit einem Rettungszug vor Ort sind. Besser ist jedoch, wenn gar kein Notfall entsteht. Deshalb sind entlang der Zufahrtsstrecken verschiedene Detektionsanlagen installiert. Diese erkennen, ob bei einem Zug eine Achse überhitzt ist oder ob ein Wagen brennbare Güter verliert. Ein solcher Zug wird gebremst, bevor er in den Tunnel fährt.

S e d r u n



Gotthardmassiv



Vermessung

Im Inneren eines Berges kann die Position nicht mehr per GPS bestimmt werden, sondern muss durch eine komplexe Vermessung entlang der Tunnelstrecke bestimmt werden. Dies ist gelungen: Die Abweichung betrug am Schluss in der Horizontalen nur gerade 8 Zentimeter und in der Vertikalen 1 Zentimeter. Als Ausgangspunkt bestimmten die Vermesser jeweils bei allen Tunneleingängen Referenzpunkte, die sie anhand von weiteren Referenzpunkten im Gelände mit sehr ho-

her Präzision bestimmt hatten. Von diesen Ausgangspunkten aus vermessen sie dann während den Bauarbeiten den Lauf des Tunnels. Zählt man alle Richtungs-, Distanz- und Höhenmessungen zusammen, haben Vermesser im Laufe der Jahre rund 100 000 Kennzahlen erfasst. Besondere anspruchsvoll war die Vermessung beim Abschnitt Sedrun: Die Bauarbeiten an der Haupt-röhre begannen dort an einem ungewöhnlichen Ort, nämlich am Fuss eines 800 Meter tiefen Schachts.

Geologie

Im Vorfeld wusste niemand mit Sicherheit, welche Gesteine die Mineure unter Tag tatsächlich antreffen würden. Deshalb führten die Geologen zahlreiche Probebohrungen und geophysikalische Messungen durch. Dank diesen wusste man zum Beispiel, dass die **Piora Mulde**, eine gefürchtete Schlüsselstelle, bewältigt werden kann. Die Mineure mussten dennoch einige Probleme lösen. Vor allem leicht verformbarer Schiefer und eine Zone mit losem Gesteinsmehl bereiteten auf der Nordseite des Tunnels Schwierigkeiten. An einzelnen kritischen Stellen mussten die Mineure den Tunnel zudem etwas weiter ausbrechen. So konnte sich das weiche Gestein nach dem Ausbruch wieder ausdehnen, ohne dass der Tunnel sich so zu sehr verengt hätte. Auf der Südseite trat an einigen Stellen unerwartet viel Wasser aus dem Fels.

Vom Rohbau zum fertigen Tunnel

Mit dem Ausbruch der beiden Tunnelröhren war erst der erste Schritt getan. Danach kam der Ausbau zum fertigen Bauwerk. Zuerst wurden die Tunnelröhren gesichert – teilweise mit Stahlbogen. Dann kam eine 30 Zentimeter dicke Schicht aus massivem Beton an die Wand. In die kreisrunde Betonröhre wurde danach eine feste Sohle sowie auf beiden Seiten zwei leicht erhöhte Bankette eingebaut. Anschliessend wurden mit einem Spezialzug Schienen und Schwellen millimetergenau verlegt und auf einer festen Fahrbahn einbetoniert. Dann wurde die speziell entwickelte Fahrleitung montiert, die sowohl für schwere Güterzüge als auch für schnell fahrende Personenzüge geeignet ist. Und zum Schluss wurden die Installationen für Zugsteuerung, Kommunikation, Beleuchtung, Stromversorgung und Lüftung eingebaut. Fertig war der Tunnel.

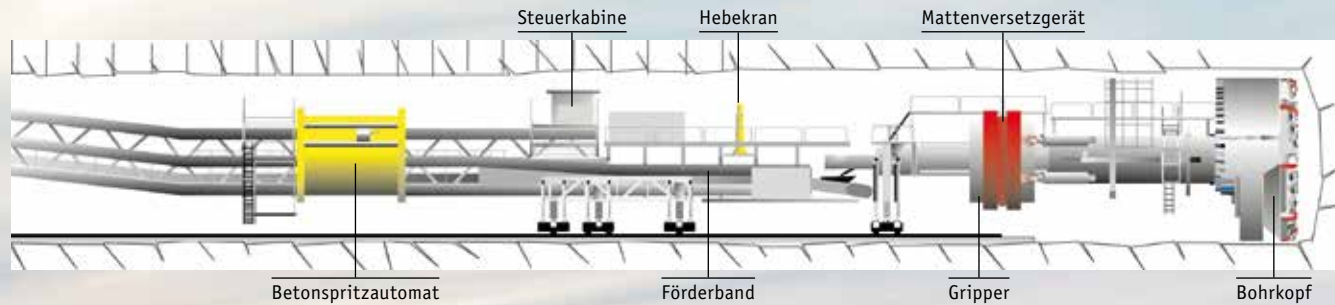


400 Meter lange Bohrmaschine

Tunnels werden «konventionell» oder «maschinell» ausgebrochen. Unter «konventionell» versteht man meist Sprengungen. Diese werden heute noch bei kurzen Vortriebsstrecken von wenigen Kilometern und bei besonders schwierigem Gestein eingesetzt. Bedeutender ist der maschinelle Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen (TBM). Im Gotthard-Basistunnel konnten gleichzeitig vier Tunnelbohrmaschinen rund 75

Prozent des gesamten Tunnelsystems ausbrechen. Die Maschinen – «Sissi», «Heidi» und «Gabi» (I und II) genannt – waren über 400 Meter lang, bis zu 2700 Tonnen schwer und wurden von zehn Motoren mit jeweils 350 kW angetrieben (insgesamt 4700 PS). Wichtigster Teil der TBM ist der Bohrkopf; ein grosses Rad aus Metall. Beim Gotthard-Basistunnel betrug dessen Durchmesser bis zu 9,58 Meter. Auf diesem Rad

sind Rollenmeissel – bewegliche Rollen mit Schneidelementen – installiert, die sich drehen und gegen den Felsen gepresst werden. «Sissi» zum Beispiel presste 66 Rollenmeissel mit bis zu 26 Tonnen auf den Fels. Das herausgebrochene Gestein wurde durch ein Schaufelrad an der Hinterseite des Bohrkopfs aufgefangen, auf ein Förderband gekippt und damit aus dem Tunnel transportiert.



Faido



Der Bohrkopf ist der wichtigste Teil der Tunnelbohrmaschine. Beim Gotthard-Basistunnel hatte dieser einen Durchmesser von bis zu 9,58 Metern.



Modernste Technik: Alle Fahrbefehle werden direkt in den Führerstand der Lokomotiven übermittelt.



Tunnelfunksystem muss funktionieren: Tests mit dem Funkmesswagen der SBB.

Penninische Gneiszone



0 km 39 km 40 km 41 km 42 km 43 km 44 km 45 km 46 km 47 km 48 km 49 km 50 km 51 km 52 km 53 km 54 km 55 km 56 km



▲ Nach der Eröffnung im Juni muss die SBB in einer Probephase nachweisen, dass der Tunnel alle notwendigen Anforderungen erfüllt, um die Betriebsbewilligung zu erhalten. Dann ist es geschafft: Im Dezember 2016 beginnt der fahrplanmässige Betrieb.

► Marc Manetsch hat ein Studium in Maschinenbau und eine berufsbegleitende Management-Ausbildung absolviert und ist heute Gesamtprojektleiter bei der SBB.

«Das Gotthard-Projekt ist eine unglaubliche Motivation»

Marc Manetsch ist Gesamtprojektleiter bei der SBB. Er ist dafür verantwortlich, dass der Gotthard-Basistunnel reibungslos ans Schweizer Schienennetz angeschlossen wird. Die Eröffnung des Tunnels am 1. Juni wird für ihn deshalb ein ganz besonderer Tag sein.

Seit zweieinhalb Jahren bin ich Gesamtprojektleiter bei der SBB und für die Bahnausbauten vor dem Nordportal des Gotthard-Basistunnels verantwortlich. Der Tunnel wird nicht von uns, sondern von unserem Tochterunternehmen «Alptransit Gotthard AG» gebaut, aber die SBB ist für die Erschliessung verantwortlich. Ich bin an der Schnittstelle zwischen den beiden Unternehmen und stelle sicher, dass wir immer vom Gleichen sprechen. Zudem koordiniere ich Termine und prüfe Kosten und die Qualität der Arbeiten. Dafür treffe ich mich regelmässig mit den Verantwortlichen für Teilprojekte, wie zum Beispiel den Tiefbau, die Fahrbahn oder die Fahrleitungen. Sie sind die Experten auf ihrem Gebiet und kennen die technischen Details ihrer Arbeit viel besser als ich. Doch wenn es zu Problemen oder Änderungen in einem Teilbereich kommt, bin ich dafür verantwortlich, dass alle anderen Termine und Arbeiten entsprechend angepasst werden.

Eine aktuelle Herausforderung ist zum Beispiel die moderne Führerstandssignalisierung ETCS L2.

Dabei werden die Signalbilder, zum Beispiel ein Rot- oder Grünlicht, nicht mehr entlang der Zugstrecke signalisiert, sondern direkt zum Lokführer in die Kabine gefunkt. Das ist ein Technologiesprung, der sehr viel Abstimmung unter den Involvierten erfordert, damit die Sicherheit am Ende lückenlos gewährleistet ist. Ein anderes Beispiel: Wenn wir einen neuen Weichentyp in unser Netz einbinden und dieser Störungen verursacht, dann heisst es plötzlich: «Manetsch, schau, dass das funktioniert.» Dann sitze ich mit den Experten zusammen und diskutiere, wie sich das Problem schnellstmöglich beheben lässt. In solchen Situationen sind Überstunden keine Seltenheit.

Wichtiges von Unwichtigem trennen

Obschon ich ursprünglich ein Studium als Maschinenbauingenieur absolviert habe, kümmerge ich mich bei der SBB vor allem um Managementaufgaben. Trotzdem hilft mir mein Studium bis heute, Wichtiges von Unwichtigem zu trennen, rasch Lösungen für technische Probleme zu erarbeiten und bei Fachspezialisten die richtigen

Fragen zu stellen. Technik und Maschinen haben mich schon früh fasziniert. Als Kind habe ich oft Plastikmodelle von Flugzeugen zusammengebaut und wollte unbedingt verstehen, wie ein solches Ding funktioniert. Später im Gymnasium haben mich vor allem Mathematik und Physik begeistert. Das Schlüsselerlebnis für meine Studienwahl ereignete sich dann aber zwei Jahre vor dem Gymi-Abschluss, als ein Maschinenbaustudent der ETH zu uns kam und von seinem Studium erzählte. Danach wusste ich: Das ist es! An der ETH wurde mir aber schnell bewusst, dass ich kein klassischer Ingenieur werden möchte. Während Kollegen von mir in der Forschung und komplexen Detailberechnungen komplett aufgingen, interessierte ich mich mehr für die grossen Zusammenhänge. Darum prüfte ich bereits nach dem zweiten Studienjahr Vertiefungsmöglichkeiten im Bereich Wirtschaft und spezialisierte mich auf nachhaltige Energienutzungen.

Berufsbegleitende Managementausbildung

Meine erste längerfristige Arbeitsstelle nach dem Studium fand ich bei AAE, einem Schweizer Eisenbahnunternehmen mit einem Fuhrpark von 30 000 Güterwagen. Dort war ich vier Jahre lang als klassischer Ingenieur für den Unterhalt und die Revision der Wagen zuständig. Wir

haben zum Beispiel an Prototypen getestet, wie oft wir die Wagen warten müssen, damit diese möglichst lange funktionstüchtig bleiben. Nach vier Jahren begann ich berufsbegleitend eine Zusatzausbildung, einen «Master of Advanced Studies» (MAS) in Management, Technologie und Ökonomie an der ETH Zürich. Ich arbeitete 60 Prozent in Baar und besuchte zwei Tage pro Woche Vorlesungen in Zürich. Gleich nach Abschluss des Studiums wurde bei AAE eine Stelle im Management frei, die ideal zu meinem Profil passte. Nach weiteren vier Jahren beim Unternehmen verspürte ich Lust auf eine neue Herausforderung. Dann habe ich das Inserat für meine heutige Stelle bei der SBB entdeckt und dachte mir: Das passt perfekt! Die Freude war umso grösser, als ich nach dem Stellenantritt erfuhr, dass ich im Gotthardprojekt tätig sein werde. Der Gotthard-Basistunnel ist der längste Tunnel der Welt – das ist ein Superlativ! Viele Aufgaben und Herausforderungen sind komplett neu. Das fand ich besonders motivierend! Deshalb wird die Tunnelöffnung diesen Sommer für mich ein ganz spezieller Moment sein. Bis dahin arbeiten wir noch mit Vollgas, damit unsere Züge am 1. Juni auch tatsächlich durch den Tunnel rollen werden.

AHA!



Studien- und Berufswahl

Luise Franke, Berufs-, Studien- und Laufbahnberaterin am Biz Oerlikon in Zürich



Wie wird das Klima im Tunnel reguliert?

Der Gotthard-Basistunnel ist mit zwei 57 Kilometer langen Röhren nicht nur der längste, sondern auch der tiefste Eisenbahntunnel der Welt. An manchen Stellen liegen über 2000 Meter Fels zwischen dem Tunnel und der Erdoberfläche. Ist die Luft da unten nicht ziemlich muffig und die Temperatur schweisstreibend? Wie schafft man in einem solchen Tunnel ein erträgliches Klima – für die Arbeiter, die den Tunnel instand halten, aber auch für die Zugpassagiere im Fall eines Notstopps? Erstaunlicherweise ist im Normalbetrieb gar keine aktive Belüftung notwendig. Dies liegt an der «Kolbenwirkung» der Züge. Wenn diese mit Tempo 200 km/h durch den Tunnel sausen, ziehen sie durch ihren Sog so viel Luft nach, dass der Tunnel ausreichend belüftet wird. Zukünftig werden täglich bis zu 260 Güterzüge und 65 Personenzüge durch den Tunnel fahren – insofern wird er regelmässig «belüftet» werden.

Trotzdem wurden zwei Lüftungszentralen im Gotthard-Basistunnel eingebaut. Über diese können die Temperatur, die Strömungsgeschwindigkeit der Luft und Druckschwankungen reguliert sowie 24 Ventilatoren angesteuert werden. Bei einem Brand im Tunnel saugt eine Lüftung automatisch den Rauch ab und bläst Frischluft hinein. Zudem wird über die Lüftung das erforderliche Arbeitsklima bei Tunnel-Unterhaltsarbeiten geschaffen. Die Temperatur im Tunnel hängt unter anderem von der Felstemperatur, der Zugeintrittstemperatur, der Abwärme der technischen Installationen und der Bergwassertemperatur ab. Während der Bauarbeiten hätten die Temperaturen ohne Lüftung an gewissen Stellen im Berg bis zu 50°C betragen. Mit grossen Ventilatoren und Kühlanlagen wurde das Klima auf die maximal zulässige Arbeitsplatztemperatur von 28°C gekühlt. Im Betrieb wird die Tunneltemperatur im Sommer normalerweise bis zu 37°C betragen, im Winter um 35°C. Ein optimales Betriebsklima ist auch für die Lebensdauer der technischen Anlagen im Tunnel wichtig.

Liebe Frau Franke, Ich bin in der 2. Sek und stehe kurz vor der Berufswahl. Die Artikel über den Gotthard-Basistunnel haben mein Interesse geweckt. Welche Berufsmöglichkeiten gibt es denn als Tunnelbauer? (Cédric, 15 Jahre)

Lieber Cédric
Der Mineur ist der Tunnelbauer an vorderster Front. Im eingespielten Team und mit verschiedensten Baumaschinen bricht er Meter für Meter aus dem Bergstein. Aus diesem Grund werden Mineure auch als Maschinisten bezeichnet. Eine formale Ausbildung zum Mineur oder zur Mineurin gibt es nicht. Die meisten haben eine Lehre im Baugewerbe abgeschlossen und lassen sich dann im Unternehmen oder in externen Kursen ausbilden. Weiterbilden kann man sich zur Sprengfachkraft oder zum Bauführer.

Lange bevor die Mineure mit dem Durchbruch starten konnten, waren Ingenieurinnen und Ingenieure auf die Vorarbeit von Geologinnen und Geologen und rund 100 Geomatik-Fachleuten angewiesen.

Diese sind wahre Präzisionskünstler. Die Erdschaffung wird von ihnen präzise erfasst und computergestützt aufbereitet. Hier ist nicht Manpower, sondern Millimeterarbeit gefragt. Geomatiker und Geomatikerinnen mit Fachrichtung Vermessung verbringen rund die Hälfte ihrer Arbeitszeit auf der Baustelle. Wer hingegen die Vertiefung Geoinformatik wählt, arbeitet hauptsächlich am Computer. Die erhobenen Daten werden analysiert und beispielsweise zu 3D-Karten modelliert, wie wir sie von Googlemaps kennen.

Die Lehre zum Geomatiker dauert 4 Jahre. Anschliessend kannst du dich zum Geomatiktechniker weiterbilden. Mit der Berufsmatura steht dir ausserdem eine Auswahl verwandter Studiengänge an den Fachhochschulen zur Verfügung, z.B. Geomatik, Raumplanung oder Bauingenieurwesen. Die technischen Hochschulen der Schweiz, die ETH Zürich und die EPFL, bieten Berufsmaturanden mit Passerellen-Prüfung oder Absolventinnen und Absolventen einer gymnasialen Maturität ein vielfältiges Angebot an technischen Studiengängen.

Infos & Links

Login ist der gesamtschweizerische Ausbildungspartner für Lehrstellen im Verkehr. Auf www.login.org findest du z.B. offene Lehrstellen bei der SBB und kannst dich sogar gleich online bewerben.

Auf www.berufsberatung.ch kannst du dich bequem von zu Hause aus über alle Berufe und Studiengänge informieren.

Das Perspektivenheft «Bau und Planung» gibt dir einen guten Einblick in Studienrichtungen und Tätigkeitsfeldern im Bereich der Geomatik, Planung und des Bauingenieurwesens. Das Heft findest du im biz deiner Region oder du kannst es über shop.sdbb.ch beziehen.