

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 138 (2012)
Heft: 23: 3500 Meter über Meer

Artikel: Ordnung im Stollenlabyrinth
Autor: Gabriel, Rolf / Schmaus, Heinz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-283921>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 26.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ORDNUNG IM STOLLENLABYRINTH

Zu ihrem 100-Jahr-Jubiläum haben die Jungfraubahnen einen neuen Rundgangstollen als Attraktion für Touristen erstellt. Die Planer und Ingenieure waren mit engen Platzverhältnissen konfrontiert. Aber auch die Koordination war anspruchsvoll, weil der touristische Betrieb nicht zu stark beeinträchtigt werden durfte und die Sicherheit zu gewährleisten war. Eine bautechnische Herausforderung stellte der Permafrost dar.

Das Jungfrauoch im Berner Oberland ist ein Touristenmagnet. Die Besucherzahlen sind in den vergangenen Jahren stetig gestiegen. Allein 2011 besuchten 700 000 Besucher aus aller Welt das Jungfrauoch, pro Tag bis zu 5000 Personen. Die 1912 eröffnete Bahnstation auf dem Jungfrauoch liegt auf 3454 m ü. M. und ist damit der höchst gelegene Bahnhof Europas – deshalb auch der Name «Top of Europe». Der Kopfbahnhof besteht aus zwei Felsenhallen, in denen drei Gleise liegen (Abb. 1 und 3).

Von Gleis 3 gelangt man über eine Rampe zur Sphinxhalle, dem Startpunkt für die Fahrt mit einem der beiden Expressaufzüge 108 m hinauf zur sogenannten Sphinx, einer Aussichtsplattform und Forschungsstation mit Sternwarte, die auf dem Gipfel des Jungfrauochs platziert ist. Von der Sphinxhalle erreicht man durch den 140 m langen Aletschstollen schliesslich den Aletschgletscher, der sich in südwestlicher Richtung ins Rhonetal erstreckt.

Das Berghaus mit dem Restaurant befindet sich unmittelbar neben der Bahnhofshalle und schmiegt sich an die Bergflanke auf der Walliser Seite. Dessen Dach wird durch Zuganker, die im sogenannten Ankerstollen verankert sind, fixiert. Vom Ankerstollen gelangt man direkt zum Eispalast, einer künstlichen Höhle, durch die man ins Gletschereis eintreten kann. Insgesamt sind im Massiv des Jungfrauochs rund 800 m Stollen für Touristen zugänglich.

NEUER RUNDGANGSTOLLEN MIT ZWEI KAVERNEN

Bis vor kurzem mussten die Touristen, die vom Aletschstollen zurückkamen, einen 220 m langen Weg im nur 2.50 m breiten Stollen zum Berghaus auf sich nehmen, um schliesslich mit dem Aufzug oder über die Treppe hinauf zum Eingang des Eispalastes zu gelangen. Beim Berghaus trafen sie auf jene Touristen, die gerade mit der Bahn angekommen waren. Die Jungfraubahn suchte deshalb eine Lösung, um die Besucherströme besser zu lenken und zu entflechten. Realisiert wurde schliesslich ein 240 m langer Rundgangstollen, der eine direkte Verbindung von der Sphinxhalle zum Eispalast schafft. Wer diesen Rundgang absolviert, kann alle bedeutenden Sehenswürdigkeiten auf dem Jungfrauoch innerhalb von einer Stunde besichtigen.

Der neue Rundgangstollen führt mit fast 6 % Steigung von der Sphinxhalle direkt zum 9.5 m höher gelegenen Eingang des Eispalastes (Abb. 3). Aufgrund der Höhe von fast 3500 m ü. M. sind solche Steigungen für Ungeübte und ältere Menschen sehr anstrengend. Deshalb wurden in den Steigungen zwei Rollbänder von 70 bzw. 40 m Länge eingebaut, die den Touristen einen komfortablen Aufstieg zum Eispalast ermöglichen. Der Stollen ist 3.75 m breit und 3.35 m hoch (Abb. 2). Neben dem 80 cm breiten Rollband bietet er Platz für einen Fussweg, der zum Transport von Gütern und Waren befahren werden kann.

Mit dem Bau des Rundgangstollens wurde Ende Oktober 2010 begonnen. Am 14. März 2011 erfolgte der Durchschlag zum Ankerstollen. Am 30. März 2012 wurde der Rundgangstollen eingeweiht und für die Touristen geöffnet.

AM BAU BETEILIGTE

Bauherrschaft und Projektleitung: Jungfraubahn AG, Interlaken

Tragkonstruktion/Elektroplanung/Kosten- und Terminplanung: Ingenieurgemeinschaft IUB/B+S/E+B, Federführung IUB Engineering AG, Bern

Innenarchitektur/Gestaltung/Signaletik/Farbgestaltung/Kunst am Bau: Steiner Samen Schweiz AG, Samen OW

Umweltplanung: Pronat Umweltingenieure AG, Brig

Akustikplanung: Auviso, Kriens OW

Geologie/Geotechnik: Geotest AG, Zollikofen BE

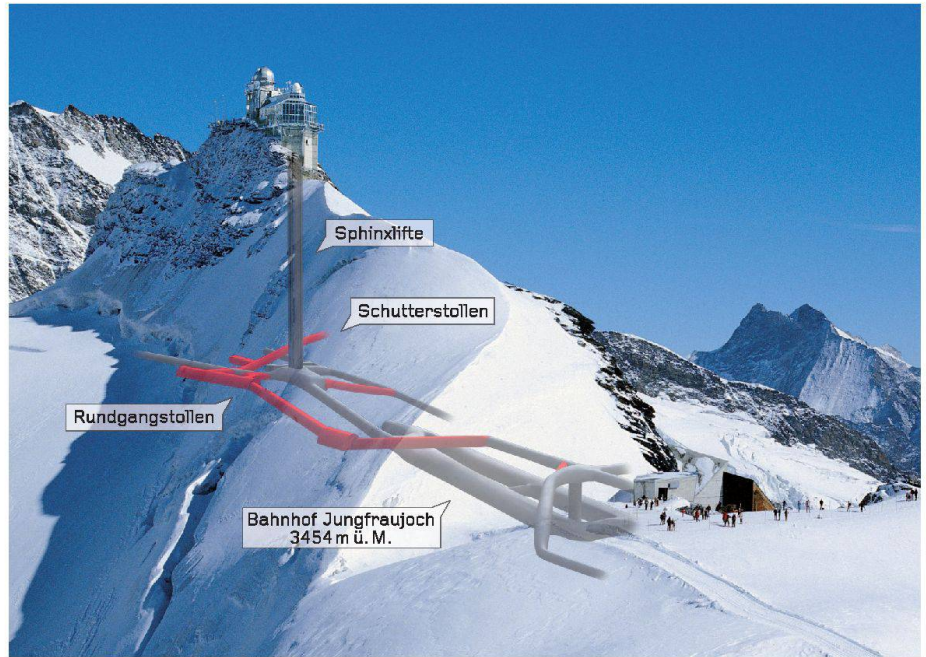
Stahlbau: Michel Metallbau, Goldswil BE

Lichtplanung: Tokyoblue GmbH, Zürich

Vermessung: B+S AG, Bern

Bauleitung: Prantl AG, Grindelwald

Baumeister/Baustellenlogistik: Frutiger AG, Thun



01

HOHE ANFORDERUNGEN AN DIE BAUTECHNIK

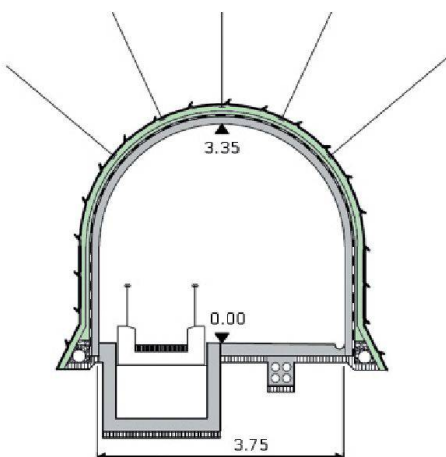
Sowohl der Rundgangstollen als auch die Kavernen wurden im Sprengvortrieb aufgeföhren. Aufgrund des Erschütterungsrisikos für die bestehenden Anlagen, insbesondere der benachbarten Sphinxlifte, war die Abschlagslänge zunächst auf 1.40m begrenzt. Mit zunehmender Entfernung von den Liften liessen die günstigen Erschütterungsmesswerte eine Vergrößerung der Abschlagslängen auf bis zu 2.50 m zu. Als Sofortsicherung reichte meist der Einbau von Reibrohrankern und Kopfschutznetzen aus. Nur in der Kaverne 2, in der die steil stehenden Kluftsysteme im Gneis aufgeschlossen sind, mussten sofort nach dem Ausbruch zusätzlich Mörtelanker, Netze und Spritzbeton zur Sicherung eingebaut werden.

Trotz gewissenhafter Erkundung ereilte die Vortriebsmannschaft eine Überraschung, als sie im 14m langen Abzweigstollen zwischen Ankerstollen und Eispalast wenige Meter vor dem Durchschlag rechter Hand einen ca. 1.50 m hohen Hohlraum vorfand. Der Abzweigstollen liegt im Kalkstein des Jungfraukeils wenige Meter neben der bekannten grossen Karsthöhle (Kasten und Abb. 4, S. 26). Kritisch war die Situation insbesondere wegen der Nähe zu einem Personenaufzug, der den Eingang des Eispalastes mit dem darunterliegenden Bahnhof verbindet. Der Hohlraum liegt nahe der Felsoberfläche, die vom Gletschereis bedeckt ist. Die Planer und Bauleitung entschieden deshalb, den Stollen mit Stahlbögen zu sichern und den Hohlraum zumindest im stollennahen Bereich mit Spritzbeton zu verfüllen.

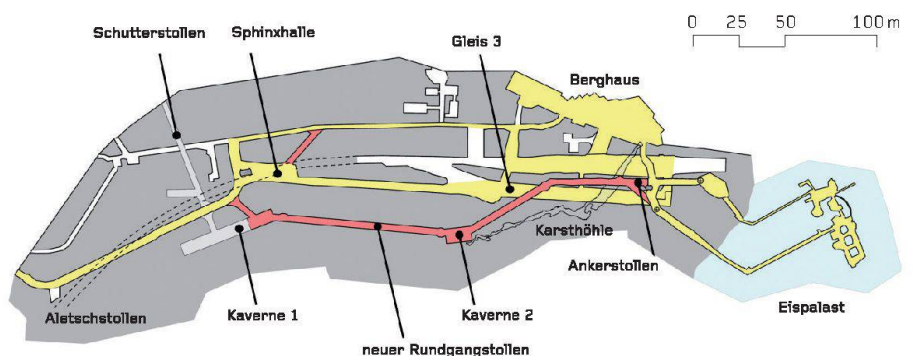
01 Stollensystem auf dem Jungfrauoch.
Rot eingezeichnet der neue Rundgangstollen
(Foto: IUB Engineering AG)

02 Normalprofil des Stollens
(Pläne 2+3: IUB Engineering AG)

03 Situation der Anlagen auf dem Jungfrauoch
mit dem neuen Rundgangstollen. Kaverne 1 ist
6.80m breit und 4 m hoch, Kaverne 2 ist 8 m
breit und 5 m hoch



02



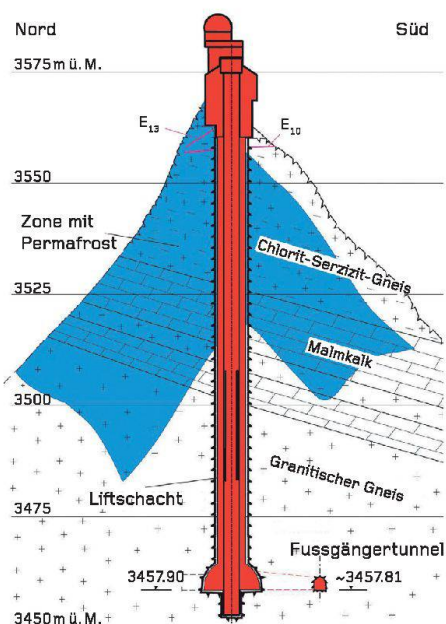
03



04

04 Karsthöhle im Ankerstollen

(Foto: IUB Engineering AG)

05 Geologie und Permafrostzone auf dem Jungfraujoch (Plan: Geotest AG)

05

Glücklicherweise war der aufgeschlossene Hohlraum während des Vortriebs trocken. Langfristig kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass er Wasser führt. Zur Beobachtung wurden zwei Drainagerohre eingebaut, die das Wasser fassen und in die Entwässerung des Stollens ableiten würden.

Die Anfang des vergangenen Jahrhunderts aufgefahrenen Stollen sind grösstenteils ungesichert; die Erbauer belassen meist die rohe Felswand. Nur an wenigen Stellen wurde im Laufe der Zeit eine dünne Spritzbetonschicht aufgetragen. Das Erscheinungsbild des neuen Rundgangstollens sollte ebenfalls einer ausgebrochenen, natürlichen Stollenwand ähneln. Die Unebenheiten des Ausbruchs wurden deshalb nicht völlig bis zum definierten Sollprofil aufgefüllt. Dennoch war der gesamte Rundgangstollen gegen mögliche Bergwasserzutritte abzudichten, um Tropfwasser und damit Eisbildung auf dem Gehweg zu verhindern. Die Projektverantwortlichen entschieden sich für den Ausbau mit einer Regenschirmabdichtung¹ und Drainageleitungen im Sohlbereich zur Ableitung des Bergwassers.

Für das Abführen des Ausbruchmaterials (rund 11 700 m³ aufgelockertes Material) wurde ein 60 m langer Schutterstollen vom Aletschstollen in Richtung Süden aufgefahren. Das unverschmutzte Ausbruchmaterial konnte so in den Gletscherschlund geschuttet werden. Die Lage und Längsneigung des Schutterstollens mussten nach einem Steinschlag direkt über dem geplanten Portal kurz vor Baubeginn noch verändert werden. So kam es, dass anstelle eines fallenden Schutterstollens einer mit einer Steigung von 15% zu erstellen war. Der Schuttkegel reichte bald bis zum Portal, sodass das Ausbruchmaterial immer wieder verstossen werden musste. Weil ein Bergwanderer das Portal des Schutterstollens mit dem Eingang zum Jungfraujoch verwechselte und über den Schuttkegel die Baustelle betrat, musste der Schuttkegel in der Folge beim Schüttern überwacht werden.

AUFRECHTERHALTUNG DES TOURISTISCHEN BETRIEBS

Von November bis März besuchen erfahrungsgemäss weniger Touristen das Jungfraujoch als im Sommer und Herbst. Die Züge verkehren nur im Stundentakt. In dieser Zeit wird das Gleis 3, das in einem separaten Stollen liegt (Abb. 3), für den Touristikbetrieb nicht zwingend benötigt. Auch der Aletschstollen, von dem der neue Rundgangstollen abzweigt, kann im Winter für die Touristen gesperrt werden. Für Schneewanderer muss er allerdings von ausser weiterhin zugänglich sein.

GEOLOGIE UND PERMAFROST

Das Jungfraujoch besteht nach Angaben der mit den geologischen Abklärungen betrauten Geotest AG aus zwei übereinanderliegenden Kristallinkomplexen, die durch eine Sedimentschicht, den sogenannten Jungfraujoch, voneinander getrennt sind (Abb. 5).² Als Teil des Aar-Massivs wurden die Gesteine im Laufe der Gebirgsbildung stark zusammengeschoben und hochgehoben. Als Folge davon weisen die Gesteine eine Verschieferung sowie diverse Störzonen auf. Im Gratbereich steht ein stark verschieferter Gneis an. Der Jungfraujoch ist rund 30 m mächtig und besteht aus rekrystallisierten Kalken, die lokal stark zerklüftet sind. Die Kalke sind im bestehenden Ankerstollen aufgeschlossen. Beim Vortrieb des Ankerstollens, der im Zuge des Neubaus des 1987 eröffneten Berghauses aufgefahren wurde, stiess man auf eine rund 100 m lange Karsthöhle, die zum Teil mit Sturzmaterial gefüllt, aber bis weit in den Berg hinein begehbar ist (Abb. 4).

Der neue Rundgangstollen liegt im granitischen Gneis. Er ist von zwei sehr steil stehenden Kluftsystemen durchzogen, die nahezu senkrecht zueinander verlaufen. Die Kluftabstände betragen rund 3 m, die Kluftlängen 3 bis 10 m. Diese Kluft-

systeme wurden im Bereich der Kaverne 2 angetroffen und erforderten eine erhebliche zusätzliche Sicherung. Eine flache Schieferung fällt mit 10 bis 20° Neigung gegen Süden ein. Im Gneis wurden Druckfestigkeiten bis 160 MPa angetroffen. Das Jungfraujoch ist ein ganzjährig gefrorener Felsklotz. Bis in Tiefen von 30 bis 40 m herrschen Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Die Felstemperaturen liegen zwischen -1°C und -6°C. Der Permafrost wirkt durch das Poren- und Kontakt-eis wie eine Armierung und stabilisiert den Fels. Temperaturschwankungen der Luft beeinflussen die Felstemperatur bis in Tiefen von 20 bis 25 m. Die Klimaerwärmung verursachte in den letzten Jahren vermehrt Steinschlag und kleine Felsstürze. Sie könnte auch zu Deformationen des Gesteins führen. Deshalb wird der Felsklotz der Sphinx zurzeit überwacht (Verschiebungs- und Temperaturmessungen). Beim Vortrieb des neuen Rundgangstollens wurde kein Bergwasser angetroffen. Am Ende der Kaverne 1 befanden sich mit Eis gefüllte Klüfte. Durch das Auftauen von Klüften im Berginneren ist es im Jahr 2009 zu einem kurzzeitigen Wassereintritt in der Bahnhofshalle gekommen.



06



07

Die Sphinxlifte mussten während des Baus des Rundgangstollens ganzjährig in Betrieb und für die Touristen zugänglich bleiben. Somit waren sie vor Staub und der Druckwelle der Sprengungen zu schützen. Die Sphinxlifte wurden deshalb von der Baustelle durch raumhohe, staubdichte Schutzwände abgetrennt (Abb. 7). Die Sprengarbeiten konnten trotz den Absperrungen für die Touristen nur nach Betriebsschluss des Jungfraujochs ausgeführt werden. Meist konnten pro Nacht zwei bis drei Abschläge erfolgen. Im Durchschnitt wurden Vortriebsleistungen von 4 bis 5 m pro Arbeitstag erreicht.

Für die Sommersaison mussten das Gleis 3 und die Sphinxhalle von allen Installationen freigeräumt werden. Die Bauarbeiten mussten von Mai bis Oktober aber auch reduziert werden, weil die hohen Besucherzahlen den Transporten der Güter mit der Bahn und deren Weitertransport im Stollensystem auf dem Jungfraujoch Grenzen setzten.

HERAUSFORDERUNG AN DIE LOGISTIK

Neben den wenigen zur Verfügung stehenden Lagerflächen auf dem Jungfraujoch stellte insbesondere der lange Transport bis zur Baustelle eine grosse Herausforderung dar. Die von Grindelwald angelieferten Güter wurden bei der Station Kleine Scheidegg auf die Jungfraubahn umgeladen, da die Jungfraubahn und die Wengernalpbahn unterschiedliche Spurweiten haben. Für den Antransport der Maschinen und Container der Baustelleneinrichtung stand nur ein Schwertransportwagen der Jungfraubahn mit einer Nutzlast von 12 t zur Verfügung. Der Gütertransport erfolgte mit fahrplanmässig verkehrenden Personenzügen, an die ein Güterwagen angehängt war.

Für den anfänglichen Sprengvortrieb mussten vornehmlich Spritzbeton, Netze und Anker auf die Baustelle transportiert werden. Für Sicherung und Verkleidung wurden ca. 1800 m³ Spritzbeton benötigt, der als Fertigmischung in Transportsäcken à 1600 kg (BigBags) angeliefert wurde. Weitere 800 m³ Fertigbeton waren als Konstruktionsbeton für die Sohle und die Brücke in der Karsthöhle notwendig. Der grösste Teil der Betonmenge war in den durch Besucher stark frequentierten Sommermonaten einzubauen. Da nicht genügend Platz für eine herkömmliche Betonmischanlage zur Verfügung stand, entschied der Unternehmer, einen kleinen, fahrbaren Mischer und Fertigbetonmischungen zu verwenden. Somit musste auf der Baustelle lediglich noch das Anmachwasser hinzugegeben werden. Infolge der tiefen Lufttemperaturen im Stollen musste das Anmachwasser aufgeheizt werden. Pro Woche waren bis zu 110 m³ Beton zu verbauen. Dies entspricht einer Menge von etwa 133 BigBags. Die täglichen Lieferungen von bis zu 27 BigBags mussten just in time erfolgen, da vor allem in den Sommermonaten nicht genügend Raum für die Lagerung vorhanden war.

Aufgrund der Höhe und des geringen Sauerstoffanteils in der Luft ist die körperliche Leistungsfähigkeit gegenüber tieferen Lagen um ca. 30 % reduziert. Auf dem Jungfraujoch standen nur wenige Übernachtungsmöglichkeiten zur Verfügung, sodass die Arbeiter nach Schichtende zur Station Eigergletscher auf 2323 m ü. M. hinabgefahren werden mussten.³ Dort standen während der Arbeitswoche Unterkünfte und Verpflegungsmöglichkeiten zur Verfügung. Da die Bauarbeiten auch nach Betriebsschluss der Jungfraubahn fortgesetzt wurden, musste stets ein Zug samt Lokführer im Bahnhof Jungfraujoch stationiert sein, damit bei Unfällen die Verletzten ins Tal hätten transportiert werden können.

Rolf Gabriel, IUB Engineering AG, rolf.gabriel@iub-ag.ch

Heinz Schmaus, IUB Engineering AG, heinz.schmaus@iub-ag.ch

Anmerkungen

1 Die Regenschirmabdichtung besteht aus wasserdicht verschweissten Kunststoffdichtungsbahnen und einer 20 mm dicken Drainmatte mit einem Kern aus schlingenförmigen Kunststoffäden (Wirrgelege) mit beidseitigen Filtervliesen. In der Drainmatte kann das Sickerwasser schnell ablaufen, bevor es gefriert

2 Geotest AG: Jungfraujoch, Rundgang- und Schutterstollen, Geologischer Bericht vom 20.8.2010

3 Hier befinden sich auch die historischen Unterkünfte der Arbeiter. Für die vom Abbruch bedrohten, aber von der Eidgenössischen Kommission für Denkmalpflege als «schützenswert» eingestufteten Bauten wird momentan ein ökonomisch ausgerichtetes Gutachten für Erhalt und Nutzung erstellt.

06 Sprengvortrieb im Rundgangstollen
(Fotos: Frutiger AG)

07 Schutzwände in der Sphinxhalle bei den beiden Expressaufzügen