

Tunnelbau



Bauzeichner Wahlpflichtfach 2004

Autoren: Markus Baumgartner und Carlo Schmid
Klasse: BAZ 4b
Lehrer: J. Wertli
Schule: Berufsschule Aarau BSA
Abgabedatum: 02.12.2004

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	3
2. Gotthard-Eisenbahntunnel	4
2.1 Meilensteine der Eisenbahngeschichte	4
2.2 Ausgangslage.....	5
2.3 Bauvertrag mit Louis Favre	6
2.4 Planung	7
2.5 Ausführung	8
2.6 Inbetriebnahme.....	10
2.7 Weiterentwicklung.....	11
3. Gotthard-Basistunnel.....	12
3.1 Vision	12
3.2 Projekt.....	13
3.3 Vergleich	15
4. Projekt Kanalisation Altstadt, Laufenburg	16
4.1 Einleitung.....	16
4.2 Relevanz.....	17
4.3 Varianten	18
4.4 Bauvorgang	19
4.4.1 Geologisches Gutachten.....	19
4.4.2 Bohrvorgang.....	19
4.4.3 Weitere Informationen	21
4.4.4 Erschütterungsmessungen.....	21
4.4.5 Begehung der betroffenen Keller	22
4.5 Ein Marsch durch den Stollen	23
4.6 Übersichtskarte	28
5. Schlusswort.....	29
6. Anhang.....	29
6.1 Dank	29
6.2 Bibliographie	30
6.3 Ehrlichkeitserklärung.....	31
6.4 Weiterverwendung der Facharbeit.....	31
6.5 Schlussbetrachtung.....	31
7. Arbeitsjournal	32

1. Vorwort

Diese Facharbeit ist in zwei Teile gegliedert. Im Ersten Teil befassen wir uns mit einem geschichtlichen Teil des Tunnelbaus. Wir haben den Gotthard-Eisenbahntunnel gewählt. An Hand dieses Bauwerks stellen wir den damaligen Bauvorgang mit allen seinen Schwierigkeiten vor. Der Gotthardtunnel gilt neben dem Suezkanal als Jahrhundertbauwerk. Vieles war ungewiss und musste während des Baus spontan gelöst werden. Die Vermessung und die Projektierung war eine Meisterleistung für diese Zeit. Die Realisation verlangte von den Beteiligten viel Einsatz und eine stete Weiterentwicklung der Technik.

Inzwischen ist dieser Tunnel über hundert Jahre alt und genügt den heutigen Anforderungen nicht mehr. Deshalb wird momentan an einem neuen Jahrhunderttunnel gebaut. Der neue Gotthard-Basistunnel wird mit 57 Kilometer der längste Bahntunnel der Welt, ab 2014 werden Züge mit bis zu 250 km/h nach Italien flitzen.

Im Zweiten Teil bearbeiten wir ein aktuelles Objekt aus dem Büro. Das Ingenieurbüro Koch und Partner, in dem Carlo arbeitet, war massgeblich am Bau eines Werkleitungsstollens unter der Altstadt von Laufenburg beteiligt. Damit das Gebiet mit den vielen gefährdeten Häusern erschlossen werden konnte, wurde ein Stollen in den Fels unter den Häusern gebohrt. Diese Variante wurde gewählt, da sie am wenigsten Verkehrsbehinderungen brachte und sich der Lärm in Grenzen hielt. Welches die Schwierigkeiten beim Bau waren und was es zum Aufbau des Gesteines zu sagen gibt, behandeln wir im zweiten Teil der Facharbeit.

2. Gotthard-Eisenbahntunnel

2.1 Meilensteine der Eisenbahngeschichte



1851	Erste Idee zu einer Gotthardbahn
1869	Gotthard-Konferenz
1871	Gotthardbahn-Gesellschaft GB wird gegründet
1872-81	Gotthardbahn wird erbaut
1880	Durchschlag des Tunnels
1882	Gotthardtunnel in Betrieb
1890	Einführung Halbtaxabonnement
1898	Einführung Generalabonnement
1902	Gründung Schweizerische Bundesbahnen SBB
1909	SBB kauft strategisch wichtige Gotthardbahn
1917	Elektrifizierung
1968	Einführung Huckepack-Verkehr letzter SBB-Dampfzug
1980	Gotthard-Autobahn und Strassentunnel
1984	1. lawinenresistente Stahlbetonbrücke am Gotthard (Rohrbachbrücke)
1992	Abstimmungs-Ja zu Eisenbahn-Alpentransversalen
1993	Sondierstollen für Gotthard-Basistunnel
1996	Baubeginn Basistunnel

2.2 Ausgangslage

Etwa um 1840 entstanden erste Ideen, eine Alpenbahn von Deutschland durch die Schweizer Alpen nach Italien zu bauen. Verschiedene Projekte wurden geprüft, die Durchquerung des Bündnerlandes stand damals im Zentrum. Das Lukmanierprojekt rückte in den Vordergrund. Geplant war eine Bahnlinie von Chur über Greina-Olivone nach Locarno. Dabei wurden zwei Tunnelvarianten vorgesehen, eine von 20,5 km, die andere 10,1 km. Das Lukmanierprojekt wurde später wieder fallen gelassen, denn Italien wollte das Projekt finanziell nicht mehr unterstützen und die schweizerische Nordostbahn NOB sah im Bau der Gotthardvariante einen grösseren Nutzen.

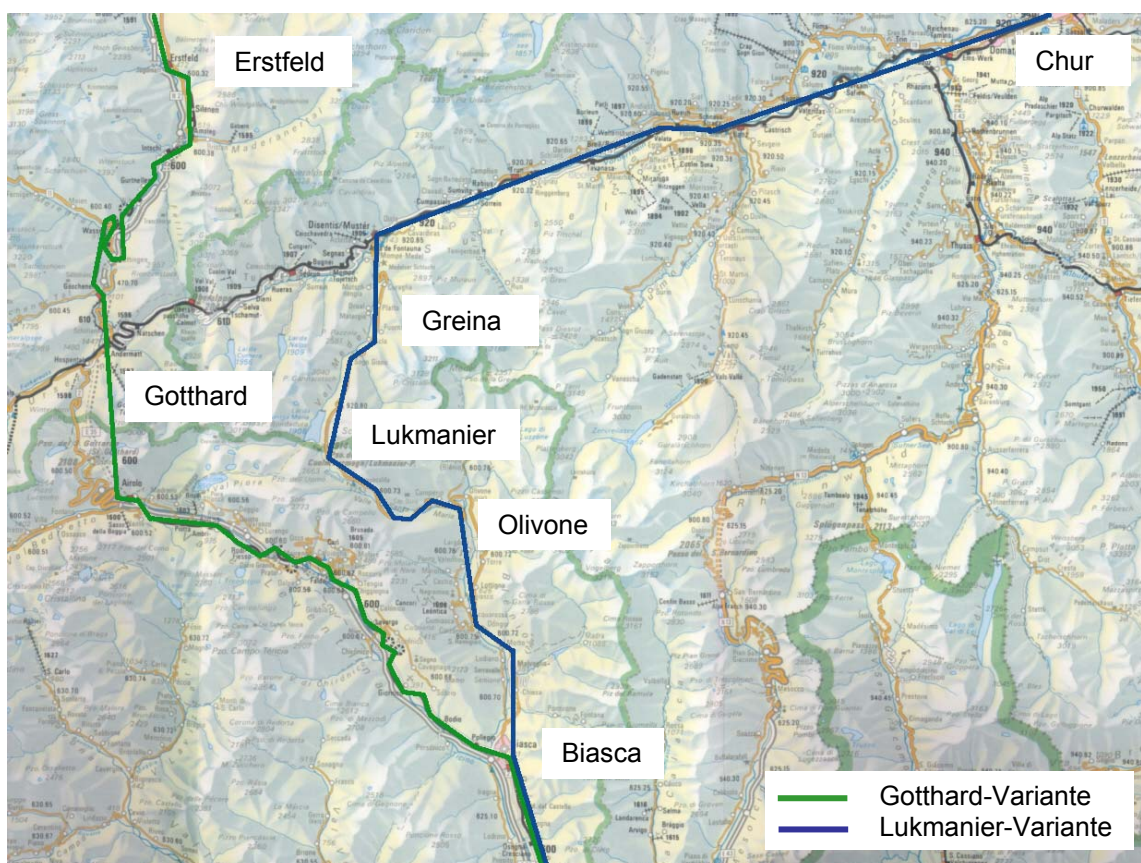


Abb.1: Karte Linienführung

Dass der Bau einer Gotthardbahn nicht einfach werden würde, wussten die Befürworter. Grosse Erfahrung im Tunnelbau hatte man damals noch nicht, auch der Bau von den Zufahrtsstrecken mit den grossen Viadukten war eine Herausforderung. Dennoch, als in Luzern die Gotthardvereinigung, unter dem Präsidenten Alfred Escher, gegründet wurde, stand dem Projekt nichts mehr im Wege. Italien sprach sich für die Gotthardvariante aus, nun wollte sich auch Deutschland beteiligen. Der

Bundesrat gab seine Zurückhaltung auf und rief die beteiligten Staaten zu einer Konferenz nach Bern auf. Die Schweiz schloss einen Vertrag mit Italien ab, dem Deutschland später auch beitrug. Im Vertrag verpflichteten sich die Nachbarländer den Bau finanziell zu unterstützen. Die Zufahrtsstrecken bis zur Schweizer Grenze mussten von den jeweiligen Staaten bis zur Fertigstellung des Gotthardtunnels beendet werden. Die Eidgenossenschaft verpflichtete sich die Linie zu betreiben und den Nachbarländern die Durchfahrt zu garantieren.

1871 wurde die Gotthardbahngesellschaft GB mit Hauptsitz in Zürich gegründet. Das Direktorium wurde Alfred Escher, dem früheren Präsidenten der Gotthardvereinigung, übertragen. Der Bundesrat war Kontrollbehörde und hatte die Ausführungsprojekte und die technischen Normen zu genehmigen.

2.3 Bauvertrag mit Louis Favre

Die Bauunternehmung von Louis Favre erhielt den Zuschlag für den Bau des Tunnels von Airolo nach Göschenen. Favre war sehr zuversichtlich und machte das günstigste Angebot, was ihn später in den Ruin trieb. Einen Namen machte er sich bei verschiedenen Bauten in der Westschweiz und in Frankreich.

Eine Kautions von acht Millionen Franken musste Favre als Vorauszahlung an die Gotthardbahngesellschaft leisten. Das Geld erhielt er vorwiegend von Genfer Mitbürgern. Ausserdem verpflichtete er sich, für jeden Tag Verspätung auf die acht Jahre Bauzeit eine Strafe von 5000 Fr. zu erstatten, bei mehr als sechs Monaten Verspätung sogar 10'000 Fr. pro Tag. Die Gotthardgesellschaft ihrerseits versprach ihm eine Prämie von 5000 Fr. pro eingesparten Bautag.

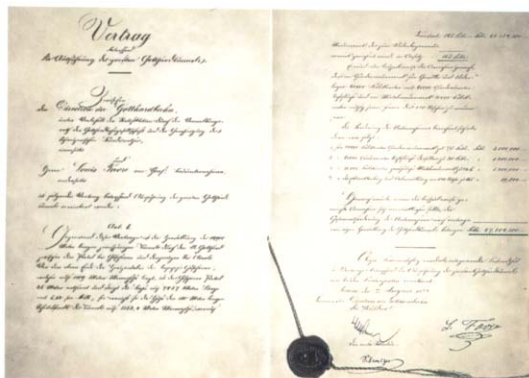


Abb.2: Bauvertrag

wichtige Punkte des Vertrages:

- *Bausumme*: 55'854'600.-- Fr.
- *Bauzeit*: 8 Jahre
- *Tagesprämie* für die eingesparte Bauzeit: 5000.-- Fr.
- *Tagesstrafe* zugunsten der Gesellschaft für die Verspätung der Fertigstellung: 5000.-- Fr, ab sechs Monaten 10'000.-- Fr
- *Kaution*: 8 Mio. Franken

2.4 Planung

Damit sich ein brauchbares Projekt erstellen lässt, muss man die Landschaft und die Geologie kennen. Deshalb musste das ganze Gebiet vermessen werden. Ein neues, alpenüberquerendes Triangulationsnetz wurde erstellt (dies gilt heute als Spitzenleistung). Anschliessend wurden die Terrainaufnahmen vorgenommen, an heiklen Stellen wurde jeder Meter vermessen. Ebenso wurden die Gebirge analysiert und der Baugrund in den Tälern untersucht.

Basierend auf diesen Daten wurde dann das erste Projekt erarbeitet. Zusätzlich ist zu beachten, dass zwischen Erstfeld und Göschenen auf einer Strecke von 18 km einen Höhenunterschied von 633 Meter überwunden werden musste. In der Leventina, zwischen Biasca und Airolo, mussten auf 46 Kilometern 848 Höhenmeter bezwungen werden. Die damals zulässige Steigung von höchstens 30 ‰ und der minimale Kurvenradius von 300 Meter galt es einzuhalten. Diese Höhen konnten nicht geradlinig erreicht werden, deshalb wurde der Bau von Kehrtunnels beschlossen. Die Variante mit Zahnstangenantrieb hatte den Ingenieuren nicht entsprochen. Das Projekt entsprach dem höchstmöglichen Ausbaustandard dieser Zeit.

Die internationale Finanzierung bot mittlerweile keine Schwierigkeiten mehr. Die Finanzmärkte sahen den Nutzen im länderverbindenden Projekt und liessen sich problemlos überzeugen.

2.5 Ausführung

Um es vorne weg zu nehmen, der Gotthardtunnel gilt neben dem Suezkanal als Jahrhundertbauwerk. 1872 wurde mit dem Bau des 15 km langen, zweispurigen Tunnels, dem Kernstück der Gotthardstrecke, begonnen. Auf beiden Seiten arbeiteten vor allem italienische Mineure, zeitweise bis 2500 Mann gleichzeitig, am Ausbruch des Tunnels. Da dieses Bauwerk eine neue geologische und technische Herausforderung war, wusste man nie, was am nächsten Tag passieren wird. Der Bundesrat machte die Auflage, dass die Gesteinsschichten vor der Ausmauerung des Gewölbes genau aufgezeichnet werden. Zudem wurde pro 100 Meter eine Gesteinsprobe sichergestellt. Louis Favre wollte die gefährlichen Stellen möglichst schnell erreichen und durchqueren, deshalb konnte er die Vorschrift, dass zwischen Abbruchstelle und Ausmauerung nur 600 Meter liegen dürfen, nicht immer einhalten, was ihm einigen Ärger brachte.



Abb.3: Schichtwechsel

Zu Beginn der Arbeiten am Tunnel wurden die Sprenglöcher von Hand gebohrt. Später konnten Bohrmaschinen der Typen Turettini, Sommeiller oder Ferroux, welche mit Druckluft betrieben wurden, eingesetzt werden. Diese Maschinen sind speziell für die neuen Verhältnisse am Gotthard entwickelt worden. Mit den Bohrmaschinen wurde nun im Dreischichtbetrieb gearbeitet, weshalb die Vortriebsleistung erheblich gesteigert werden konnte. Zuerst wurde ein kleiner Stollen ausgebrochen, welcher gleich gesichert wurde. Anschliessend konnten die Mineure den Tunnel auf beide Seiten und nach oben vergrössern. Die Ausbruchstellen wurden vorzu mit Baumstämmen gesichert. Nach dem das Gesteine vom Geologen untersucht war, wurde mit dem Ausbruch des Gewölbes begonnen.

Dahinter folgte sofort die Ausmauerung um einen Einsturz zu verhindern. Als der Bau des Tunnelgewölbes praktisch beendet war, wurde der Tunnel nach unten vergrößert, um die erforderliche Durchfahrtshöhe zu erhalten. Das bereits ausgemauerte Gewölbe wurde dabei unterstützt bis auch die Wände aufgemauert waren. Ganz am Schluss wurde in der Mitte der zwei Spuren ein Entwässerungsgraben erstellt.

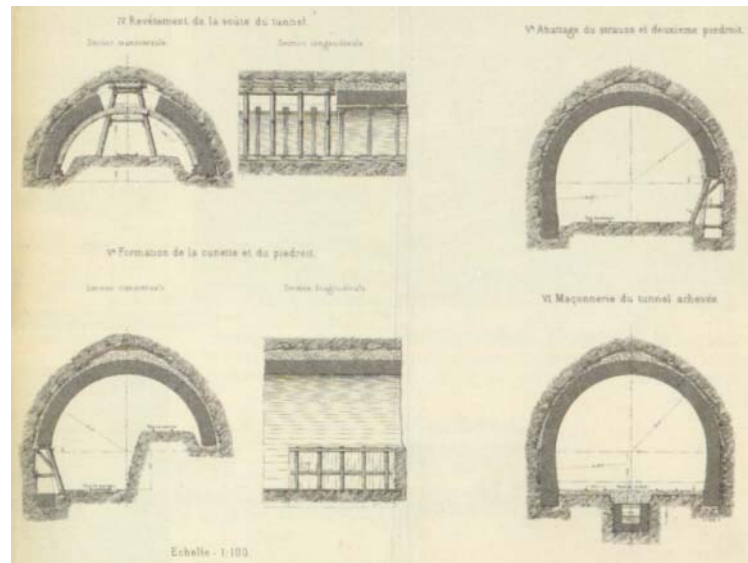


Abb.4: Gewölbeausbruch

Das schwierigste war die Absteckung der Tunnelachse. Die Geometer verlangten immer wieder Arbeitsunterbrüche um ihre Messungen durchzuführen. Nach dem Ausbruch von 200 Meter Tunnel betrug die seitliche Abweichung 15 Meter. Nach diesem Malheur schenkte man nun der Vermessung eine grössere Beachtung. Favre kam zusehends in Zeitnot, er hatte sich verpflichtet den Tunnel in acht Jahren fertig zu stellen, dies wurde jedoch immer unrealistischer. Der andauernde Stress wirkte sich auf Louis Favres Gesundheit aus. Bei einem Kontrollgang im Tunnel starb er 1879 an einem Herzschlag. Fortan übernahm der Ingenieur Bossi die Leitung der Bauarbeiten.

Am 28. Februar 1880 bohrten die Maschinen des Südstollens plötzlich ins Leere. Der Gotthardtunnel war durchbohrt. Als erstes wurde eine Blechbüchse, in der ein Foto von Favre war, durch die Öffnung gereicht. Der „Chef“ sollte den Tunnel als Erster passieren. Die Genauigkeit des Durchbruches war beängstigend, nach 14'892 Meter durchbrochenem Gestein betrug die seitliche Differenz eine Fusslänge, die Höhe wurde um eine Daumenbreite verfehlt. Eine Meisterleistung war vollbracht! Das

Gotthardmassiv war mit zwei Jahren Verspätung bezwungen, für diese Zeit musste die Baugesellschaft von Favre die Tagesstrafe von 5'000 bis 10'000 Franken bezahlen. Während des Baues verloren 146 Tunnelarbeiter durch Unfälle ihr Leben, fast so viele starben an einer Staublunge, da der Tunnel schlecht belüftet war.



Abb.5: Kehrschleifen im Süden

Mit der Fertigstellung des Kernstückes, dem Tunnel, war der Bau der Gotthardbahn nicht vollendet. Auf den Zufahrtstrecken mussten ebensolche Leistungen erbracht werden. Unzählige Viadukte, Brücken und Dämme mussten erstellt werden. Weiter waren vier Kehrtunnels im Süden und drei im Norden notwendig. Die Zufahrtstrecken wurden aus Kostengründen nur eingleisig gebaut.

2.6 Inbetriebnahme

Trotz den Kostenüberschreitungen und den gegenseitigen Beschuldigungen konnte das Bauwerk noch zu einem guten Ende geführt werden. Vom 22. bis 25. Mai 1882 fand die Eröffnungsfeier statt. Die schweizerischen, deutschen und italienischen Behörden wurden eingeladen. Am 1. Juni fuhr der erste fahrplanmässige Zug über die Geleise.



Abb.6: Einladung zur Eröffnung

Die Reisezeit von Basel nach Chiasso betrug zu dieser Zeit zehn Stunden und zehn Minuten. Mit der Bahn 2000 kann man diese Strecke in knapp vier Stunden und zwanzig Minuten zurücklegen.

2.7 Weiterentwicklung

Bald stellte sich heraus, dass die Gotthardbahn rentiert. Eine grosse Nachfrage war da, so dass immer wieder neues Rollmaterial angeschafft werden musste. Auf dem einspurigen Schienennetz kam es zu Engpässen. Die Strecke wurde bis 1896 zwischen Flüelen und Osogna auf Doppelspur ausgebaut.

Die Verhältnisse am Gotthard erforderten vom verwendeten Material höchste Qualität. Ein neuer, spezieller Schientyp entwickelte sich, auf den Brücken und in den Tunnels verwendete man Eichenholzschwellen, auf der offenen Strecke wurden Eisenschwellen eingesetzt. Es entstand eine neue Norm der Bahntechnik.

Neuentwicklungen wurden vielfach zuerst am Gotthard getestet. Aus diesen Erfahrungen wurde ein Katalog erarbeitet, welcher die technischen Standards definierte. Dieser Gotthardkatalog beeinflusste später die Schaffung der SIA- und SBB-Normen massgebend.



Abb.7: Eröffnungszug

3. Gotthard-Basistunnel

3.1 Vision

In den letzten 20 Jahren ist in Europa ein Hochgeschwindigkeitsnetz von rund 6000 Kilometern entstanden. Mit den neuen Eisenbahn-Alpentransversalen (Neat) kommt das Hochleistungsnetz auch in die Schweiz. Der zunehmende Verkehr durch die Alpen möchte man in der Schweiz mit der Bahn bewältigen. Die über 120-jährige Gotthard-Berglinie mag dieses steigende Volumen nicht abfertigen. Deshalb sind neue Investitionen in die Bahninfrastruktur unumgänglich. Die Alpentransversalen beinhalten Projekte am Lötschberg und am Gotthard. Die Planung ist weitgehend abgeschlossen, 1996 wurde mit der Ausführung des Jahrhundertbauwerks begonnen. Alleine beim Gotthard-Basistunnel werden sieben Milliarden Franken verbaut. Die Finanzierung erfolgt hauptsächlich über die Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe.

Ab 2014 werden die Personenzüge mit 200-250 km/h und die Güterzüge mit bis zu 160 km/h unter dem Gotthardmassiv hindurchbrausen. Die Transportkapazität kann von heute 20 Millionen Tonnen auf 40 Mio. Tonnen pro Jahr verdoppelt werden. Auch die Reisezeit zwischen dem Schweizer Mittelland und den Norditalienischen Zentren verkürzt sich massiv

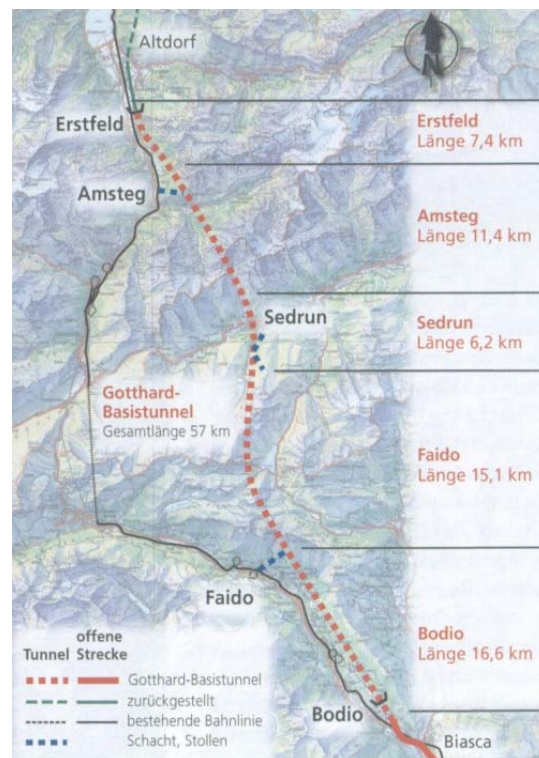


Abb.8: neue Linienführung

3.2 Projekt

Die hohen Geschwindigkeiten stellen besondere Ansprüche an die Strecke und das Rollmaterial. Hochgeschwindigkeitsstrecken sind so konzipiert, dass häufige Störungsursachen von vornherein beseitigt werden. Sie haben zum Beispiel keine Strassen- oder Fussgängerübergänge und nur sehr wenige Weichen.

Das Projekt besteht nicht alleine aus dem Gotthard-Basistunnel. Daneben wird im Norden ein Basistunnel unter dem Zimmerberg und im Süden unter dem Monte Ceneri gebaut.

Tunnellängen:

- Zimmerberg-Basistunnel: 20 km
- Gotthard-Basistunnel: 57 km
- Ceneri-Basistunnel: 15 km

Bei der Linienwahl gab es verschiedene Beeinflussungen zu beachten. Ein wichtiger Bestandteil waren die Gesteinsschichten. Nach den Berichten der Geologen zufolge wurde eine leichte Schlangenlinie gewählt. Das Gestein ist sehr unterschiedlich, vom harten Gotthard-Granit bis zum weichen Gestein des Travetscher Zwischenmassives findet man die ganze Bandbreite.

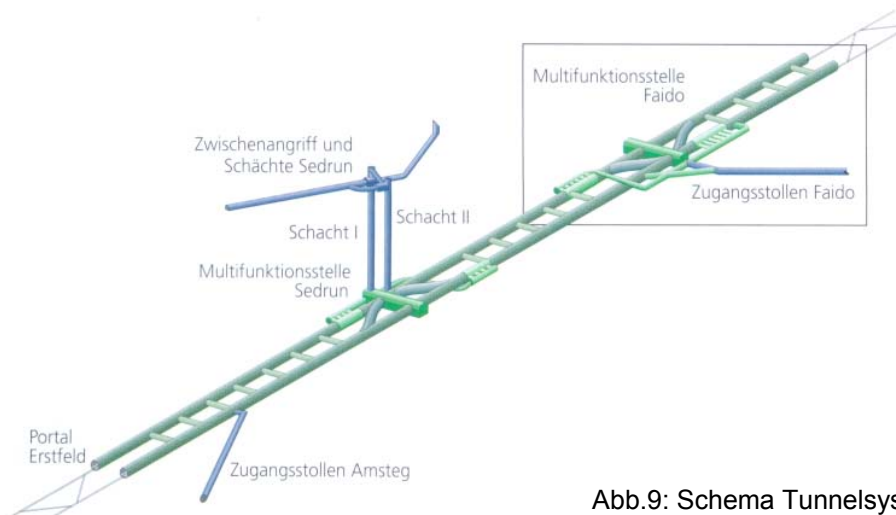


Abb.9: Schema Tunnelsystem

Um die Bauzeit zu verkürzen wurde die Strecke in fünf Abschnitte mit Zwischenangriffen aufgeteilt. In Amsteg, Sedrun und Faido gelangen die Arbeiter durch Schächte und Stollen auf das Tunnelniveau. Gebaut werden zwei einspurige Tunnelröhren, welche einen Abstand von 40 Metern haben und alle 325 Meter durch

einen Querstollen verbunden sind. Nach je einem Drittel befinden sich die Multifunktionsstellen. Diese beherbergen Technik- und Lüftungsinstallationen, aber auch Nothaltestellen und Spurwechsel.

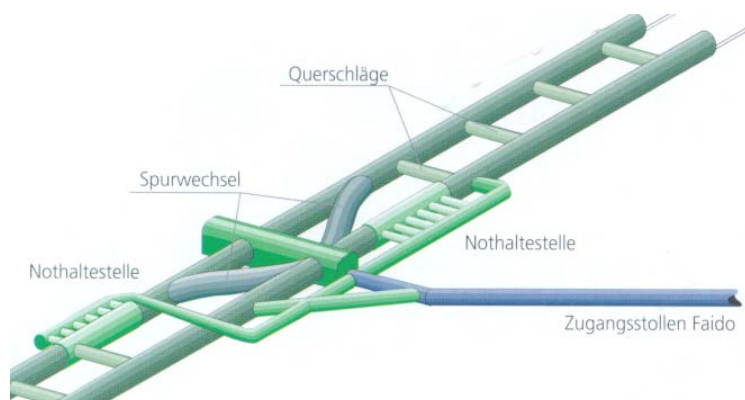


Abb.10: Multifunktionsstelle Faido

Das ausgebrochene Gewölbe wird fortlaufend gesichert. An stark beanspruchten Stellen werden neben dem Spritzbeton und den gebohrten Felsankern zusätzlich Stahlbögen eingebaut. Diese Materialien werden besonders beansprucht, da sie dem chlorid- oder sulfathaltigen Bergwasser ausgesetzt sind. Deshalb müssen sie entsprechend geschützt werden, sonst werden sie nach kurzer Zeit zerfressen und können ihre stützende Funktion nicht mehr erfüllen. Auf die Ausbruchsicherung wird eine Folie montiert, welche das anfallende Wasser in eine Drainageleitung führt und so das Eindringen in den Tunnel verhindert. Das abgeleitete Wasser wird ausserhalb des Tunnels überprüft, eventuell gereinigt und kann anschliessend in den Vorfluter (Reuss oder Ticino) geleitet werden. In der Tunnelsohle aus Ortsbeton werden alle benötigten Leitungen für die Zugssicherung, die Stromversorgung und die Entwässerung untergebracht. Um eine Gefahrenquelle zu vermeiden, wird im Tunnel auf Schotter verzichtet. Die Schwellen werden in der Oberbetonkonstruktion integriert.

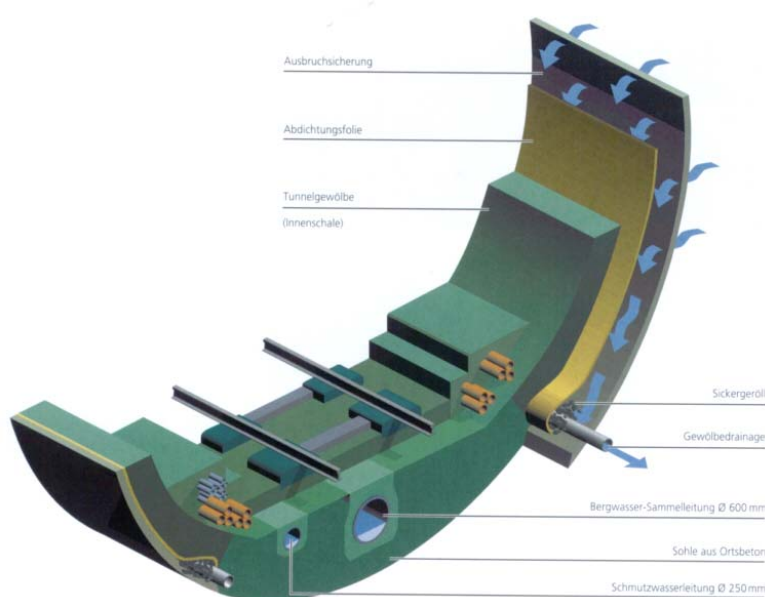


Abb.11: Schema Tunnelquerschnitt

3.3 Vergleich

Untenstehende Übersicht bezieht sich auf die alte Bergstrecke vor dem Jahr 2000 und die neue Hochgeschwindigkeitsstrecke ab dem Jahr 2014. Die Kennzahlen für den Basistunnel stammen aus dem Jahr 2004 und können sich mit dem Bauverlauf noch ändern.

	Bergstrecke	Basistunnel
Bauzeit	9 Jahre und 3 Monate	ca. 9 Jahre
Baukosten	66'666'581 Franken 67 Mio. Franken	7'000'000'000 Franken 7 Mia. Franken
Länge	15 km	57 km
höchster Punkt	1150 mü.M.	550 mü.M. (Höhe Stadt Bern)
Felsüberlagerung	1700 m	2300 m
Ausbruchmaterial	847'670 m ³	13'300'000 m ³
max. Zuggewicht	2000 t	4000 t
max. Geschwindigkeit Reisezüge	≤ 80 km/h	≤ 200-250 km/h
max. Geschwindigkeit Güterzüge	≤ 80 km/h	≤ 160 km/h
Reisezeit Zürich-Mailand	5 h 15 min	3 h 40 min



Abb.12: Bohrung von Sprenglöchern

4. Projekt Kanalisation Altstadt, Laufenburg

4.1 Einleitung

Für den praktischen Teil unserer Facharbeit konnten wir ein beliebiges Projekt aus dem Bereich Tunnelbau wählen. Wir haben uns entschlossen, das Projekt „Kanalisation Altstadt“ in Laufenburg zu behandeln. Diesen Entschluss haben wir gefasst, da Carlo mit dem Lehrlingsausflug der Firma Koch+Partner den Stollen bereits besichtigt hatte und wir dachten, dass sich dieses Projekt für unsere Arbeit bestens eignen würde.

Dieser Projektteil wurde vorwiegend von Carlo verfasst. Die dazu benötigten Unterlagen wurden uns vom Ingenieurbüro Koch+Partner, damals Meyer+Koch, zur Verfügung gestellt. Ausserdem hatten wir die Möglichkeit, Unklarheiten mit am Bau beteiligten Personen zu besprechen.

Wir beschliessen, den Stollen vor Ort zu besichtigen, um das ganze Projekt selbst besser nachvollziehen zu können. Wir fragten dazu beim Bauamt Laufenburg an, ob es ihnen möglich wäre, uns einen Einblick in den Stollen zu gewähren. Mit Herrn Leimgruber vereinbarten wir sogleich einen Termin. Am Samstag, 16. Oktober 2004, besichtigten wir den Stollen in Laufenburg. Herr Leimgruber gab uns dabei detaillierte Erklärungen über Projektidee und Bauvorgang. Ausserdem konnten wir hilfreiche Fotoaufnahmen machen.

Während wir uns mit dem Stollen auseinandersetzten, stellten sich uns folgende Fragen, auf die wir bei verschiedenen Ansprechpersonen Antworten fanden. Die Antworten haben wir im Text integriert.

- Wie konnten aus die Keller der Häuser so genau angebohrt werden?
- Wie wurde die Lagegenauigkeit während dem Vortrieb kontrolliert?
- Hat der Stollen neben der Altstadtentwässerung auch noch weitere Funktionen?
- Besteht die Gefahr, dass der Stollen durch eindringendes Grundwasser gefüllt werden könnte oder wird dieser entwässert?
- Gab es Schwierigkeiten beim Bohrvortrieb?
- Gab es während der Bauarbeiten Unfälle?

Zur Orientierung haben wir eine Übersichtsskizze angehängt (Siehe S. 28, Kap. 4.6). Diese kann während dem Lesen ausgeklappt werden. Die wichtigsten erwähnten Gebiete und Gebäude sind im Text **rot** markiert und auf der Skizze gekennzeichnet. So hat der Leser immer einen Überblick und kann sich die Gegebenheiten besser vorstellen.

4.2 Relevanz

Das Abwasser der Laufenburger Altstadt wurde vor der Inbetriebnahme des Abwasserstollens 1981 direkt in den Rhein geleitet: Beim **Rhytürli** und in der Nähe des Hotel **Roter Löwe** befanden sich die Ausläufe. Dies entsprach aber nicht mehr den strengen Vorschriften des eidgenössischen Gewässerschutzgesetzes vom 11. Januar 1977. Das Projekt „Kanalisation Altstadt“ sah vor, das Abwasser des betroffenen Gebietes in die zuvor gebaute Gemeinschaftskläranlage der Ciba-Geigy zu entwässern.

„Offenbar, weil der Anschluss an die ARA mit der Lösung schwieriger technischer Probleme und mit grossem finanziellen Aufwand verbunden ist, hat der Zusammenschluss nicht früher erfolgen können“, heisst es in einem Technischen Bericht des damaligen Ingenieurbüros Meyer+Koch, vom 10. November 1979.

Die Hauptschwierigkeiten bot der hoch anstehende, quarzreiche und harte Gneis, auf dem die Altstadt gebaut wurde. Ein weiteres Problem waren die tiefer gelegenen Gebiete am Rhein, auch sie sollten entwässert werden.

Mit Absprache der kantonalen Abteilung für Gewässerschutz wurden verschiedene Varianten (Siehe S. 18, Kap. 4.3) geprüft und am 1. Februar 1979 wurde dem Ingenieurbüro Meyer+Koch der Auftrag für das Kanalisationsprojekt erteilt.

4.3 Varianten

Zur Schmutzwasserabführung des in den Rhein entwässerten Baugebietes standen drei Varianten zur Diskussion:

- Variante offener Grabenbau: In den Gassen der Laufenburger Altstadt sollen Kanalisationsleitungen gelegt werden.
- Variante Rhein: Im Rhein soll unterhalb der Niederwasserkote eine Schmutzwasserleitung verlegt werden.
- Variante Tunnel: In einem Stollen soll eine Schmutzwasserleitung verlegt werden.

Auf Grund von Planungsstudien wurden alle drei Varianten miteinander verglichen. Dazu wurden jeweils die Vor- und Nachteile erörtert.

Die „Variante offener Grabenbau“ schnitt dabei als die am wenigsten geeignete Variante ab. Dies, weil die jahrhundertealten Liegenschaften von den Spreng- und Kompressorarbeiten in Mitleidenschaft gezogen worden wären. Hinzu kamen Verkehrsbehinderungen und Lärmimmissionen, die während der ganzen Bauzeit angefallen wären. Ausserdem wären wegen den schwierigen Anschlussmöglichkeiten für die rheinseitig gelegenen Liegenschaften wiederum Probleme entstanden.

Die „Variante Rhein“ hätte sich laut Studie besser geeignet, da die Altstadt grösstenteils von Sprengarbeiten und Verkehrsbehinderungen verschont geblieben wäre und zudem bessere Anschlussmöglichkeiten für die rheinseitig gelegenen Liegenschaften bestanden. Die Variante wurde aber ebenfalls verworfen, da komplizierte Taucherarbeiten angefallen wären, weil die Stahlleitung durch Korrosion und Schwemmmaterial gefährdet worden wäre und die ganzen Arbeiten von wasserbaupolizeilichen Auflagen abhängig gewesen wären.

Indessen entschied man sich für die „Variante Tunnel“, da sie einerseits bessere und direktere Anschlussmöglichkeiten für Anlieger bot und andererseits, wie bei der „Variante Rhein“, die Altstadt von Verkehrsbehinderungen und Arbeiten grösstenteils

verschonte. Hinzu kommt, dass der Stollen eine Kontrolle der Schmutzwasserleitung jederzeit zulässt und auch später für andere Werkleitungen genutzt werden könnte. Der grosse Nachteil war aber die Unsicherheit betreffend Härtegrad des Gneises und allfälliger Lockergesteins- oder Lehmklüften.

4.4 Bauvorgang

4.4.1 Geologisches Gutachten

Die Universität Bern arbeitete ein geologisches Gutachten aus. Demnach liegt die Laufener Altstadt *„auf einer herausgerodierten Rippe von kristallinen Gesteinen, die zum Schwarzwald-Massiv gehören“*. Die Festigkeit der Gesteine sei im Gebiet **Roter Löwe** am höchsten, dort treten plattige, feinlagige Gneise auf. In Richtung Westen, beim **Rhytürli**, ist die Festigkeit geringer, dort besteht der Baugrund aus homogenen, rötlich gefärbten, granitoiden Gesteinen.

4.4.2 Bohrvorgang

Allgemein

Als Vortriebsmethode im Stollenbau entschied man sich für eine Bohrung. Zuerst wurde auf dem Vorplatz beim **Hotel Roter Löwe** eine Baugrube ausgehoben. Mit einem Mini-Fullfacer wurde zunächst ein 20 m langer Versuchsstollen gebohrt. Diese Maschine konnte aber zum weiteren Vortrieb nicht verwendet werden, da der Bohrkopf wegen des harten Gesteins zerstört wurde. Aus diesem Grund musste man eine grössere Maschine einsetzen. Da diese aber für den Zusammenbau mehr Platz benötigte als beim **Roten Löwen** vorhanden war, musste man den Bohrvortrieb bei der **Badstube**, dem unteren Ende des Stollens, beginnen. Diese Maschine wurde während dem Bohrvorgang zusammengebaut.

Bohrvortrieb

Der Stollenbau war auch eine Herausforderung für die Firma Maurer aus Beckenried, die die Bohrarbeiten ausführte, denn in der Schweiz wurde zuvor noch nie ein Stollen mit einem so kleinen Durchmesser (2.27 m) und einem so engen Radius (90 m) gebohrt. Der Radius wurde erreicht, indem der Bohrkopf immer nach einem halben Meter neu ausgerichtet wurde. Um die Richtung anzuzeigen wurden an der Oberseite des Stollens Laser montiert und justiert. So konnte der Maschinenführer kleine Abweichungen immer auskorrigieren. Die maximale Abweichung von der projektierten Achse betrug etwa 40 cm, die Lageabweichung beim **Roten Löwen**, am Ende des Stollens 5 cm und die Höhe konnte auf 1.5 cm genau angebohrt werden.

Kosteneinsparung

Die NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle) war zu dieser Zeit in der Region Kaisten und Laufenburg auf der Suche nach einem geeigneten Platz für ein Endlager für radioaktive Abfälle. Da aus diesem Grund Interesse an geologischen Erkenntnissen in diesem Gebiet vorhanden war, bezahlte sie das Anbohren der Keller vom Stollen aus. Als Gegenleistung wurden ihr die Bohrkern für Untersuchungen überlassen. So konnten immense Kosten eingespart werden.

Ablauf

Der Bauvorgang ist im Allgemeinen sehr zufrieden stellend abgelaufen. Es gab weder Unfälle, noch sind irgendwelche unerwarteten wasserführenden Felsspalten angebohrt worden. Darum gab es auch keine Mehrkosten. Das ausgebohrte Feinkörnige Material wurde als Zuschlagsstoff für Strassenbeläge weiterverwendet.

4.4.3 Weitere Informationen

Baubeginn:	18. August 1980
Installationszeit:	16 Tage (18.August bis 8.September)
Bohrzeit:	46 Tage (9.September bis 13.November)
Gebohrte Länge:	200 m
Durchmesser:	2.20 m
Mittlere Bohrleistung:	4.35 m pro Tag
Maximale Bohrzeit pro 0.50 Meter:	32 Minuten
Minimale Bohrzeit pro 0.50 Meter:	8 Minuten
Lageabweichung am Schluss:	5 cm
Höhenabweichung:	1.5 cm
Kosten:	ca. 620'000.-- Fr.
Einsparung gegenüber Kostenvoranschlag:	ca. 180'000.-- Fr.
Inbetriebnahme:	1981

4.4.4 Erschütterungsmessungen

Allgemein

Während den Bohrarbeiten wurden Erschütterungsmessungen angeordnet. Erschütterungsquellen waren einerseits die Bohrmaschine, andererseits aber auch einzelne Lockerungssprengungen. Die dazu verwendete Anlage GEOTEST D 3300 bestand aus:

- 4 Seismometern D 9200
- 1 Verstärkereinheit
- 1 Registrierkamera

Damit konnten in alle drei Dimensionen Frequenzen zwischen 5 und 500 Hz gemessen werden.

Messpunkte

Messungen wurden an vier Punkten vorgenommen. Drei davon im Kellergeschoss des Neubaus **Roter Löwe**, der sich direkt über dem Stollen befindet, und einer im Keller vom **Coiffeur-Laden**, auf anstehendem Fels. Die Erschütterungsfrequenzen lagen für beide Erschütterungsquellen über 100 Hz.

Ergebnisse

Die Messungen zeigen, dass die Erschütterungsstärke räumlich rasch abklingt. So sind jeweils praktisch nur die unterfahrenen Gebäude betroffen. Die Erschütterungen der Fräsmaschine erreichten einen Wert von $R = 3 \text{ mm/s}$, diejenigen der Hohlladungen für die Lockerungssprengungen bis $R = 20 \text{ mm/s}$. Für neuere Bauten wurde ein Richtwert von 25-30 mm/s, für ältere Bauten 15-20 mm/s festgelegt. Wenn die Erschütterungen diese Richtwerte nicht übersteigen, so sind nur vereinzelte Kleinschäden zu erwarten, beispielsweise Abfallen loser Putzschichten oder Springen von nicht fachgerecht gefasster Glasscheiben. Bei der Anwendung der Hohlladungen wurden die Erschütterungen laufend überwacht, da es möglich war, dass diese die Richtwerte überschreiten konnten.

4.4.5 Begehung der betroffenen Keller

Um genaue Informationen über den Felsverlauf zu erhalten, wurden sämtliche Keller im Bereich des geplanten Tunnels begangen. So konnte festgestellt werden, dass der Stollen über die ganze Strecke im Fels verläuft. Gleichzeitig wurden bestehende Leitungen genau aufgenommen, um die Anschlussmöglichkeiten der einzelnen Häuser zu prüfen. Dabei wurde festgestellt, dass im Stollenbereich zum Teil mehrere Häuser intern zusammengeschlossen waren, und somit gemeinsam in den Stollen geleitet werden konnten. Die vorgeschlagenen Anschlüsse mussten aber jeweils noch mit den betroffenen Hauseigentümern besprochen werden.

4.5 Ein Marsch durch den Stollen

Der Haupteingang in den Stollen befindet sich auf der unteren Seite des Stollens, bei der **Badstube**, nur ein paar Meter vom Rheinufer entfernt. Von hier aus wurde die Bohrung dazumal auch in Angriff genommen. Er ist durch eine Blechklappe von 90x110 cm verschlossen, die sich mit einem Dreikantschlüssel öffnen lässt (Siehe Abb. 13). Zum Einstieg sind ein Haltegriff und eine Stahltreppe vorhanden. (Siehe Abb.14). Der Einstiegsschacht ist 2.5 m tief.



Abb.13: Eingang geschlossen



Abb.14: Einstiegslucke geöffnet

Unmittelbar beim Abstieg sieht man die Abwasserhauptleitung, ein Hart-PE-Rohr mit einem Durchmesser von 500 mm. Dieses verlässt hier den Stollen und mündet in einem Vereinigungsschacht, der etwa 10 Meter weiter westlich bei der **Badstube** liegt. An der oberen Stollenscheitel verläuft die Elektroversorgung, sowie ein Kabel für die Stollenbeleuchtung. Teilweise sind auch noch weitere Leitungen, wie Telefon oder Wasser sichtbar. Diese sind im untenstehenden Querschnitt (Siehe Abb.15) nicht aufgeführt, da diese meist nur ein einzelnes Gebäude versorgen und für die Allgemeinheit nicht relevant sind.

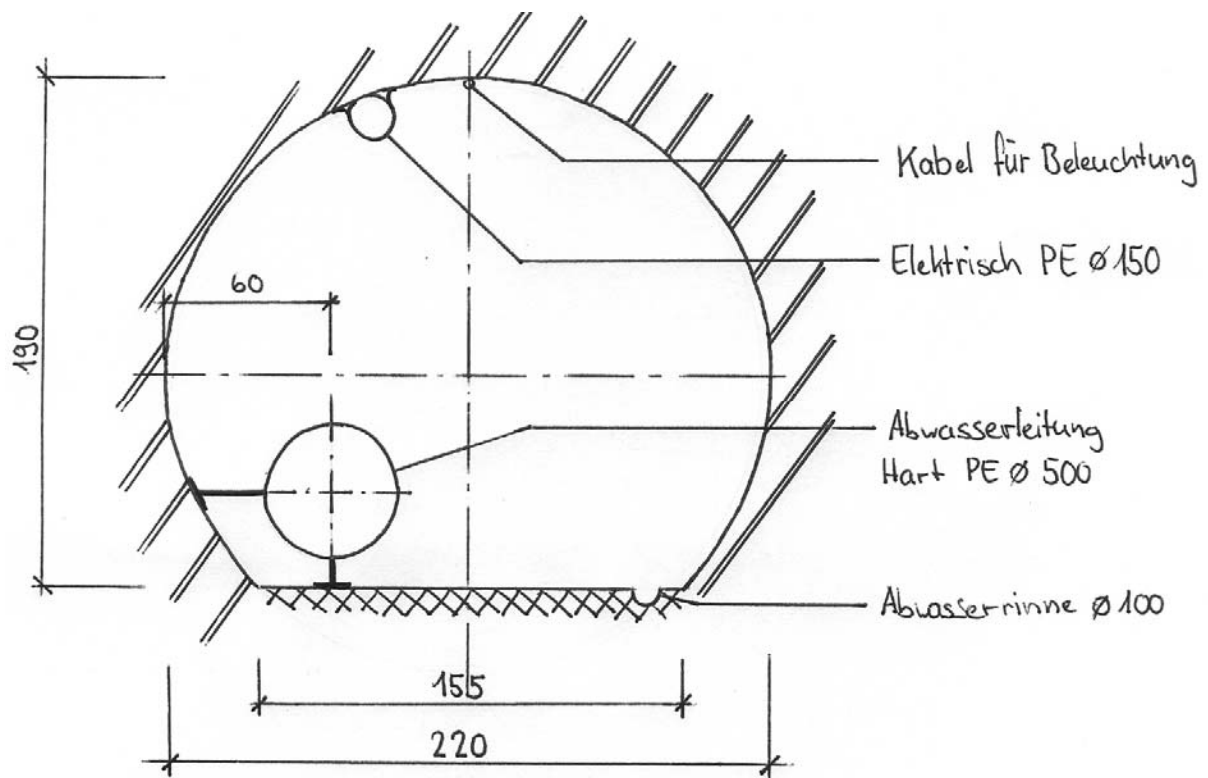


Abb.15: Querschnitt vom Stollen im westlichen Bereich

Die Stollenwände sind durch das einsickernde Wasser ständig feucht. Folglich sind an zahlreichen Stellen Kalkablagerungen sichtbar. Um das stetig anfallende Wasser ableiten zu können, erstreckt sich auf die gesamte Stollenlänge eine Abwasserrinne mit einem Durchmesser von 100 mm. Sie mündet beim Einstieg in einem Pumpensumpf (Siehe Abb.16/17). Ab einem gewissen Wasserstand schaltet die Pumpe ein und befördert das Wasser in denselben Vereinigungsschacht, indem auch die Schmutzwasserhauptleitung mündet.



Abb.16: Bereich Einstieg



Abb.17: Pumpensumpf

Die Stollenhöhe von 1.90 m erlaubt einen aufrechten Gang. In die Schmutzwasserleitung münden zahlreiche Anschlüsse von den Gebäuden der Laufener Altstadt, die jeweils mit einer Öffnung zum Spülen versehen sind (Siehe Abb.18).



Abb.18: Hausanschlüsse

Die Hausanschlüsse sind mit verzinkten Eisenhalterungen im Fels verankert. Im Laufe der Jahre erlitten diese aber infolge der ständigen Metallkorrosion kleine Schäden, die bis anhin aber nie Probleme machten. Dennoch mussten sie repariert werden. Anstatt neue Halterungen anzubringen wurden die verrosteten Befestigungen blank geschliffen und mit einem Schutzanstrich versehen (Siehe Abb.19/20).



Abb.19: Verankerung Hausanschlüsse



Abb.20: Verankerung Hausanschlüsse mit Schutzanstrich

Neben den Halterungen der Hausanschlüsse haben aber auch diejenigen der Schmutzwasserleitung gelitten (Siehe Abb.21). Wie uns Herr Leimgruber mitteilte würden diese in absehbarer Zeit ersetzt, um allfällige Schäden zu vermeiden.



Abb.21: Korrosion Halterungen
Abwasserleitung

Bei jedem Hausanschluss ist auf der gegenüberliegenden Seite eine Markierung sichtbar (Siehe Abb.22). Mit zwei solchen Kreuzen, auf beiden Seiten des Tunnels, gaben die Geomatiker für jede Bohrung den Richtungsvektor an, um die Gebäudekeller nicht zu verfehlen.



Abb.22: Markierung

Der Stollenbau löste auch auf Geologen eine grosse Anziehungskraft aus. Fast auf der gesamten Länge sind eindruckliche Gesteinsschichten in verschiedenen Farben sichtbar (Siehe Abb.23). Dazwischen gibt es einige ausgebrochene Stellen in der Wand, die mit Quarz „ausgekleidet“ sind (Siehe Abb.24).



Abb.23: Gesteinsschichten



Abb.24: Ausgebrochene, mit Quarz „ausgekleidete“ Stelle

Am Ende des Stollens hat der Gang einen rechteckigen Querschnitt (Siehe Abb.25). Dieser mündet in eine kleine Kammer, die direkt unter dem Vorplatz des **Roten Löwen** liegt. Diese Kammer wurde bereits vor den Bohrarbeiten ausgehoben, sie wurde dazumal zum Ausbau der Bohrmaschine benötigt. Der Stollen ist auch von hier durch einen Einstieg begehbar, der mit einem Schachtdeckel verschlossen ist.

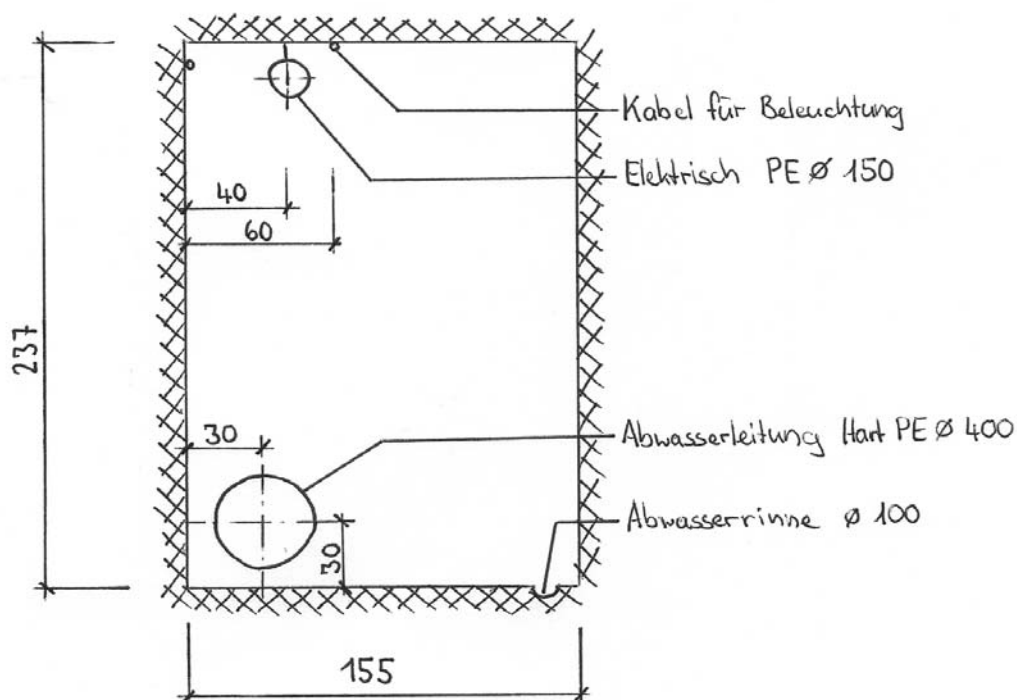
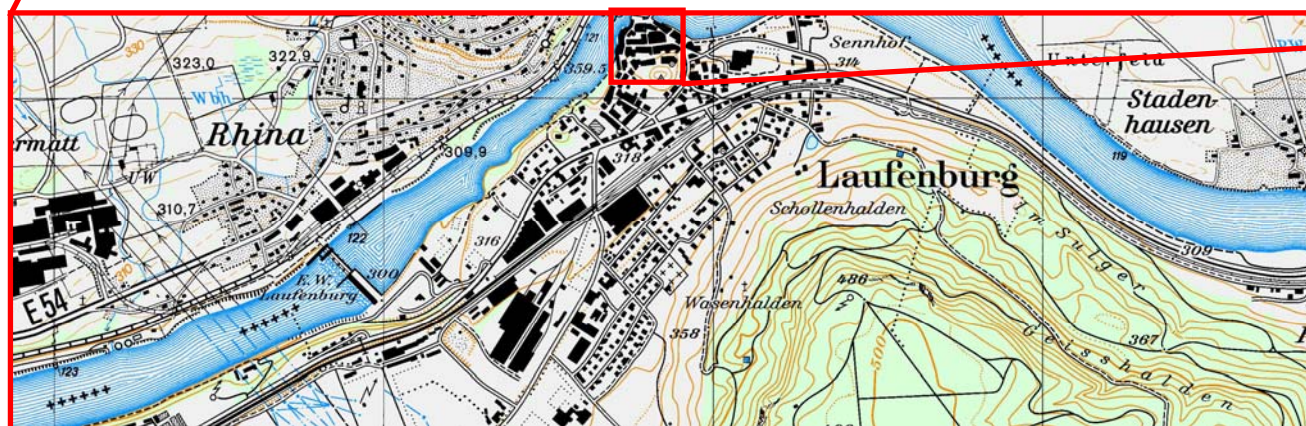
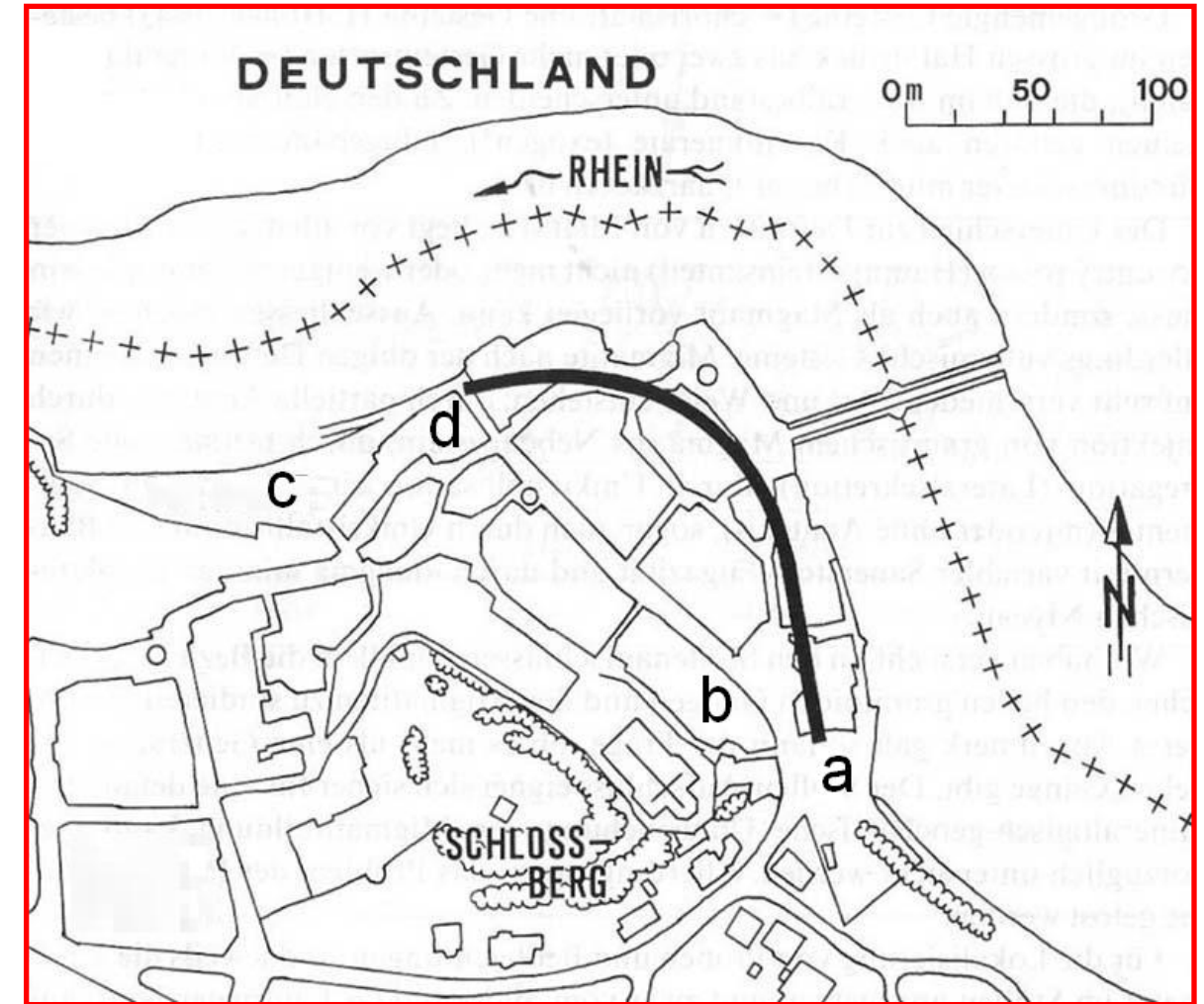
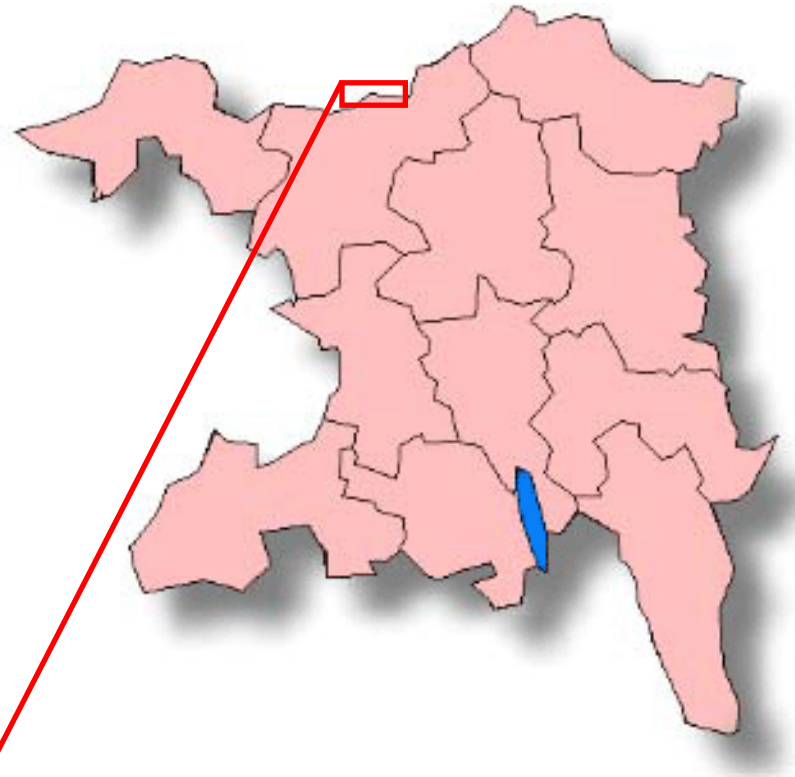


Abb.25: Skizze Stollenquerschnitt im oberen Bereich

4.6 Übersichtskarte



Legende

- a) Roter Löwe
- b) Coiffeur-Laden
- c) Badstube
- d) Rhytürli

Laufenburg ist eine kleinere Stadt im Norden des Kantons Aargau. Der Stollen führt unter der Altstadt durch und dient zu deren Entwässerung.

5. Schlusswort

Im geschichtlichen Teil unserer Arbeit (Siehe Kap.2) lernt der Leser die Bedeutung des Gotthard-Eisenbahntunnels kennen und wird mit den wichtigsten Informationen über den Bauvorgang des Tunnels vertraut gemacht. Dazu gehören einerseits Planung, Ausführung, Inbetriebnahme und Weiterentwicklung des Eisenbahntunnels. Zurzeit befindet sich der neue Basistunnel im Bau, alle Informationen haben wir im Kapitel 3 verarbeitet.

Den praktischen Teil über das Projekt „Kanalisation Altstadt“ (Siehe Kap.4) haben wir so ausgelegt, dass zuerst einmal im Kapitel „Relevanz“ erklärt wird, wozu der Stollen überhaupt gebaut wurde. Anschliessend werden die Projektgrundlagen abgehandelt und zum Schluss wird der Stollen dokumentiert, wie er heute aussieht. Der Leser kann sich anhand der im Text integrierten Fotografien den ganzen Bau sehr gut vorstellen. Mit Hilfe der Übersichtskarte kann sich der Leser bestens über die örtlichen Verhältnisse orientieren.

6. Anhang

6.1 Dank

Wir bedanken uns bei folgenden Personen, sie haben durch ihre kompetenten Auskünfte dazu beigetragen, diese Facharbeit so interessant zu gestalten.

- Herr Leimgruber vom Bauamt Laufenburg war so freundlich und hat uns durch den Werkleitungsstollen geführt. Er konnte kompetent unsere Fragen beantworten und gab uns zusätzliche Informationen zum Bau.
- Herr Hofmann vom Ingenieurbüro Koch+Partner stellte uns sämtliche Projektunterlagen und Dokumentationen des Bauprojektes zur Verfügung.

- Herr Amsler vom Ingenieurbüro Koch+Partner konnte uns Auskunft über den Bauvorgang und die Vermessungsmethode geben. Da er auch den Lehrlingsausflug der Firma Koch+Partner führte, haben wir ihm auch die Idee, diesen Stollen zu behandeln, zu verdanken.
- Das Ingenieurbüro Eichenberger stellte uns EDV- und Druckeranlagen zur Beendigung unserer Arbeit zur Verfügung.

6.2 Bibliographie

Alle Angaben und Bilder haben wir folgenden Quellen entnommen:

Primärlektüre: Historische Alpendurchstiche in der Schweiz, 1996
Seiten 10-31
ISBN 3-7266-0029-9

Sekundärlektüre: Bahnsaga Schweiz, 150 Jahre Schweizer Bahnen, 1996,
Seiten 51-66
ISBN 3-9051-1107-1

- Zeitschriften der AlpTransit Gotthard AG
 - Die neue Gotthardbahn - Die Vision
 - Die neue Gotthardbahn - Das Projekt
 - Die neue Gotthardbahn - Der Bau
- Zeitschrift Strom: Schaubild Tunnelbohrmaschine, Ausgabe 1/2003
- Projektunterlagen Werkleitungstollen Laufenburg des Ingenieurbüros Koch und Partner in Laufenburg.

6.3 Ehrlichkeitserklärung

Carlo Schmid und Markus Baumgartner bestätigen hiermit, diese Arbeit ohne Hilfe von Drittpersonen verfasst zu haben. Sämtliche Berichte wurden anhand von Informationen mit entsprechenden Quellenangaben selbstständig verfasst.

Markus Baumgartner

Ort/Datum:

Unterschrift:

Carlo Schmid

Ort/Datum:

Unterschrift:

6.4 Weiterverwendung der Facharbeit

Markus Baumgartner und Carlo Schmid gestatten der Lehrperson, diese Facharbeit „Tunnelbau“ zu Weiterbildungszwecken oder als Beispiel für zukünftige Berufslernende zu verwenden. Berufslernende können diese Arbeit als Beispiel hinzuziehen oder für Vorträge und Präsentationen gebrauchen. In jedem Fall sollte jedoch das Copyright mit Quellenangabe beibehalten werden.

6.5 Schlussbetrachtung