

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 130 (2004)
Heft: 33-34: Umfahrungen

Artikel: Der Kampf mit dem Trümmerhaufen: anspruchsvolle
Lockergesteinsvortriebe für die Umfahrung Flims

Autor: Fluder, Anton / Forster, Beat / Bergmann, Rolf / Rogenmoser, Marcel /
Wenger, Peter / Hosang, Stefan

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-108430>

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: 15.03.2025

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

Der Kampf mit dem Trümmerhaufen

Anspruchsvolle Lockergesteinsvortriebe für die Umfahrung Flims

Der High-Tech-Tunnelbau im Gebirge ist nicht frei von Überraschungen, wie der Vortrieb des Tunnels Flimserstein gezeigt hat. Aber auch in instabilem, wasserführendem Geröll findet die Tunnelbautechnik noch einen sicheren Weg. Als es im Jahre 1908 beim Bau des Lötschbergtunnels zu einem Einbruch kam, musste noch die Linienführung verlegt werden. Heute genügt es, die Vortriebsmethode anzupassen.

Für die Durchörterung des Verrucano-Rutschmaterials im Tunnel Flimserstein wurde 1999 auf der Grundlage eines Variantenvergleiches ein Kalottenvortrieb im Schutz eines Jetgewölbes ausgeschrieben. Bei diesem Verfahren dient ein Schirm aus horizontalen Einzelpfählen wie in Bild 2 als Überkopfsicherung. Für die Herstellung der Pfähle (Jetting) wird jeweils eine 15–18 m lange horizontale Bohrung vorgetrieben und während des Zurückziehens des Bohrgestänges aus dem rotierenden Bohrkopf eine Zement-Wasser-Mischung unter Druck ins Erdmaterial gespritzt. Das Erhärten der Mischung aus Zement und Verrucanomaterial ergibt einen tragfesten Pfahl. Bei der Wahl dieser Baumethode ging man davon aus, dass das umliegende Gebirge mittels der beschriebenen Jetsäulen stabilisiert werden muss, um so unter anderem dem Gefährdungsbild «wasserführende Sandschichten» zu begegnen. Später wurde dieses Gefährdungsbild aufgrund neuerer geologischer Aufschlüsse in Baugruben im Raum Flims und einer aktualisierten Risikoabschätzung als unwahrscheinlich eingestuft. Die Beurteilung der geotechnischen Eigenschaften fiel im Vergleich zu den ursprünglichen geologischen Untersuchungen günstiger aus, weshalb die in der Ausschreibung gewählte aufwändige Baumethode Ende 2001 nochmals hinterfragt wurde.

Als Resultat der erneuten Evaluation stand neu der in Bild 1 dargestellte Kalottenvortrieb mit Spiessen und vorgängigem Pilotstollen im Firstbereich der Kalotte als ca. 10% kostengünstigere Bestvariante zur Diskussion. Der Pilotstollen ermöglicht zudem eine Vorauserkundung und vorgängige Entwässerung des anstehenden Materials für den Hauptvortrieb. Da je nach geologischen Verhältnissen zusätzliche Bauhilfsmassnahmen aus dem Pilotstollen durchgeführt werden können, ist diese Lösung auch flexibler als das Jetting. Als Nachteil erweist sich hingegen vor allem das erhöhte Restrisiko, falls man während des Vortriebs auf ungünstigere geologische Verhältnisse trifft.

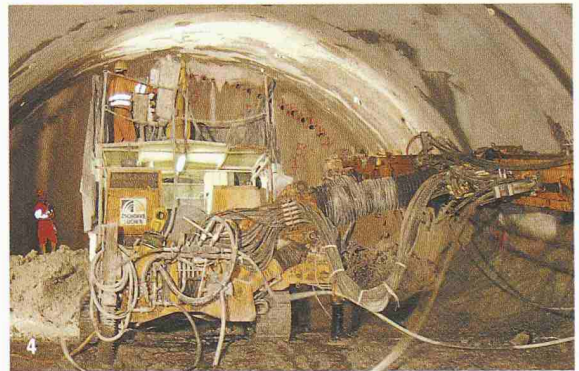
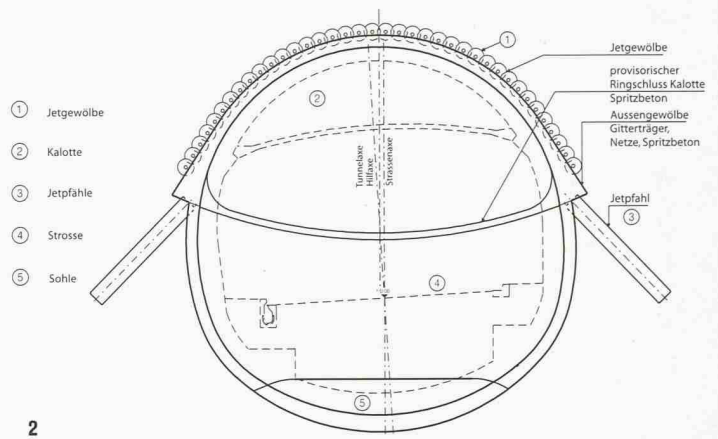
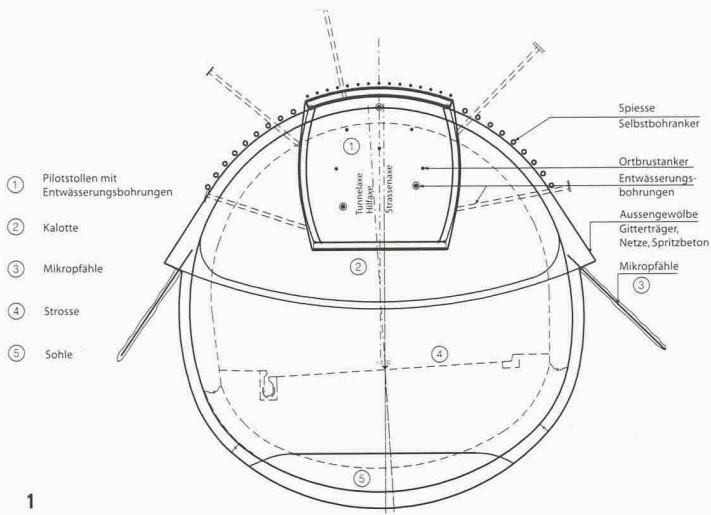
Aufgrund dieses Vergleiches hat die Bauherrschaft entschieden, die Variante Pilotstollen auszuführen. Beim Ausbruch des Pilotstollens trat unmittelbar beim Anfahren des Lockergesteins im First ein Niederbruch ein. Das niedergebrochene Material bestand nicht aus dem erwarteten Verrucanoschutt, sondern aus einer vollständig wassergesättigten, siltreichen umgelagerten Moräne, deren geotechnische Eigenschaften um einiges schlechter waren als die des Verrucano.

Als Konsequenz aus diesen veränderten Bedingungen wurde wiederum auf die ursprünglich ausgeschriebene Jettinglösung umgestellt.

Bauvorgang Jetting

Der Vortrieb in der Lockergesteinsstrecke erfolgt steigend in Etappen von 12 m Länge gemäss den in Bild 2 aufgeführten Schritten:

- Erstellen von 45 Jetpfählen von je 15–18 m Länge rund um den Kalottenquerschnitt und zusätzlich von ca. 10–25 Jetpfählen in der Ortsbrust
- Entwässerungsbohrungen in Tunnellängsrichtung in der Ortsbrust
- Ausbruch in Schritten von ca. 1 m, Sicherung mit Gitterträgern, Spritzbeton und Netzarmerung (Bild 3)
- Einbau der Kalottensohle nach 6.0 m
- Erstellen von radialen Entwässerungsbohrungen durch das Aussengewölbe
- Erstellen von schrägen Jetpfählen zur Sicherung der Kalottenfüsse maximal 24 m hinter der Ortsbrust
- Ausbruch und Sicherung der Strosse und der Sohle mit kurzem Ringschluss nach Beendigung des Kalottenvortriebs.

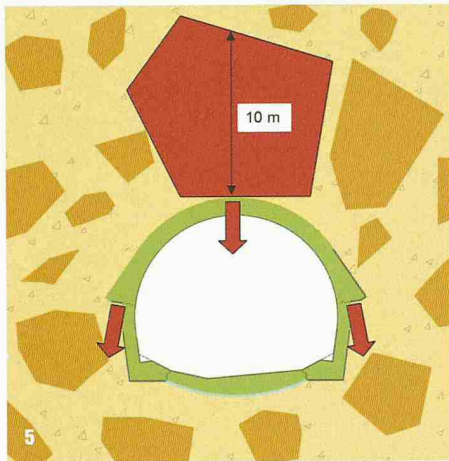


1
 Bauablauf des 2001 für die Strecke im Verrucano-Rutschmaterial vorgesehenen Kalottenvortriebs mit Pilotstollen und Spiesen (Bilder: Basler & Hofmann)

2
 Bauablauf des 2003–2004 in einem Teil der Strecke im Verrucano-Rutschmaterial ausgeführten Kalottenvortriebs im Schutz eines Jettingschirmes

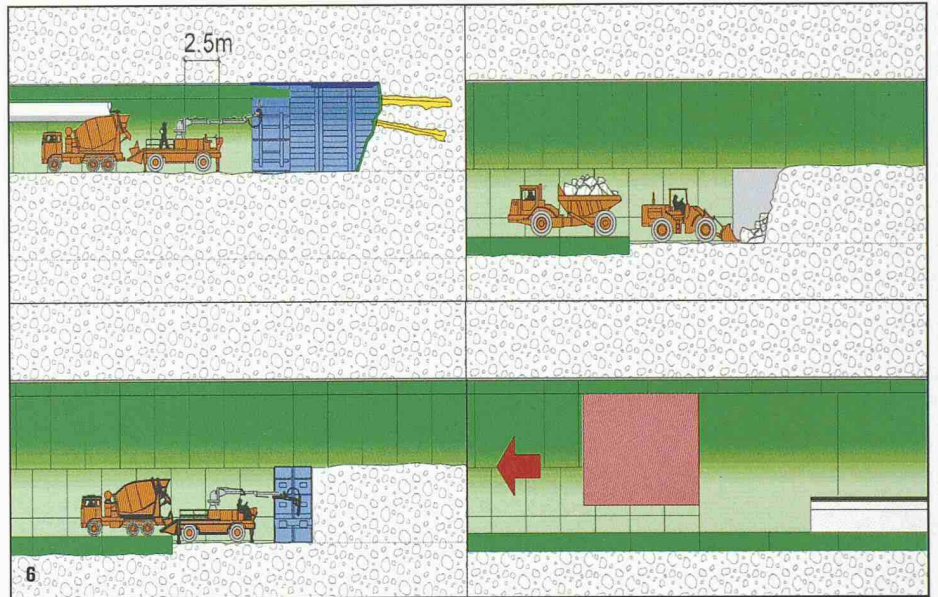
3
 Kalottenvortrieb im Verrucano-Rutschmaterial: Sicherung der Kalotte unmittelbar hinter der Ortsbrust mit Gitterträgern, Bewehrungsnetzen und Spritzbeton (Bild: Tiefbauamt Graubünden)

4
 Erstellen von 45 Jetzpfählen von je 15–18m Länge rund um den Kalottenquerschnitt



5

Schematische Beanspruchung im Bergsturzmaterial durch eine grosse Einzellast (Block) auf das Ausagewölbe (Bild: Locher)



6

Schematischer Ablauf des Tunnelvortriebs mit Messerschild im Bergsturzmaterial und Teilen des Verrucano-Rutschmaterials.

Oben links: Nach dem Kalottenvortrieb mit Messerschild und Bagger: Sichern und Betonieren des Ausagewölbes der Kalotte

Oben rechts: Stross- und Sohlabbau mit Radlader

Unten links: Einbau Parament und Sohlgewölbe

Unten rechts: Innenausbau (Abdichtung, Innengewölbe, Fahrbahn)

7

FE-Modell für Boden und Tunnelschale im Bergsturzmaterial. Berechnete totale vertikale Verschiebungen im Endzustand im Bergsturzmaterial.

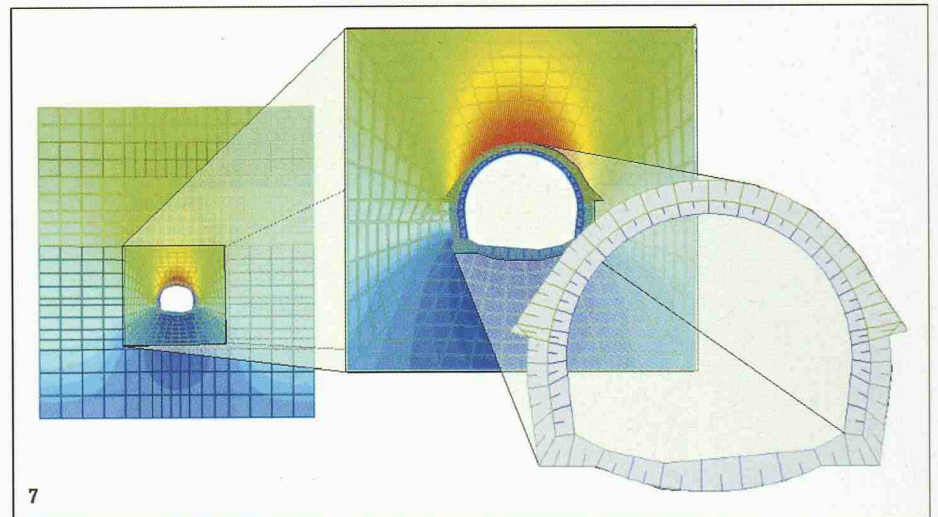
Die maximale Verschiebung des Gebirges am Ausbruchsrund beträgt 15 cm (rote Felder), während am Tunnelfirst Deformationen bis 6 cm (dunkelgrüne Felder) auftreten können (Bild: Locher)

8

Messerschildvortrieb im Bergsturzmaterial: Ausbruch mit Abbauhammer und Bagger, vgl. Bild 6 oben links (Bild: Locher)

9

Messerschildverschub über die im Rohbau fertig gestellte Flembrücke im Stennatobel nach dem Durchschlag der Kalotte im Tunnel Prau Pulté (Bild: Locher)



7



8



9

Jettingvortrieb: Bemessung und Statik

Die Berechnung des Aussengewölbes erfolgte nach der Methode der finiten Elemente. Der Auflockerungsdruck wurde nach der Silotheorie berechnet und der Einfluss des Wassers auf das Aussengewölbe anhand der folgenden Lastfälle ermittelt:

- ohne Wasserdruck
 - Strömungsdruck auf das Kalottengewölbe und das fertige Aussengewölbe
 - statischer Wasserdruck auf das fertige Aussengewölbe
- Der Nachweis der Tragsicherheit des Aussengewölbes erfolgte für alle Bauzustände und unter Berücksichtigung der Bauhilfsmassnahmen und ergab, dass eine Aussengewölbestärke von mindestens 35 cm für alle Gefährdungsbilder ausreicht und eine maximale Firstsetzung von ca. 50 mm im Zustand der Kalotte zu erwarten ist.

Nach etwa 70 m Kalottenvortrieb, davon 50 m vollständig im Lockergestein, betragen die maximalen vertikalen Verschiebungen im First ca. 35 mm. Davon sind ca. 10 mm während der Ausführung der schrägen Jetpfähle aufgetreten. Nach Fertigstellung der schrägen Jetpfähle bei den Kalottenfüssen ist ein klares Abklingen der Firstdeformationen feststellbar.

Erfahrungen mit dem Jettingverfahren

Die Umstellung vom Vortrieb mit Pilotstollen auf den Kalottenvortrieb mit Jetting erwies sich als anspruchsvoll. Zur Stabilisierung des verbrochenen Materials wurden in der Startphase zwei parallele Jettingschirme über der Kalotte erstellt und zusätzlich mit je einem Bewehrungsstahl in Pfahlmitte verstärkt. Die Ergiebigkeit der sechs in der Ortsbrust erstellten Entwässerungsbohrungen war sehr gering und erhöhte sich auch mit Unterdruck nur unwesentlich. Beim nachfolgenden Vortrieb im moränenartigen Material zeigte sich jedoch, dass trotz Entwässerungsbohrungen Wasser in die Tunnelbrust eintritt. Das Material wurde dadurch entfestigt, und es traten lokale Instabilitäten an der Tunnelbrust auf, bis nach ca. 8 m das prognostizierte Verrucanomaterial angefahren wurde. Auch hier erwiesen sich die geotechnischen Verhältnisse als stark wechselnd, und es zeigten sich Anzeichen von Instabilitäten in der Ortsbrust. Als Massnahme zur Sicherstellung der Ortsbruststabilität wurden anstelle von horizontalen Entwässerungsbohrungen zusätzlich zu den bereits vorhandenen 10 Brustpfählen weitere 15 Pfähle erstellt. Seit dieser Massnahme verhält sich die Ortsbrust stabil.

Messerschildvortrieb

Die Wahl des Bauverfahrens im Bergsturzmaterial für den Tunnel Prau Pulté und den letzten Abschnitt des Tunnels Flimserstein erfolgte im Rahmen der Erarbeitung des Submissionsprojektes. Die Hauptkriterien für die Beurteilung waren die technische Ausführbarkeit und die zugehörigen Risiken, Kosten und Termine. Nach der ersten Evaluationsphase standen ein Kalottenvortrieb mit Messerschild oder ein Teilausbruch mit Spritzbeton und Rohrschirm als Bauhilfsmassnahme zur Auswahl. Der Entscheid, einen Messerschild auszuschreiben und auszuführen, wurde aufgrund der guten

Erfahrungen in ähnlicher Geologie (benachbarte Umfahrung Trin), der hohen Arbeitssicherheit und der Kostenvorteile gefällt.

Die einzelnen Phasen dieser Baumethode sind in Bild 6 schematisch dargestellt: In einem ersten Schritt wird die Kalotte mit dem Messerschild über die ganze Tunnellänge aufgefahren. Im Schutz des Messerschildes erfolgt der Ausbruch mit einem Hydraulikbagger (Bild 8). Im hinteren Bereich des Schildes, dem so genannten Schildschwanz, wird das Aussengewölbe in Etappen von 2.5 m betoniert (Bild 6 oben links). Nach dem Durchschlag der Kalotte folgt der Abbau der Strosse und der Sohle (Bild 6 oben rechts). Mit dem Strossabbau werden die Paramente (wechselseitige Etappen von 2.5 m) und anschliessend das Sohlgewölbe (Etappen von 5–10 m) erstellt (Bild 6 unten links). Zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt der Einbau der Abdichtung und des Innengewölbes sowie der Innenausbau (Bild 6 unten rechts).

Zuerst wurde die Kalotte des Tunnels Prau Pulté mit dem Messerschild fallend Richtung Nord aufgefahren (Bild 8). Nach dem Durchschlag im Stennatobel erfolgte das Umsetzen des 250 t schweren Messerschildes über die im Rohbau fertig gestellte Flemlücke für den Vortrieb im Tunnel Flimserstein (Bild 9).

Messerschildvortrieb: Bemessung und Statik

Neben den Einwirkungen aus Eigenlasten und dem Auflockerungsdruck aus dem Gebirge mussten grosse Einzellasten (Felsblöcke bis Durchmesser 10 m), welche auf das Aussengewölbe wirken, berücksichtigt werden (Bild 5).

Die statischen Tunnelberechnungen erfolgten anhand eines zweidimensionalen Rechenmodells nach der Methode der finiten Elemente (Bild 7). Damit konnte der Bauvorgang wirklichkeitsnah abgebildet werden. Für das Bergsturzmaterial wurde ein isotropes, elastoplastisches Materialgesetz mit Bruchkriterium nach Mohr-Coulomb verwendet. Der Überschnitt des Messerschildes und die Auflockerung am Ausbruchrand wurde in den Berechnungen berücksichtigt. Die Kalibrierung des Rechenmodells erfolgte aufgrund einer Parameterstudie, bei der die massgebenden Einflussgrössen variiert wurden.

Die Bemessung der äusseren Tunnelschale wurde nach der Norm SIA 162 für die extremalen Schnittgrössen mit Berücksichtigung eines globalen Sicherheitsfaktors durchgeführt. Die Berechnungen zeigten, dass mit Deformationen bis 6 cm im Tunnelfirst zu rechnen ist. Aufgrund des Überschnittes und der Auflockerung am Ausbruchrand ergaben sich maximale Verschiebungen des Gebirges 15 cm (Bild 7). Die berechneten Setzungen an der Terrainoberfläche betragen maximal 5 cm.

Erfahrungen mit dem Messerschildvortrieb

Das angetroffene Bergsturzmaterial war über weite Strecken verkittet und dicht gelagert, so dass die Verformungen des Aussengewölbes kleiner ausfielen als rechnerisch prognostiziert. Im Weiteren wurden keine grösseren Hohlräume angetroffen, so dass über die gesamte Strecke auf Injektionen und zusätzliche Verfes-

tigungen des Gebirges verzichtet werden konnte. Der Wasseranfall war sehr gering und beschränkte sich auf Sickerwasser in den Portalbereichen. Die starke Verkitung und der sehr hohe Blockanteil ergaben hingegen Schwierigkeiten beim Abbau. Dennoch lag die Richtungsgenauigkeit des Messerschildes über die gesamte Strecke innerhalb der Toleranz von 20 cm.

Entgegen dem ursprünglichen Projekt wurde mit dem Messerschild auch ein Teil des Verrucano-Schuttmaterials im Tunnel Flimserstein aufgeföhren. Der Entscheidung, über die Losgrenze weiterzuföhren, wurde aufgrund des Fehlens des prognostizierten Hangwasserspiegels im Verrucano-Schuttmaterial und aufgrund der Terminalsituation gefällt. Der Vortrieb in diesem Abschnitt erwies sich aber infolge der anspruchsvollen Geologie als zunehmend aufwändiger. Die Deformationen des Aussengewölbes betragen beim Kalottenvortrieb ca. 3 cm und nach dem Stross- und Sohlabbau ca. 4 cm.

Der Tunnel Flimserstein unterquert ausserdem eine Druckwasserleitung der lokalen Elektrizitätsgesellschaft Flims Electric AG. Die während den Vortriebsarbeiten permanent überwachte Leitung wurde während der Unterföhren mit dem Messerschild auf Grund von Risikoüberlegungen entleert. Die maximalen Setzungen an der Oberfläche betragen im Bereich Verrucano bis heute 15 cm, wobei die Verdrehungen in den Muffen der Leitung innerhalb der festgelegten Grenzwerte liegen.

Stand der Arbeiten

Der Durchschlag des Kalottenvortriebs des Tunnels Prau Pulté erfolgte nach ca. 1.5 Jahren am 17. Juli 2001. Anschliessend folgte der Stross- und Sohlabbau in diesem Tunnel. Nach dem Verschub des Messerschildes über die Flemlücke im Juli 2002 konnte der Gegenanriff des Tunnels Flimserstein gestartet und im Frühjahr 2003 die Losgrenze erreicht werden. Bis Ende 2003 wurden mit dem Messerschild ca. 370 m im Tunnel Flimserstein, davon ca. 180 m im Verrucano, aufgeföhren. Gegenwärtig werden die Strosse und die Sohle im Tunnel Flimserstein nachgezogen. Das Innengewölbe im Tunnel Prau Pulté ist bereits fertiggestellt.

Anton Fluder, dipl. Bauing. ETH
Beat Forster, dipl. Bauing. ETH
Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG,
Forchstrasse 395, 8029 Zürich
afluder@bhz.ch
bforster@bhz.ch

Rolf Bergmann, dipl. Bauing. ETH
Marcel Rogenmoser, dipl. Bauing. ETH/SIA
Locher AG Bauingenieure und Bauunternehmer
Pelikan-Platz 5, 8022 Zürich
rolf.bergmann@locher-ing.ch
marcel.rogenmoser@locher-ing.ch

AUSSCHREIBUNGEN

sia-haus ag

Studienauftrag

Sanierung, Umbau und Aufwertung SIA Hochhaus und Nebengebäude, Zürich

Die SIA Haus AG schreibt für anstehende Sanierungs-, Umbau- und Aufwertungsmassnahmen der Gebäude Selnaustrasse 16 und 12 in Zürich einen Studienauftrag aus.

Aufgabe

Die beiden Gebäude sollen in zwei Szenarien (Gesamtsanierung und Teilsanierung) betrachtet werden. Das Hauptaugenmerk liegt auf den Fassaden, den Eingangspartien und den energetischen/technischen Aspekten.

Ziel ist eine umfassende, qualitativ gute und architektonisch überzeugende Gesamtsanierung, die die Nachhaltigkeit des SIA Hauses über die nächsten Jahrzehnte sichert.

Verfahren

Studienauftrag gemäss Anhang SIA Ordnung 142 (Parallelprojektierung). Es werden drei interdisziplinäre Generalplanerteams zur Bearbeitung im selektiven Verfahren bestimmt. Der Studienauftrag wird nicht anonym durchgeführt. Verfahrenssprache ist deutsch.

Teamanforderungen

Architekt/in, Mitglieder des SIA, Federföhren
Bauingenieur/in, Mitglieder des SIA
HLKS-Planer/in, Mitglieder des SIA, USIC oder SWKI
Bauphysiker/in, Firmensitz Schweiz

Entschädigung

Für die Erarbeitung des Studienauftrags werden die drei selektierten Teams mit je CHF 80'000.- exkl. MwSt. honoriert.

Beurteilungsgremium

Daniel Kündig	dipl. Arch. ETH SIA BSA
Adrian Meyer	dipl. Arch. ETH SIA BSA
Regina Gonthier	dipl. Arch. ETH SIA BSA FSAI
Jürg Rehsteiner	dipl. Arch. FH SIA
Eduard Witta	dipl. Ing. ETH SIA
Christian Polke	dipl. Ing. HTL SIA
Dieter Wüst	Bereichsleiter Kantonale Feuerpolizei
Richard Hunziker	Betriebsökonom FH

Zulassungs-, Eignungs- und Beurteilungskriterien

Gemäss Programm zum Studienauftrag

Termine

Anmeldeschluss Studienauftrag	08.09.2004
Begehung und Abgabe der Unterlagen	27.09.2004
Abgabe Studienauftrag	15.12.2004
Abgabe Modell	17.12.2004

Bezug der Unterlagen für den Studienauftrag

Die Unterlagen können über das Internet unter www.ucna.net/siahaus bezogen werden.