

Steinschlagschutzbauten am Lopper (N2)

Autor(en): **Slongo, Rudolf**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 41

PDF erstellt am: **17.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74876>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Steinschlagschutzbauten am Lopper (N2)

Von Rudolf Slongo, Stans

Einleitung

Die Steinschlagschutzbauten Lopper sind Teile der umfangreichen Sanierungs- und Sicherungsarbeiten an der N2 im Abschnitt Hergiswil-Stansstad [1]. Die Galerien am Lopper sind in zwei Baulose aufgeteilt (Bild 1).

- Los 1 umfasst das Gebiet «Reigeldosen» bzw. Westportal des «Acheregg-tunnels Süd».
- Los 2 hingegen dient dem Schutze der N2 im Anschluss an das Westportal des «Acheregg-tunnels Nord».

Für die Projektierung und Ausführung waren folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Gewährleistung des durchgehenden Betriebes der N2 auf allen Spuren mit Ausnahme von kurzen nächtlichen Sperrzeiten für Installations- und Gerüstarbeiten. Nur beschränkte Sperrungen der Kantonsstrasse.
- Keine Lehrgerüstabstützungen im Bereiche der National- und Kantonsstrassen.
- Bestehende Tunnelanlagen der N2 und der Luzern-Stans-Engelbergbahn, die für die Ankerrichtungen grosse geometrische Probleme aufgaben (sehr knapper Bohrlochverlauf an Scheiteln bzw. Sohlen der Tunnels).
- Ausserordentlich umfangreiche Schutzmassnahmen gegen andauernden Steinschlag während der gesamten Bauzeit.
- Äusserst knappe und schwierige Platzverhältnisse für Gerüstungen und Installationen.

Projektgrundlagen

Generelle Situation

Im Abschnitt Hergiswil-Stansstad der N2 sind im Gebiet der Acheregg verschiedene Steinschlagschutzbauten vorgesehen. Im Bereich des Westportals des «Acheregg-tunnels Süd» waren die Galerie 1 für den Schutz der Fahrspuren Gotthard-Luzern, die Galerie 3 in Verlängerung des Tunnels «Süd» für die Spuren der Gegenrichtung und eine Verbindungsgalerie für die ungeschützten Bereiche beider Fahrbahnen sowie für die tiefer liegende Kantonsstrasse zu projektieren. Für die ursprünglich geplanten, in der Höhe stark versetzten

Schutzdächer wurde nach umfangreichen Studien und Besprechungen mit dem Heimat-, Natur- und Landschaftsschutz ein Konsens für alle Beteiligten in Form einer ästhetischen, schlanken und auf einer Höhe durchgehenden Konstruktion gewählt.

Für diese allseits befriedigende Lösung mit weitestmöglicher Rücksichtnahme auf die Landschaft wurden grosse Mehrkosten in Kauf genommen.

Im Bereich des Westportals des «Acheregg-tunnels Nord» war die Galerie 2 für den Schutz der Fahrspuren Gotthard-Luzern zu projektieren.

Geologie

Der Lopper gehört zu den helvetischen Decken. Das anstehende Gestein besteht aus Kieselkalen der Hauteriviense, das sich durch einen hohen Kieselgehalt (20–40%) auszeichnet.

Gemäss dem Bericht des Geologen handelt es sich um dünn und regelmässig gebankte, bräunlich-graue, splitterig brechende, feinkörnige, kieselige Kalke mit geringmächtigen mergeligen Bankungsfugen. Der Fels weist drei ausgeprägte Kluftsysteme auf. Als Projektierungsgrundlage dienten die Unterlagen [2, 3].

Abmessungen

Lage und Abmessungen der Galerien wurden durch den Verfasser des Vorprojektes, dem Ingenieurbüro E. Stucki

+ H. Hofacker, Zürich, aufgrund verschiedener Besprechungen mit den Herren Boffo, Kantonsingenieur, sowie Dr. Schneider, Geologe, festgelegt.

Konzept der Galerien

Auffang- oder Ablenkkonstruktion

Von der Funktion her können grundsätzlich zwei *Galerietypen* unterschieden werden.

Die *Galerie 1* (Bild 2, 3) muss die direkt unter der Konstruktion liegende Fahrbahn schützen. Der Steinschlag kann in den See abgelenkt werden, ohne dass weitere Verkehrsträger gefährdet werden. Es handelt sich hier um eine *Ablenkkonstruktion*. Die *Galerie 3* ist als *Auffangkonstruktion* ausgebildet. Neben den durch die Galerie geschützten Fahrspuren Luzern-Gotthard liegen auf einem tieferen Niveau die Fahrspuren der Gegenrichtung der N2 sowie die Kantonsstrasse.

Durch die hangwärts geneigte Konstruktion wird der Steinschlag aufgefangen und zurückgehalten. Die Fahrbahnen der N2 liegen auch im Bereich der Verbindungsgalerie unterhalb und seitlich neben der Schutzkonstruktion, die deshalb ebenfalls als *Auffangkonstruktion* ausgebildet werden musste.

Die *Galerie 2* (Bild 4, 5) muss ebenfalls als *Auffanggalerie* die direkt unter der Konstruktion liegende Fahrbahn schützen.

Vorprojekt

Bei den Steinschlagschutzbauten handelt es sich um *auskragende Plattenkonstruktionen*, die mit vorgespannten Ka-

Bild 1. Steinschlagschutzbauten Lopper: Los 1 (rechts), über dem Westportal des Acheregg-tunnels Süd, Los 2 (links), über dem Westportal des Acheregg-tunnels Nord



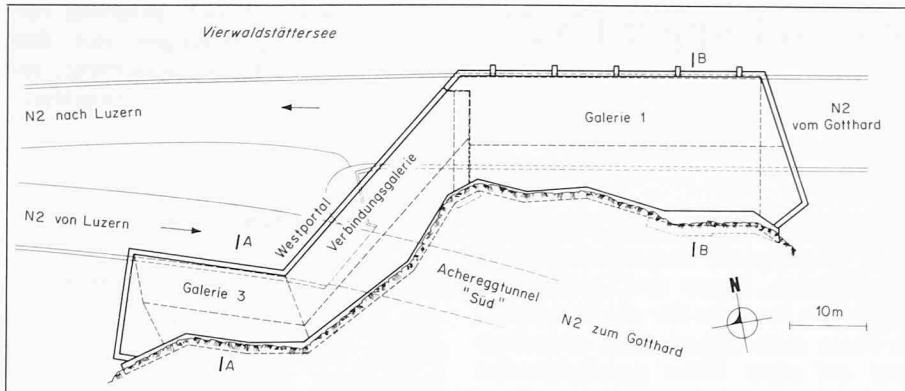


Bild 2. Los 1 (Galerie 1, Verbindungsgalerie, Galerie 3): Grundriss

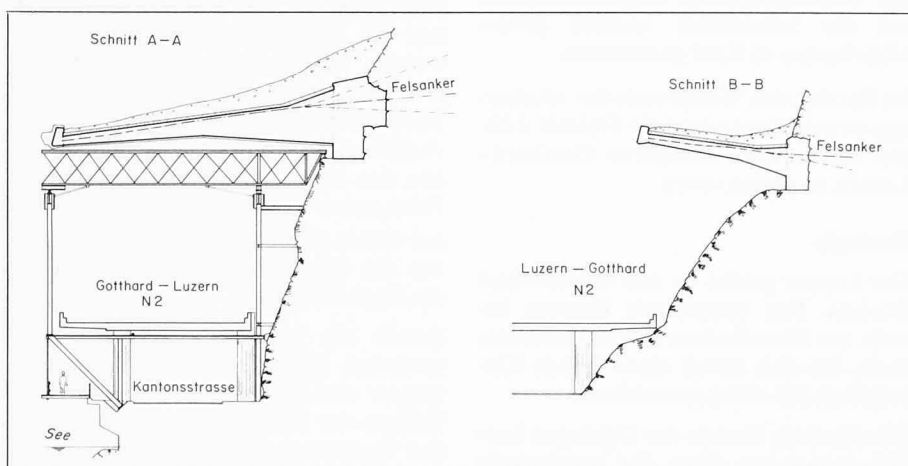


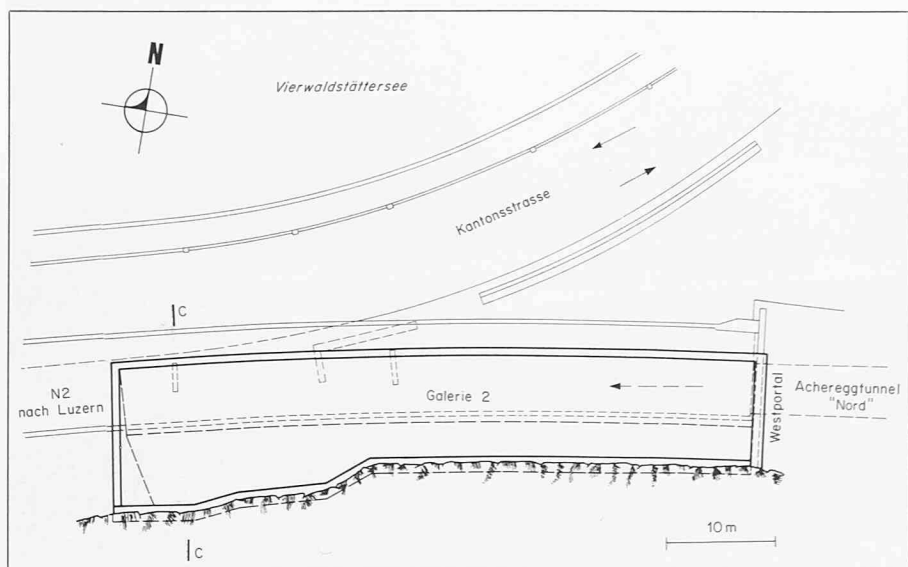
Bild 3. Los 1: Querschnitt A-A und B-B

beln in der rückwärtigen Felswand verankert sind. Das im Vorprojekt erarbeitete Konzept von massiven Konstruktionen in Ortsbeton wurde aufgrund von Kosten-Nutzen-Untersuchungen ermittelt. Die Galeriedecke wird mit einer Schüttung aus Kies-Sand und Humus eingedeckt. Diese Schüttung vermag die Energie der aufprallenden Steine wesentlich zu dämpfen.

Die Plattenkonstruktion wird durch einen einheitlichen, rundum laufenden Konsolkopf abgeschlossen. Seine ge-

neigte Aussenfläche erscheint als ein helles Band. Mit der auf der humusierten Galeriedecke möglichen Bepflanzung ist eine ansprechende ästhetische Gestaltung des Bauwerkes möglich.

Das gewählte Konstruktionskonzept erlaubt es, die Bauarbeiten mit einer unter den gegebenen Umständen geringen Behinderung des Verkehrs durchzuführen. Die länger dauernde Sperrung jeweils einer Fahrspur sowie die kurzfristige Sperrung einer Fahrbahn war allerdings nicht zu vermeiden.



Belastungsannahmen und statische Berechnung

Belastungsannahmen

Für die Steinschlagschutzkonstruktion sind die folgenden Belastungen in die statische Berechnung eingeführt worden:

Ständige Lasten

Eigengewicht des Konstruktionsbetons, von Abdichtung und Schutzmörtel sowie der Aufschüttung mit Kies-Sand und Humus, in variabler Stärke gemäss den Normalquerschnitten.

Nutzlasten

Gleichmässige Nutzlast aus verstreutem Geröll und Schnee von $p = 200 \text{ kg/m}^2$.

Steinschlag

Gemäss den Angaben des Geologen war für die Galerien mit den folgenden Belastungen aus Steinschlag zu rechnen:

Galerie 1: Aufprall eines Felsbrockens mit einem Volumen von $V = 2,0 \text{ m}^3$ nach einem freien Fall aus einer Höhe von $H = 50 \text{ m}$. Durch auf die Galeriedecke abgestürzte Felsbrocken gebildeter Geröllhaufen mit einem Volumen von $V = 50 \text{ m}^3$, gleichmässig auf eine Breite von $B = 20 \text{ m}$ verteilt.

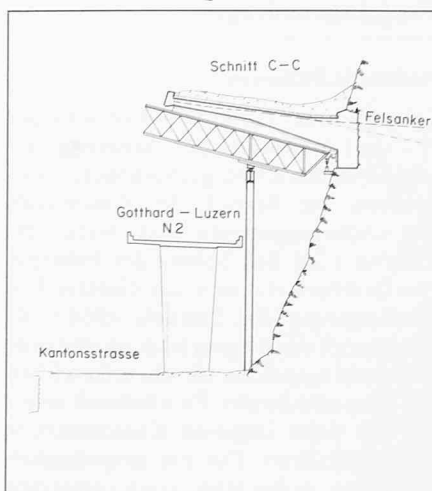
Galerie 2, 3 und Verbindungsgalerie: Aufprall eines Felsbrockens mit einem Volumen von $V = 0,25 \text{ m}^3$ nach einem Absturz über die mit 45 bis 60° geneigte Felsböschung aus einer Höhe von $H = 100$ bis 150 m .

Bemessungskriterien

Bei den zu berücksichtigenden Aufprallkräften aus Steinschlag handelt es sich um Belastungen mit sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit, die im

Bild 4 (links). Los 2 (Galerie 2): Grundriss

Bild 5 (unten). Los 2: Querschnitt C-C



Sinne der Norm SIA 162 [4] als aussergewöhnliche Einwirkung betrachtet werden können. Die Bemessung von Bauteilen und Bauwerten auf aussergewöhnliche Einwirkungen geschieht auf der Basis erhöhter zulässiger Spannungen bzw. reduzierter Anforderungen an die Sicherheit gegen Versagen oder Unbrauchbarwerden.

Bemessung der Galeriedecke

Für die Bemessung der Galeriedecke wurden drei Lastkombinationen unterschieden (vgl. Tabelle 1).

Für die Bemessung massgebend wurde die Lastkombination 3 bei der Galerie 1 bzw. die Lastkombination 1 bei den Galerien 2, 3 und der Verbindungsgalerie.

Bemessung der Felsanker

Gemäss der Norm SIA 191 Boden- und Felsanker [5] werden je nach Verwendungsdauer und Gefährungsgrad Ankerklassen mit verschiedenen Sicherheiten unterschieden. Die vorliegenden Anker sind in die Klasse 6 einzustufen, da sie permanent sind und bei einem Versagen schwere Folgen sowie Störungen der öffentlichen Sicherheit und Ordnung zu erwarten wären. Für diese Klasse hat die Sicherheit der Anker (Verhältnis zwischen Tragkraft und Gebrauchslast) $S \geq 2,0$ zu betragen.

Diese Sicherheitsanforderungen sind höher als diejenigen der Norm SIA 162 [4]. Aus diesem Grund wird die Bruchkraft der Felsanker gegenüber der Bruchkraft der Vorspannkabel um den Faktor α erhöht:

$$\alpha = \frac{\text{Sicherheit SIA 191}}{\text{Sicherheit SIA 162}} = \frac{2,0}{1,8} = 1,11$$

Die *freie Ankerlänge* ist so gross zu wählen, dass beim Spannen der Anker der Fels zwischen Ankerkopf und Verankerungskörper nicht ausbricht. Gemäss den Anforderungen der Norm SIA [5] ist dabei ein Sicherheitsfaktor $F \geq 1,5$ gegenüber der Vorspannkraft zu gewährleisten. Gegenüber der Bruchkraft des Ankers wird eine Sicherheit $F = 1,1$ nachgewiesen.

Vor den Bauarbeiten wurden *Versuchsanker* versetzt. Die Versuche wurden mit dem gewählten Ankersystem durchgeführt, damit die Einbaumethode sowie die Grundlagen für die Bemessung und das Langzeitverhalten des Ankers und seiner Teile überprüft werden konnten.

Konstruktion der Galerien

Felsanker

Die Felsanker sind als vorgespannte Zuganker konzipiert, wobei die Anker-

Tabelle 1. Lastkombinationen

Lastkombination 1	Ständige Lasten und Nutzlasten Zulässige Spannungen gemäss SIA 162 Lastfall H Bruchsicherheit $s = 1,8$
Lastkombination 2 (nur bei Galerie 1)	Ständige Lasten + Nutzlasten + Geröllhaufen $V = 50 \text{ m}^3$ Zulässige Spannungen gemäss SIA 162, Lastfall H + Z Bruchsicherheit $s = 1,5$
Lastkombination 3	Ständige Lasten + Nutzlasten + Aufpralllasten aus Steinschlag ohne Geröllhaufen Bruchsicherheit $s = 1,1$

kraft über einen Verankerungskörper in den Fels eingeleitet wird. Die freie Ankerlänge wurde nach dem Spannen des Ankers drucklos mit Zementsuspension ausinjiziert. Zusätzlich wurden die Spanndrähte über die freie Ankerlänge mit einem Kunststoffhüllrohr gegen Korrosion geschützt.

Eine Freispielwirkung zwischen der Verankerungsstrecke und dem Spannanker ist nicht notwendig und vom statischen Verhalten her nicht erwünscht, da sonst bei einer Belastung des Ankers über die Vorspannkraft V hinaus in der freien Ankerlänge entsprechend der Lastüberschreitung Dehnungen auftreten würden.

Die Neigung der Felsanker z.B. bei der Galerie 1 ändert von Anker zu Anker abwechselungsweise im Normalfall von $\pm 8,5^\circ$, im speziellen Fall bis zu $22,5^\circ$ bei Ankerlängen bis zu $38,0 \text{ m}$, damit die Kräfte nicht allesamt in einer Ebene verankert werden.

Es sind Anker mit den folgenden Daten erforderlich: Traglast $V_u = 500 \text{ t}$, Gebrauchslast $V_g = 250 \text{ t}$, Prüflast $V_p = 375 \text{ t}$, Vorspannlast $V_o = 335 \text{ t}$. Die Ankerabstände betragen $a = 1,0 \text{ m}$ für die Galerie 1 bzw. $a = 1,40 \text{ m}$ für die Galerie 3 und die Verbindungsgalerie sowie $a = 1,45 \text{ m}$, $1,55 \text{ m}$ und $1,85 \text{ m}$ für die Galerie 2.

Galeriedecken

Los 1: Die Galeriedecke ist als über die drei Abschnitte zusammenhängende Kragplatte ausgebildet. Die Auflagerung erfolgt über einen aus dem Fels *sprengfrei* herausgebrochenen und ausbetonierten Auflagerriegel. Die Deckenkonstruktion wird mit Vorspannkabel (Vorspannkraft $V_o = 340 \text{ t}$, Bruchkraft $V_{Br} = 460 \text{ t}$) an die im voraus versetzten vorgespannten Felsanker mit Hilfe einer festen Kupplung (VSL 6-19) gekuppelt. Die Stärken der in Ortsbeton ausgeführten Deckenplatten sind variabel und sind den je nach Kragweite und Belastung unterschiedlichen Beanspruchungen angepasst. Die Platten wurden auf den Portalseiten und auf der Talseite durch einen $1,20 \text{ m}$ hohen

Konsolkopf mit rundum konstantem Querschnitt abgeschlossen.

Galerie 1 (Los 1)

Die Galerie 1 überdeckt die darunterliegende Fahrbahn vollständig und weist somit eine maximale Kragweite von rund $l = 18,20 \text{ m}$ auf. Die Plattenstärke beträgt am Anschluss des Konsolkopfes $d = 0,58 \text{ m}$ im Abstand von $a = 9,80 \text{ m}$ von der äussersten Kante $d = 1,22 \text{ m}$ und variiert an der Einspannstelle des Auflagerriegels zwischen $d = 2,67 \text{ m}$ und $d = 3,58 \text{ m}$. Infolge der unterschiedlichen Geometrie der Querschnitte ist zwischen Galerie 1 und der Verbindungsgalerie eine Versetzung der Deckenplatte erforderlich.

Verbindungsgalerie (Los 1)

Diese Galerie stellt die Verbindung zwischen den Galerien 1 und 3 her und hat den Portalbereich West des «Achereggstunnels Süd» vor Steinschlag zu schützen. Die Konstruktion der Galeriedecke entspricht derjenigen der Galerie 3. Die maximale Kragweite beträgt rund $l = 11,50 \text{ m}$.

Galerie 3 (Los 1)

Die Galerie 3 überdeckt die darunterliegende Fahrbahn in der Vertikalprojektion, gemessen auf einer Breite von $b = 1,40 \text{ m}$. Die maximale Kragweite beträgt rund $13,80 \text{ m}$. Die Plattenstärke variiert zwischen $d = 0,58 \text{ m}$ am Konsolkopf, $d = 0,86 \text{ m}$ im Abstand von $a = 6,80 \text{ m}$ von der äussersten Kante und zwischen $d = 1,40 \text{ m}$ und $d = 2,20 \text{ m}$ an der Einspannstelle.

Los 2: Die Galeriedecke 2 ist als zusammenhängende Kragplatte von 60 m Länge ausgebildet.

Galerie 2 (Los 2)

Die Galerie 2 überdeckt die darunterliegende Fahrbahn in der Vertikalprojektion, gemessen auf einer Breite von $b = 6,00 \text{ m}$. Die maximale Kragweite beträgt $13,42 \text{ m}$. Die Plattenstärke variiert zwischen $d = 0,58 \text{ m}$ am Konsolkopf, $d = 0,86 \text{ m}$ im Abstand von $a = 6,80 \text{ m}$ von der äussersten Kante und zwischen $d = 1,83 \text{ m}$ und $d = 2,59 \text{ m}$ an der Einspannstelle.

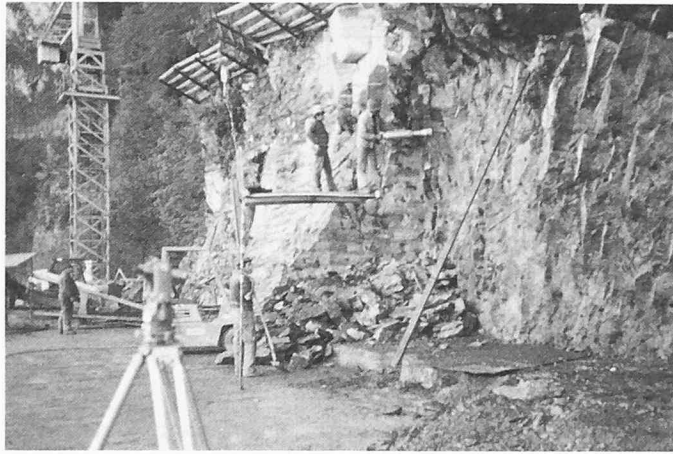


Bild 6. Ausbruch des Widerlagerriegels

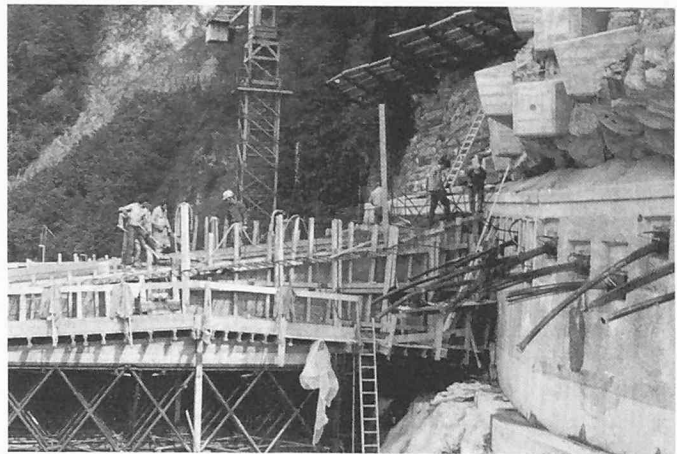
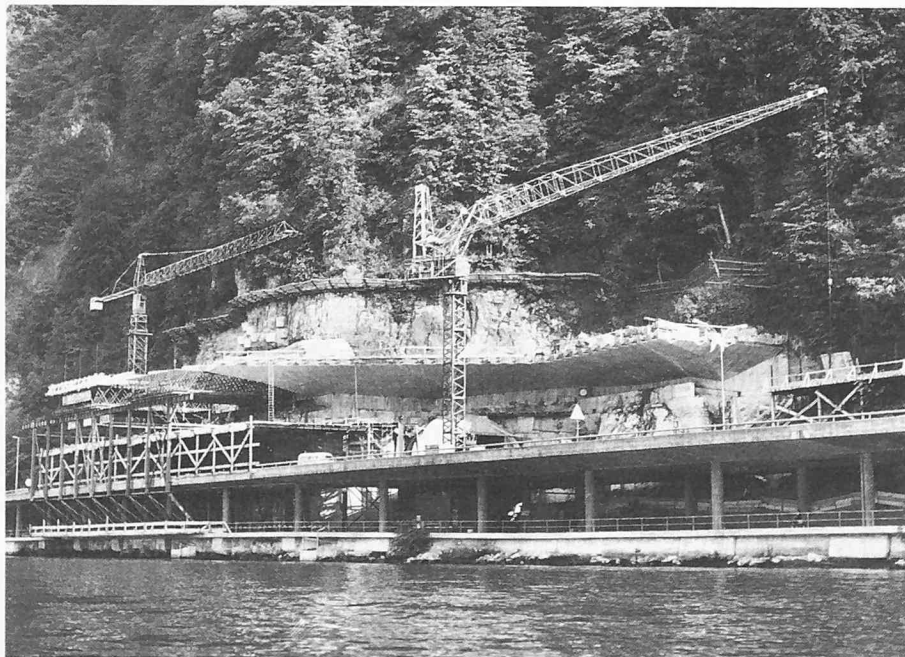
Bild 7. Felssicherungsanker ($V_U = 60\text{ t}$). Felsanker im Widerlager. Betonier-etappe Galeriedach

Bild 8. Lehrgerüst und auskragende Decke (Los 1)

Bauvorgang

Ankerversuche

Vor Inangriffnahme der Bauarbeiten wurden Ankerversuche durchgeführt, die die Grundlagen für die Dimensionierung der Anker liefern mussten. Es wurden drei Versuchsanker je Los, insgesamt also 6 Anker, als Minimum erforderlich. Die Anker wurden an leicht zugänglichen Stellen auf der Höhe der bestehenden Fahrbahnen in gleichen Gesteinsverhältnissen versetzt.

Die Versuchsanker wurden mit reduzierter Verankerungsstrecke versetzt und dienten der Ermittlung der Bruchkraft des Verankerungskörpers. An den Bauwerken wurden Kontrollanker ausgebildet und ermöglichen die Beobachtung des Langzeitverhaltens während der ganzen Lebensdauer der Galerien.

Bauarbeiten

Für die Bauarbeiten wurde folgender Bauvorgang vorgesehen, wobei ein abschnittswises Vorgehen erforderlich war:

- Sperrung einer Fahrspur der N 2 und Errichtung von provisorischen Schutzeinrichtungen für die Dauer der Bauarbeiten
- Bauinstallationen
- Felsausbruch und Felssicherungen für den Auflagerriegel sowie Verkleidung mit Gunit usw. und Setzen von Felssicherungsankern $V_U=60\text{ t}$ (Bild 6, 7)
- Betonieren des Auflagerriegels
- Bohrarbeiten für die Felsanker, Wasserabpressversuche, evtl. Konsolidierungsinjektionen
- Versetzen der Felsanker inklusive Spannen und Injizieren
- Erstellen der restlichen Gunit-Ver-

kleidungen und Sichern derselben mit schlaffen Ankern

- Erstellen des Lehrgerüsts und der Schalung für die Galeriedecke, wobei die erswerenden Verhältnisse infolge der verkehrstechnischen Situation sowie der statischen Randbedingungen der bestehenden Brückenkonstruktionen zu beachten waren (Bild 8)
- Verlegen der Vorspannkabel, die an die Felsanker angekuppelt werden, sowie der schlaffen Armierung für die Galeriedecke
- Betonieren der Decke
- Spannen der Vorspannkabel in 3 Stufen und Injizieren
- Erstellen des Konsolkopfes
- Aufbringen der Isolation inklusive Schutzmörtel auf der Galeriedecke
- Einschüttung der Galeriedecke

Anschliessend folgten die Fertigstellungsarbeiten, worauf die Baustelle geräumt und die N 2 wieder dem Verkehr übergeben werden konnte.

Literaturhinweis

- [1] Gut M.: «Ausbau des ersten Autobahnabschnittes der N 2 in Nidwalden». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 41, 1982
- [2] Schneider T.R.: «Sanierung Lopper, Galerien 1-3. Eigenschaften des Kieselkalks am Lopper». Bericht 329 E an die Baudirektion des Kantons Nidwalden, 14.4.1978
- [3] Schneider T.R.: «N 2 Lopper (Hergiswil-Acheregg). Gefährdung der Nationalstrasse im Bereich des Lopperbergs». Bericht 329 C an die Baudirektion des Kantons Nidwalden, 10.4.1975
- [4] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): «Norm für die Berechnung, Konstruktion und Ausführung von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, SIA 162». Zürich, 1968
- [5] SIA: «Boden und Felsanker, Norm SIA 191». Zürich, 1977

Adresse des Verfassers: R. Slongo, dipl. Bauing. ETH, Ingenieurbüro, Langmattring 8, 6370 Stans.