

Verstärkung der Amdenermergelstrecke im Seelisbergtunnel Strengthening of the Amden marl stretch in the Seelisberg tunnel

Franz Fischli

Quelle: fib-CH Betontag 2002, Japan

Anker: schon vor über 20 Jahren erfolgreich

Der 9,3 km lange Seelisbergtunnel wurde von 1973 bis 1980 als Teil der Nationalstrasse A2 gebaut. Er stellt, zusammen mit dem einröhrigen Gotthardtunnel, das wichtigste Tunnelbauwerk der Nord-Süd-Verbindung durch die Schweiz dar (Bilder 1 und 2).

Der doppelröhrige Tunnel durchfährt eine 450 m lange Strecke mit Amdenermergel. Bereits im Jahr 1977 war festgestellt worden, dass auf diesem Teil des Tunnels die grosskalibrige Entwässerungsleitung der seeseitigen Röhrre durch Quellhebung zerstört worden war. Um eine Beeinträchtigung oder gar Zerstörung der Fahrbahn durch solche Quellhebungen zu verhindern, wurde noch vor Inbetriebnahme der Tunnels die Fahrbahnplatte 15 cm über dem Sohlenbeton auf zwei Längsbalken verlegt. Zur Verhinderung weiterer Quellhebungen wurden diese Längsbalken mit vertikalen Felsankern nach unten verankert: Pro Balken-

abschnitt von 5 m wurden zwei VSL-Litzenanker mit je sechs Litzen zu 93 mm² mit einer Gesamtlänge von 12 m (Verbundlänge: 4 m) in einem Abstand von 3,10 m eingebaut und mit einer Festsetzkraft von 600 kN verankert. Die Anker bestehen aus 0.5"-Monolitzen (Stahlitzen mit Durchmesser 12,7 mm, mit korrosionsschützendem Fett in Polyäthylenröhrchen). In der Bergröhrre sind auf einer Länge von 475 m insgesamt 380 Anker eingebaut, in der Seeröhrre auf einer Länge von 465 m 372 Anker. Von den total 752 Ankern sind 32 mit hydraulischen Messdosen Typ VSL G100 ausgerüstet. Diese zeigten, dass die Ankerkräfte stetig zunehmen.

Sinn und Zweck: das Projekt

Um die Ankerkräfte nicht weiter ansteigen zu lassen und die Quellhebungen kontrollieren zu können, wurde 1999 ein neues Verstärkungskonzept erarbeitet. Damit war vorgesehen, mit zusätzlichen vorgespannten Ankern

Projektdate

Region

Zentralschweiz

Nutzung des Bauwerks

Tunnel

Bauherr

Tiefbauamt Nidwalden

Projektingenieur / Bauleitung

Dr. Vollenweider AG, Zürich

Bauausführung

Unternehmer: AG Franz Murer

Bohrunternehmer: TerrBohr AG

Ankerunternehmer: VSL (Schweiz) AG

Kenndaten

Gesamtlänge: ca. 450 m

Anker: 376 permanente Anker VSL 5-12

gem. SIA V191

Kosten Anker: ca. 1,12 Million CHF

Bauzeit: Mitte September 1999 bis Mitte Februar 2000

Wiederinbetriebnahme: 21.2.2000

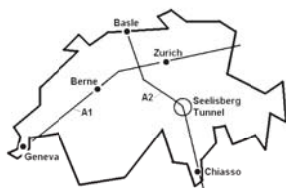
Anchors: successful already more than 20 years ago

The 9.3 km long Seelisberg tunnel was built between 1973 and 1980 as part of the national highway A2. Together with the single cross-sectional Gotthard tunnel it is the most important north-south connection through Switzerland (figures 1 and 2).

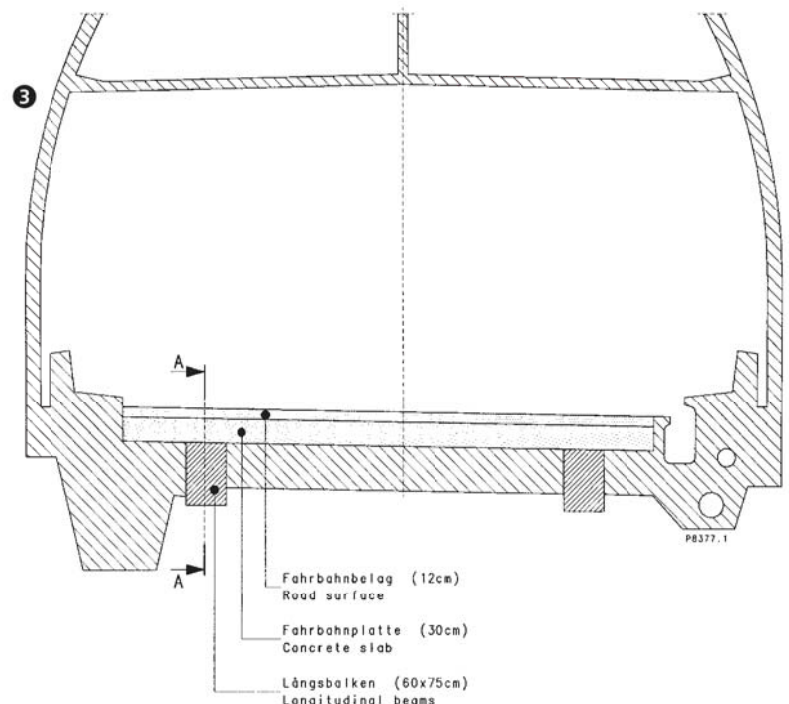
148

Anchored structures

1 Situation.
Plan view.



2 Situation Amdenermergelstrecke (schwarz).
Plan view Amden marl stretch (black).



Tunnelquerschnitt in der Amdenermergelstrecke.
Cross-section of tunnel in Amden marl stretch.

Project data

Region
Central Switzerland

Utilisation of structure
Tunnel

Owner
Civil Engineering Department
of the canton of Nidwalden

Project engineer/site management
Dr. Vollenweider Ltd., Zurich

Execution of the project
Contractor: AG Franz Murer
Drilling Contractor: TerrBohr Ltd.
Anchor Contractor: VSL (Switzerland) Ltd.

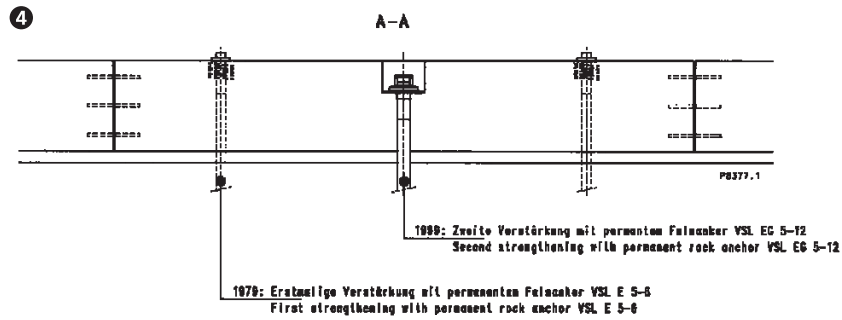
Main characteristics
Total length: approx. 450 m
Anchors: 376 permanent anchors VSL 5–12
acc. to SIA V191
Cost of anchors: approx. 1.12 million CHF
Construction period: mid-September 1999
to mid-February 2000
Reopening of tunnel: 21.2.2000

das Quellhebungsmass zu verringern, und zwar so, dass die Lebensdauer der bestehenden Anker um mindestens 50 Jahre verlängert wird.

Es wurden in der Folge pro Röhre 188 Stück (total 376 Stück) zusätzliche vorgespannte, nach SIA V191 umfassend korrosionsgeschützte, vertikale Anker mit folgenden Charakteristiken vorgesehen:

- Festsetzkraft $P_o = 1310$ kN
- Innerer Tragwiderstand $R_i = 2184$ kN
- Längen: freie Länge $l_{fr} = 12$ bis 14 m
Verankerungslänge $l_v = 6$ m (voraussichtlich).

Die Anker wurden in Feldmitte der bestehenden Längsbalken zwischen den bereits vorhandenen Felsankern aus dem Jahre 1979 angeordnet (Bilder 3 und 4). Alle Anker sind als Kontrollanker ausgebildet. Sie sind um mindestens 40 mm entspannbar, um – frühestens nach einigen Jahrzehnten – allfällige Entspannungs- und Sanierungsmassnahmen durchführen zu können. Total 16 Anker sind sowohl mit elektrischen Kraftmessdosen als auch mit einer Einrichtung für das Messen des Korrosionsschutzes (elektrische Widerstandsmessung



Querschnitt A-A.
Cross section A-A.

The twin-bore tunnel sections cross a 450 m long Amden marl stratum. Already in 1977 it was discovered that in this part of the tunnel the large-diameter drainage pipe along the lake-side tunnel was destroyed by swelling uplifts. To prevent destruction of the concrete road surface from such uplifts, the base course was placed onto two longitudinal beams in 1979, still before the opening of the tunnel. To contain further uplifts, these beams were tied down with vertical rock anchors: into each 5 m long beam two VSL anchors, 3.10 m apart, each with six strands with a cross-sectional area of 93 mm^2 , with a total length of 12 m (bond length: 4 m) and a transfer load of 600 kN were installed. In the free length, the anchors consist of 0.5" mono-strands (prestressing strands with a diameter of 12.7 mm, with anti-corrosive grease in a polyethylene

tube), in the bond length they are bare to allow for safe bond. In the tunnel on the mountain side 380 anchors are installed along a stretch of 475 m, in the lake-side tunnel there are 372 anchors on 465 m. Of the 752 anchors 32 are equipped with load cells type VSL G100. They indicated increasing anchor loads.

Aim and object: the project

To prevent increasing anchor loads and to control swelling uplifts, a new strengthening concept was developed in 1999. It was planned to reduce the uplift by means of additional post-tensioned anchors, thus extending the service life of the existing anchors by a minimum of 50 years. A total of 376 additional, vertical anchors (188 per tube) were foreseen, all permanent, comprehensively corrosion-protected accord-

Tabelle 1/Table 1

Kennwerte der Anker.
Characteristics of the anchors.

			Bauwerksanker	Versuchsanker
Litzen 0.5"	Zugfestigkeit	f_{tk} [N/mm ²]	1820	
	Fließgrenze	f_y [N/mm ²]	1640	
	Nennquerschnitt/Litze	A_p [mm ²]	100	
Anzahl Litzen		12	14	
Ankerkopfeinheit Typ EG		5–12	5–19	
Ankerdurchmesser	[mm]	125	135	
Nachinjektionssystem		mehrfach, nicht gezielt		
			Working anchors	Test anchors
Strands 0.5"	characteristic tensile strength	f_{tk} [N/mm ²]	1820	
	characteristic yield strength	f_y [N/mm ²]	1640	
	nominal cross section/strand	A_p [mm ²]	100	
Number of strands		12	14	
Anchorage unit type EG (head with thread)		5–12	5–19	
Anchor diameter	[mm]	125	135	
Postgrouting		multiple, non-targeted		

zwischen Spannglied und Baugrund) ausgerüstet. Sowohl die Kontroll- als auch die Messanker-Verankerungen sind einbetoniert, wobei die Messkabel der Messanker durch eine kleine Röhre an eine zugängliche Stelle geführt werden.

Zusätzlich wurden vier Versuchsanker mit verstärktem Zugglied mit einer Verankerungslänge von 7 m vorgesehen, die später als Bauwerksanker ins Projekt integriert wurden.

Miniaturisierte Verankerungen

Die Kennwerte der Anker sind in Tabelle 1 enthalten. Um so wenig wie möglich die sonst schon knapp bemessene Armierung mittels Kernbohrung zu durchfahren, musste auch der Durchmesser der Ankerbohrung im Bereich der Verankerung auf ein Minimum reduziert werden. Bedingung war allerdings, dass natürlich gleichwohl eine einwandfreie, äussere Ankerkopfinjektion gewährleistet werden kann. Die 42-cm-Betonüberdeckung musste mit einer \varnothing 450 mm grossen Kernbohrung geöffnet werden, um einen Zugang zur Krafteinleitungszone zu schaffen. Im Übrigen waren die Verankerungen der Bauwerks- und Versuchsanker so weit zu miniaturisieren, dass die 30 cm der Fahrbahnplatte nicht überschritten wurden und auch der Schutzdeckel nicht in den 12 cm dicken Fahrbahnbelag hineinragte. Die Verankerungen des Bauwerksankers und des Messankers sind in Bild 5 und 6 dargestellt. Bild 7 zeigt einen Versuchsanker beim Spannen.

Abläufe nach Mass

Die Ankerarbeiten wurden in drei Etappen ausgeführt

- Versuchsanker
- Zusatzanker in den Normalspuren der beiden Röhren
- Zusatzanker in den Überholspuren der beiden Röhren.

Die Arbeiten wurden so terminiert, dass die Ferienperioden zwischen die Etappen fielen und

somit beide Röhren zweispurig befahrbar waren. Die drei vorgegebenen Phasen waren strikte einzuhalten, was zur Folge hatte, dass pro Tag bis zu zehn Anker pro Röhre anzuliefern und zu spannen waren.

Die Spannproben fanden frühestens zehn Tage nach der letzten Injektion der Verankerungslänge statt. Der Korrosionsschutz wurde mittels Messungen des elektrischen Widerstands bei allen Ankern sechsmal geprüft, wobei max. 10% der Anker den verlangten Wert unterschreiten durften. Massgebend war die Messung nach dem Spannen auf P_0 nach der inneren und der äusseren Ankerkopfinjektion. Anker mit Widerständen $R_I < 0.1$ Megaohm wurden einer Messung R_{II} unterzogen und mussten dort einen Widerstand ≥ 100 Ohm aufweisen.

Besondere Herausforderungen und Erfahrungen

Eine Herausforderung bei elektrisch isolierten Ankern ist immer wieder, dass das High-Tech-Produkt Anker, im Werk konfektioniert und auf seine elektrischen Widerstände kontrolliert, auf der Baustelle auch als solches entsprechend eingebaut wird und somit die elektrische Isolation seiner Schutzhülle durch Messungen als unversehrt eingestuft wird. Sorgfalt muss nicht nur während des Zusammenbaus des Ankers, sondern vor allem auch beim Einbau angewendet werden.

Im Fall der Anker im Seelisbergtunnel war die hohe Kadenz der Spann- und Prüfarbeiten, ausgeführt unter diversen Immissionsbelastungen wie Lärm, Abgase etc., eine überdurchschnittliche Herausforderung für die Ankerspezialisten. ●

ing to the Swiss SIA V191, with the following characteristics:

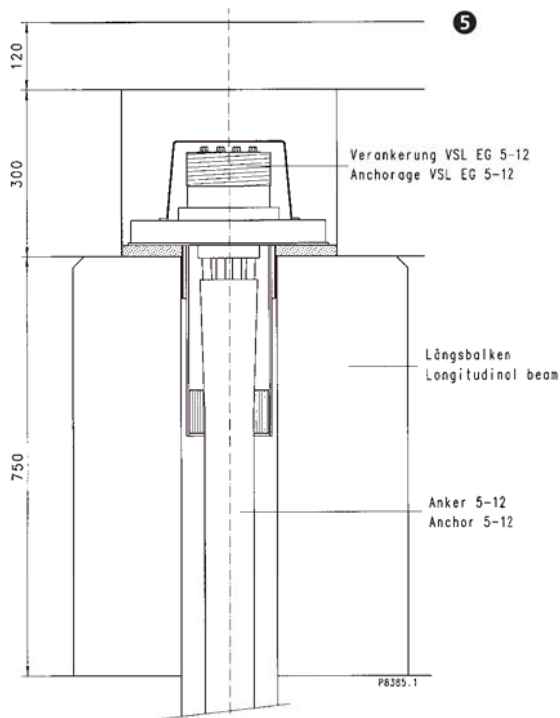
- anchor lock-off load P_0
= 1310 kN
- characteristic internal anchor resistance $R_I = 2184$ kN
- lengths:
tendon free length l_{tf}
= 12 to 14 m,
tendon bond length l_{tb}
= 6 m (assumed)

The anchors were arranged in the middle of the existing beams, between the already installed anchors from 1979 (figures 3 and 4). All anchors are controllable. They can be detensioned by a minimum of 40 mm to carry out eventual detensioning and rehabilitation work, due at the earliest in a few decades. A total of 16 anchors are equipped with both electrical load cells and devices to check the corrosion protection by measuring the electrical resistance between tendon and ground. Both the anchorages for the control as well as for the surveillance anchors are embedded in concrete, whereby for the latter the measuring cables are passed through a small tube to an accessible place.

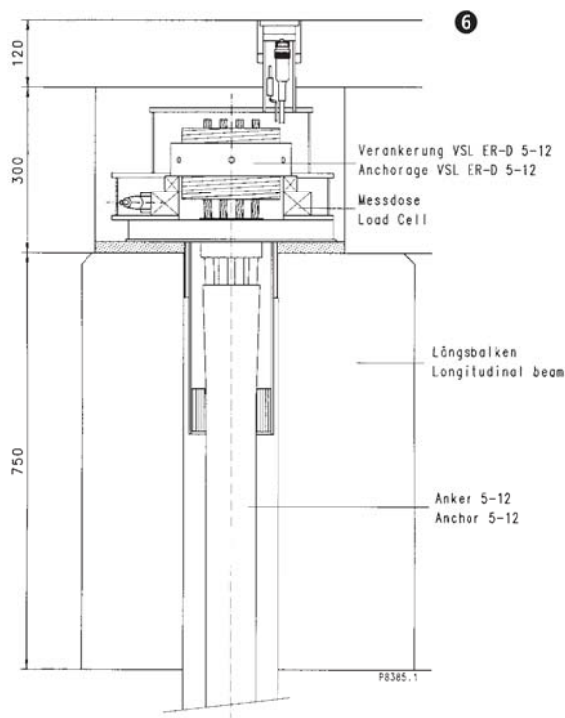
In addition, four test anchors with an increased number of strands and a bond length of 7 m were specified. These anchors were integrated into the project in the course of execution.

Anchorage in miniature

For the characteristics of the anchors see table 1. To avoid cutting through the minimal reinforcement as much as possible, the diameter of the core drilling in the load transfer zone was reduced to the bare minimum. However, it was a prerequisite that nevertheless a perfect grouting of the anchor head zone could be ensured. The 42 cm thick concrete part was opened by means of a core drill with a diameter of 450 mm, to have access to the above-mentioned load-bearing zone. As for the rest, the anchorages for the working and the test anchors had to be miniaturised to the extent



Ankerzone Bauwerksanker.
Anchorage zone working anchors.



Ankerzone Messanker.
Anchorage zone surveillance anchors.

that the 30 cm thick base course was not exceeded and that the protection caps did not project into the road surface. The anchorages for the working anchor and the surveillance anchor are shown in figures 5 and 6. Figure 7 shows the stressing of a test anchor.

Procedures thoroughly planned

The anchor work was carried out in three stages

- test anchors
- anchors in the normal lane of both tunnels
- anchors in the passing lane of both tunnels.

The work was scheduled in such a way that the holiday periods fell between the stages and therefore both tunnels were open double-track. The three stages had to be strictly observed, which resulted in daily deliveries and stressing operations of up to ten anchors per tunnel.

Stressing took place not earlier than ten days after the last grouting of the bond length. The corrosion protection was checked by electrical-resistance measurements six times on all anchors,

whereby a maximum of 10% of the anchors were allowed to fall short. Decisive was the measurement after the anchor was stressed to the lock-off load P_0 and the anchorage zone was internally and externally grouted. Anchors with resistances $R_i < 0.1$ megaohm were subjected to measurements R_{i0} , where they had to reach a minimum resistance of ≥ 100 ohms.

Extraordinary challenges and experiences

In connection with electrically isolated anchors it is always a special challenge that the high-tech product anchor, assembled in a workshop and its electrical isolation checked, is also correspondingly homed as such and thus the electrical isolation of the encapsulation can be rated as intact. Care has to be applied not only during the assembly of the anchor but also on site, particularly during its homing.

For the Seelisberg anchors the high cadence of the stressing work, carried out under various emission such as noise, exhaust fumes, etc., was an above-average challenge for the VSL anchor specialists.



Spannen eines Versuchsankers.
Stressing of a test anchor.

Verfasser/Author
Franz Fischli
dipl. Bauing. ETH
VSL (Schweiz) AG, Industriestrasse 14
CH-4553 Subingen
ffischli@vsl-schweiz.ch