

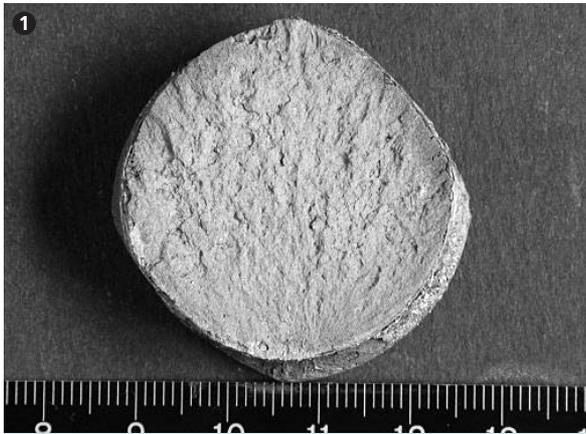


**Verankerte  
Bauwerke**

**Structures  
ancrées**

**Anchored  
structures**

Ueli von Matt



Sprödbbruch eines 1977 eingebauten Stabankers  $\varnothing$  36 mm. Der Bruch erfolgte plötzlich im Jahr 1998 ohne äussere Einwirkung bei einer Spannung von etwa  $0,55 f_{tk}$ . Er ging von einer kleinen Korrosionsnarbe aus. Ein klarer Beleg dafür, dass das Konzept von Opferstahl (sacrificial steel) bei Spannstählen sinnlos ist.

*Brittle rupture of a prestressed ribbed bar anchor ( $\varnothing$  36 mm) installed in 1977. Rupture happened suddenly in 1998 at a tension of  $0.55 f_{tk}$  and without apparent exterior influence. The rupture started at a small corrosion notch. The example is a clear proof that sacrificial steel is of no use for prestressing steel.*

### Einleitung

In der Schweiz sind permanent verankerte Bauwerke weit verbreitet. Die Gründe dafür liegen in der Topografie des Landes. In den Alpen stehen zahlreiche Wasserkraftwerke. Viele Verkehrswege verlaufen durch enge Gebirgstäler. Die dicht besiedelten Gebiete liegen im hügeligen Alpenvorland.

Zahlreiche Verankerungen sind ab 1950 bis Mitte der 70er-Jahre erstellt worden. In der Hochkonjunktur nach dem Zweiten Weltkrieg wurden Wasserkraftwerke gebaut, mit dem Bau der Nationalstrassen begonnen und die Verkehrswege in den Siedlungsgebieten ausgebaut. Damals entwickelte sich die Ankertechnik rasant, wobei die Dauerhaftigkeit der Bauwerke und damit auch der Anker kein dominantes Thema war. Gefragt waren rasche Effizienz und niedrige Kosten. Der Begriff «Nachhaltigkeit» existierte noch gar nicht!

Aufgeschreckt durch einige Schadenfälle, die glücklicherweise keine Menschenleben forderten, sind sich die Baubehörden Mitte der 80er-Jahre bewusst geworden, dass sie über zahlreiche verankerte Bauwerke verfügten, über deren Dauerhaftigkeit keine Aussage möglich war. Viele von ihnen beschlossen, künftig keine permanenten Anker mehr einzusetzen, selbst wenn dies erhebliche Mehrkosten zur Folge hatte.

### Korrosion von Spannstählen

In dieser für die Ankertechnik bedrohlichen Situation entschlossen sich einige von dieser Technik faszinierte Fachleute, zusammen mit innovativen Ankerfirmen einen Korrosionsschutz für permanente Anker zu entwickeln, der wirklich dauerhaft und auch langfristig überprüfbar ist. Die Untersuchung der eingetretenen Schadenfälle führte zur Erkenntnis, dass Spannstähle neben der anodischen (abtragenden) Korrosion auch durch kathodische Korrosion gefährdet sind, nämlich durch wasserstoffinduzierte Versprödung, die zu Spannungsrissskorrosion führt (Bilder 1 und 2). Diese kann verursacht werden durch Streuströme, aber auch durch Makroelementbildung zwischen Bauwerksbewehrung und Ankerstahl und sogar durch Mikroelementbildung an einer Schwachstelle des Korrosionsschutzes. In jedem Fall sind elektrolytische Prozesse für die Zerstörung von Spannstählen verantwortlich. Solche Prozesse bedingen bekanntlich die Anwesenheit von Feuchtigkeit.

### Neues Korrosionsschutzkonzept

Aus diesen Erkenntnissen entstand die Idee, den Korrosionsschutz so zu konzipieren, dass gar kein Wasserzutritt zum Ankerstahl mehr möglich ist. Wählt man für die Abdichtung des Anker-

### Introduction

*Permanently anchored structures are very common in Switzerland due to the country's topography. Since there are very few truly flat regions, a large part of all constructions are in the foothills or the mountains. Roads, railway lines, hydroelectric power stations, and buildings are numerous in the Alps.*

*Between the 1950s and the mid-1970s anchorages were installed in great numbers. Their number grew with the number of new roads, railways and power stations under construction during the postwar boom. Anchoring technology developed rapidly in these years, but the durability of anchors was not a major concern at the time. More emphasis was put on a speedy construction, on efficiency and on low costs.*

*Several ruptures of permanent anchors brought the issues of durability and surveyability of permanent anchors to the consciousness of the building authorities in the mid-1980s. Luckily enough, no people have been injured by these damages. Still, many regional and national authorities decided not to use permanent anchors any longer for safety reasons – even if this signified considerable additional construction costs.*

### Corrosion of prestressing steel

*Now that the whole technology of permanent anchoring was put at risk, a group of experts got together in order to develop a corrosion protection system which guarantees durability of permanent anchors. In addition, the protection system was to allow for long-term surveillance of its efficiency. The study of the damages that had occurred revealed that prestressing steel was damaged not only by anodic but also by cathodic corrosion. In the second case, induced by hydrogen,*

stahles von Baugrund und Bauwerk dauerhafte, elektrisch isolierende Materialien, können am Ankerstahl keine elektrolytischen Prozesse mehr ablaufen, das heisst, sowohl anodische wie kathodische Korrosion wird verhindert. Ein so konzipierter Korrosionsschutz bietet überdies den unschätzbaren Vorteil, dass seine Wirksamkeit sehr einfach am fertig eingebauten und gespannten Anker mit einer Messung des elektrischen Widerstandes zwischen Ankerstahl und Baugrund resp. Bauwerk auch langfristig überprüft werden kann.

Die Umsetzung dieser bestechenden Idee in die Baupraxis war nicht einfach. Anker werden ja oft bei misslichen Witterungsbedingungen (Regen, Kälte, Hitze) auf schlammigen Baustellen eingebaut. Zudem müssen die isolierenden Materialien, besonders im Ankerkopfbereich, hohen Pressungen, gewissen Deformationen und unterschiedlichen Witterungseinflüssen standhalten.

Eine wichtige Frage war: Wie gross muss der elektrische Widerstand sein, um eine Korrosionsgefährdung ausschliessen zu können? Auf Grund von Berechnungen und statistischen Überlegungen kamen Korrosionsspezialisten zum Schluss, dass der Widerstand etwa 100 000 Ohm ( $0,1 \text{ M}\Omega$ ) betragen sollte. Auf die Plausibilität dieses Wertes, der immer wieder zur Diskussion gestellt wird, wird unten noch eingegangen.

### Die ersten elektrisch isolierten Anker

Im Jahr 1992 ist es erstmals gelungen, eine Verankerung mit vollständig von Baugrund und Bauwerk elektrisch isolierten Ankern auszuführen (Bild 3). Von 100 Felsankern mit einer Festsetzkraft von 1965 kN wiesen über 90% im gespannten Zustand einen elektrischen Widerstand  $R_I \geq 0,1 \text{ M}\Omega$  auf. Die meisten Anker hatten sehr viel grössere Widerstände, nämlich 100 bis über 200  $\text{M}\Omega$ . Bei den neun Ankern mit ungenügenden Werten waren die Kunst-

*prestressing steel became brittle, what led to tension-crack corrosion (figures 1 and 2). Such damage can either be caused by stray currents or by the forming of macroelements between the steel bars of the structure and the tendon or even by the forming of microelements at damaged spots of the protective sheath. In all these cases electrolytic processes are responsible for the destruction of the steel. It is well known that it takes humidity for such processes to take place.*

### A new concept for corrosion protection

*These findings generated the concept of a corrosion protection system that would bar the access of water to the tendon. All electrolytic processes, both anodic and cathodic corrosion, would be impeded by the complete insulation of the tendon from the soil. Furthermore, by choosing electrically isolating materials for the sheathing, such a protection offers the huge advantage that its effectiveness can easily be measured by the electric resistance between the tendon and the soil or the structure.*

*Putting this concept into practice turned out not to be easy, as anchors are often put in place on muddy construction sites during bad weather conditions such as rain, heat or cold. What matters more difficult still was that the insulating materials needed to withstand high pressures, deformations and drastic changes of temperature. Hence, the crucial question to answer was: What electrical resistance is required to rule out any risk of corrosion? After calculations and thorough examination of statistical data, experts came to the conclusion that  $100,000 \Omega$  ( $0.1 \text{ M}\Omega$ ) would suffice. The plausibility of this value – which is often under attack – will be discussed below.*

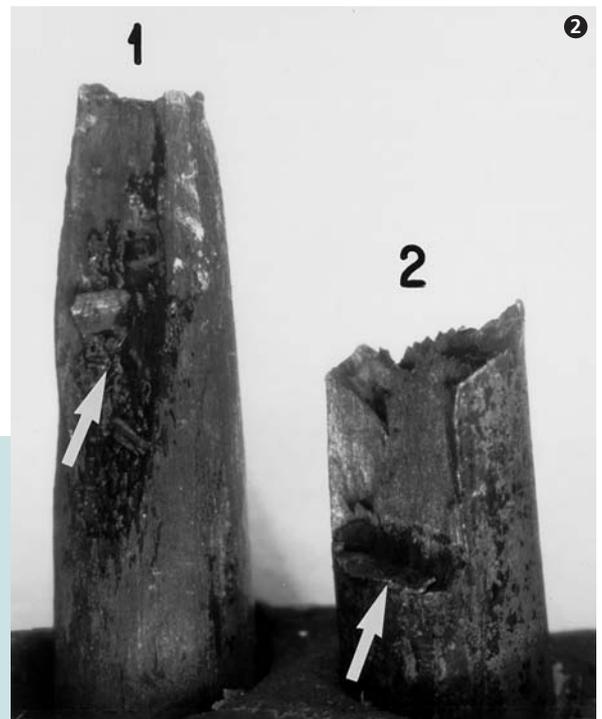
### The first electrically isolated anchors

*Anchoring with completely electrically isolated anchors was suc-*

*cessful for the first time in 1992 (figure 3). More than 90% out of 100 rock anchors with a lock-off load of 1965 kN showed an electric resistance  $R_I \geq 0.1 \text{ M}\Omega$  after lock-off. Most anchors even showed much higher values, namely 100 up to over 200  $\text{M}\Omega$ . On the remaining nine anchors which showed insufficient values the plastic sheaths had been damaged during transport, installation or testing. Damages due to testing, however, occurred only if the anchors sustained permanent displacement of more than 20 mm due to insufficient load capacity.*

*The experiences made by the execution of this anchorage led to the following conclusions:*

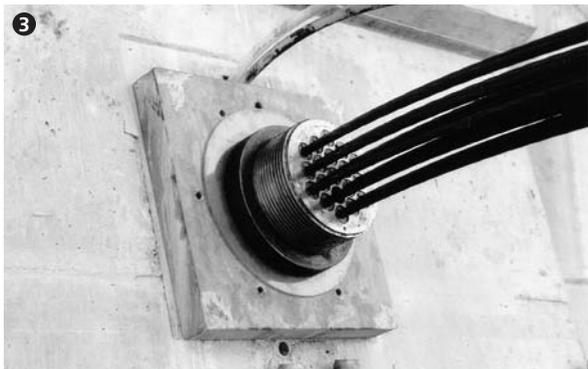
- *The complete electric isolation of anchors is technically feasible, which means that overall corro-*



*Sprödbüche von Drähten eines 1978 eingebauten Litzenankers. Der Bruch erfolgte 1990 auf einem Spannungsniveau von  $0,50 f_{tk}$  bei einer Spannungsänderung von weniger als  $0,01 f_{tk}$  (Abheben des Ankerkopfes).*

*Am linken Draht ist vorgängig anodische Korrosion mit Materialabtrag erfolgt. Am rechten Draht ging der Bruch von einem Querriss aus (Spannungsrissskorrosion).*

*Brittle ruptures of wires of a strand of an anchor installed in 1978. Rupture happened in 1990 during lifting off the anchor head at a tension of  $0.50 f_{tk}$ . The left wire shows some previous loss of material due to anodic corrosion. The right wire shows no previous loss of material. Rupture started at a tension crack.*



Der erste vollständig elektrisch isolierte Anker, auf 1965 kN gespannt, (1992).  
The first completely electrically isolated anchor, locked-off at 1965 kN (1992).

stoffumhüllungen beim Transport, beim Einbau oder bei der Spannprobe verletzt worden. Letzteres jedoch nur, wenn die Anker infolge ungenügender Tragfähigkeit bei der Prüfung bleibende Verschiebungen des Verankerungskörpers in der Grösse von 20 mm erlitten.

Aus den Erfahrungen mit dieser Verankerung sind folgende Schlüsse gezogen worden.

- Die vollständige elektrische Isolation, also ein umfassender Korrosionsschutz, der auch langfristig am eingebauten Anker überprüfbar ist, ist technisch realisierbar.
- In der harten Baupraxis ist es sehr schwierig eine 100%ige Erfolgsquote zu erreichen. Eine Erfolgsquote von 90 bis 95% ist jedoch bei sorgfältiger Bauausführung mit gut geschultem Personal ohne exzessiven Kontrollaufwand erreichbar. Es erscheint deshalb wirtschaftlich sinnvoll und sicherheitsmässig vertretbar, bei umfangreichen Verankerungen eine Ausfallquote von 5 bis 10% beim umfassenden Korrosionsschutz zu akzeptieren. Denn richtig konzipierte Verankerungen mit zahlreichen Ankern weisen genügend Redundanz auf, dass der Bruch einzelner Anker das Bauwerk nicht unmittelbar gefährdet: Es bleibt genügend Zeit für den Ersatz dieser Anker. Überdies ist zu beachten, dass die Prüfmethode sehr rigoros ist.

Für einen Anker mit ungenügendem elektrischen Widerstand kann die Dauerhaftigkeit zwar nicht garantiert werden, er weist aber immer noch einen guten Korrosionsschutz auf und kann noch viele Jahre funktions-tüchtig bleiben. Die Sicherheit von Bauwerken, die mit weniger als 10 Ankern gestützt sind, wird durch die Quotenregelung nicht betroffen.

### Neue Ankerform

Der technische Erfolg fand 1995 Eingang in die Empfehlung E SIA V 191, die für alle permanenten Anker eine vollständige elektrische Isolation vorschreibt. Sie verlangt auch für jedes Ankersystem eine erstmalige Prüfung. Diese Systemprüfung wird von einer Expertengruppe vorgenommen. Neben der Tragsicherheit der Spannverankerung werden alle für den Korrosionsschutz verwendeten Materialien auf Eignung und gegenseitige Verträglichkeit geprüft. Die elektrische Dichtigkeit der Verbindungsstellen wird unter harten Bedingungen getestet. Und schliesslich ist die Baustellentauglichkeit des Gesamtsystemes nachzuweisen. Seit 1998 dürfen in der Schweiz nur noch geprüfte Ankersysteme eingesetzt werden.

### Bisherige Erfahrungen

Die bisherigen Erfahrungen sind gut. So wiesen von 57 1997 eingebauten Ankern im Jahr 2002 alle ein  $R_1 > 0,1 \text{ M}\Omega$  auf. Bei anderen Verankerungen sind jedoch die Widerstände einzelner Anker nach einigen Jahren unter diesen Wert gefallen. An diesen Systemen sind Verbesserungen nötig. Weil mit der Widerstandsmessung die Lage einer undichten Stelle nicht eruiert werden kann, sind gezielte Verbesserungen nicht sofort möglich. Zuerst ist mit Versuchen herauszufinden, wo die Schwachstelle liegt.

Oft wird ein Abfall von sehr hohen Widerständen ( $> 200 \text{ M}\Omega$ ) auf tiefe, aber noch genügende Werte (0,2 bis  $1 \text{ M}\Omega$ ) beobachtet (Bild 4). Wir führen dies auf Diffu-

sion protection allowing for long-term surveillance can be achieved.

- Technical feasibility notwithstanding, it is nearly impossible to put the technology into practice at a rate of 100%. A quota of 90 to 95%, however, can be obtained by well-instructed staff without the necessity of excessive checks. Moreover, one needs to be aware that this testing method is very rigorous. No guarantee can be given for anchors whose electric resistance is insufficient, though. Yet, they will still have a good protection against corrosion and can be functional for many years to follow. For extended anchorages, it seems economically reasonable and justifiable in the interest of safety to tolerate a failure quota of 5 to 10%. Well-designed anchorages with a large number of anchors have enough redundancy to allow for the loss of some anchors without danger to the whole structure. For there remains enough time to replace some damaged anchors. These quota regulations do not apply to the safety of constructions which are propped up by less than 10 anchors.

### New Swiss code for ground anchors

This technological innovation was taken up by the recommendation E SIA V 191 in 1995, which prescribes the complete electric isolation for all permanent anchors. For each anchor system an initial certification by a group of experts is required. Besides the bearing capacity of the anchor head components all materials used for corrosion protection are tested for suitability and compatibility. The electric density of the sealings of the different parts of the sheathing is examined under harsh conditions. Finally, the feasibility to install the anchor system under construction site conditions must be proven. Since 1998 only certified anchor systems are allowed in Switzerland.

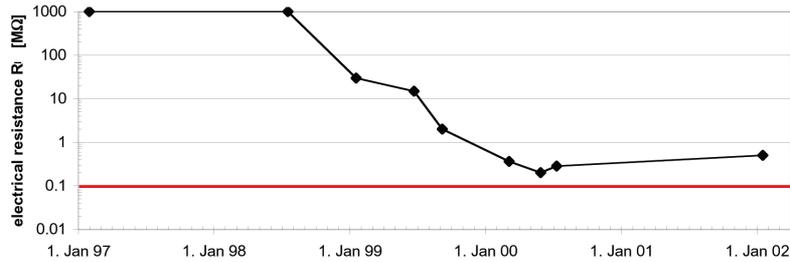
sion durch die Verbindungsstellen der Kunststoffumhüllung zurück. Der geforderte Wert  $R_I \geq 0,1 \text{ M}\Omega$  hat sich in der Praxis als plausibel erwiesen: An verschiedenen Ankeren mit deutlich tieferen Werten konnte eine wasserdurchgängige Leckstelle am Abdichtungssystem lokalisiert werden.

Noch nicht geklärt sind grosse Schwankungen der Messwerte an einzelnen Ankeren (Bild 5). Es ist geplant, die Ursache für diese Schwankungen mit einem gezielten Untersuchungsprogramm zu klären.

Zurzeit müssen in der Schweiz diverse Verankerungen aus den 60er- und 70er-Jahren, also nach einer Nutzungsdauer von 25 bis 40 Jahren in Stand gesetzt werden, teils wegen Korrosionsschäden, teils wegen fehlender Überprüfbarkeit. Sie werden mit elektrisch isolierten Ankeren ersetzt. Das Vertrauen der Baubehörden in die Ankertechnik ist wiederhergestellt!

**Verfasser / Author**

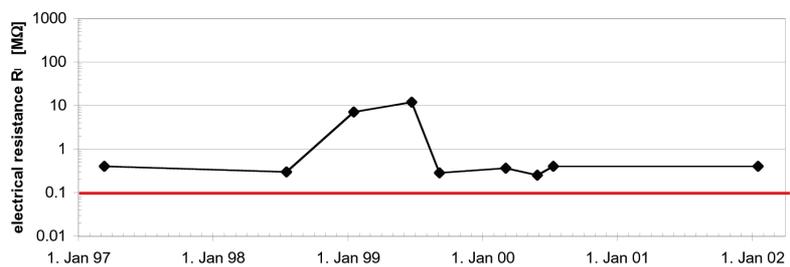
Ueli von Matt  
 Dr. Vollenweider AG  
 Geotechnik Grundbau Tunnelbau  
 Badenerstrasse 621  
 CH-8048 Zürich  
 vonmatt@drvollenweiderag.ch



4

Umfassend korrosionsgeschützter Anker. Abfall des elektrischen Widerstandes von sehr hohen Werten auf relativ tiefe, aber genügende Werte. Bei Widerstandswerten  $R_I \geq 0,1 \text{ M}\Omega$  kann keine Korrosion auftreten.

*Overall corrosion-protected anchor. Decline of electrical resistance from very high values to relatively low but sufficient values. With values  $R_I \geq 0.1 \text{ M}\Omega$  there is no danger of corrosion damage.*



5

Umfassend korrosionsgeschützter Anker. Schwankungen des elektrischen Widerstandes zwischen 0,25 und 12 MΩ, also im Bereich über dem minimal erforderlichen Wert von 0,1 MΩ. Eine Gefährdung des Ankers besteht nicht, die Ursache für die starke Variation der Werte ist noch zu klären.

*Overall corrosion-protected anchor. Not explainable oscillation of the electrical resistance in a range above the minimum required value of  $R_I \geq 0.1 \text{ M}\Omega$ . The causes for the oscillation of the resistance values have yet to be investigated.*

**Gained experiences**

So far, experiences with overall protected anchors are promising. For example, of 57 anchors, which were installed in 1997, all showed in 2002 a value of  $R_I > 0.1 \text{ M}\Omega$ . However, single anchors of other anchor systems showed lower values after some years. Hence, improvements of these systems are necessary. Since the position of a defective spot cannot be defined by measuring the electric resistance, specific improvements are not immediately possible. First, the defective spots must be found through experiments.

Quite often, a decline from a very high resistance ( $> 200 \text{ M}\Omega$ ) to a low, but sufficient value (0.2 to 1 MΩ) is observed (figure 4), which in our opinion is due to diffusion through the sealings of the plastic sheaths. The required value of  $R_I \geq 0.1 \text{ M}\Omega$  has proved plausible in practice: Leaks have been found in several anchors with significantly lower values.

There still is no explanation for the large oscillation of values of some anchors (figure 5). A thorough investigation of the causes of such oscillations is planned. In Switzerland, today, many anchorages from the 1960s and 1970s must be replaced after 25 to 40 years due to corrosive damage or due to impossibility of examination. They are being replaced by electrically isolated anchors. The confidence of authorities in the anchoring technology has been restored.

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

Franz Fischli

## 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 Röhre 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 mm<sup>2</sup> 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 (Stahllitzen mit Durchmesser 12,7 mm, mit korrosionsschützendem Fett in Polyäthylenröhrchen). In der Bergröhre sind auf einer Länge von 475 m insgesamt 380 Anker eingebaut, in der Seeröhre 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

### Projektdateien

#### 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

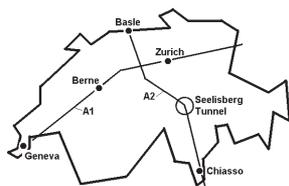
The 9.3 km long Seelisberg tunnel was built between 1973 and 1980 as part of the national highway A2. Together with the single cross-sectional Gotthard tunnel it is the most important north-south connection through Switzerland (figures 1 and 2).

148

Anchored structures

1

Situation.  
Plan view.

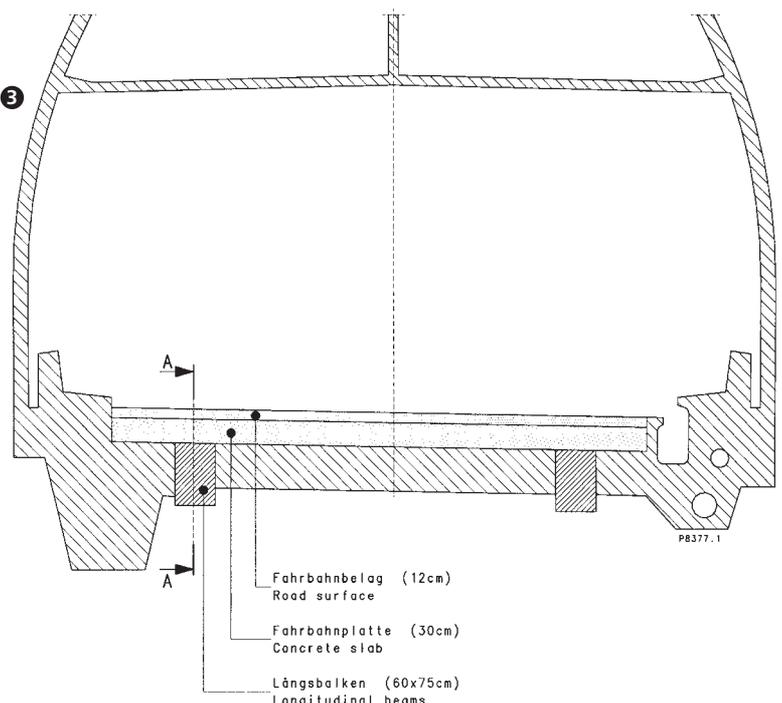


2

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



3



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.

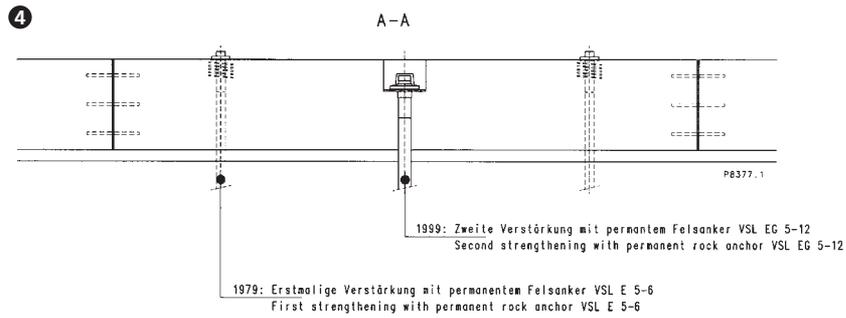
**Main characteristics**  
Total length: approx. 450 m  
Anchors: 376 permanent anchors VSL 5–12  
acc. to SIA V191  
Cost of anchors: approx. 1.12 million CHF  
Construction period: mid-September 1999  
to mid-February 2000  
Reopening of tunnel: 21.2.2000

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<sup>2</sup>, 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 <sup>2</sup> ]	1820	
	Fließgrenze	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1640	
	Nennquerschnitt/Litze	$A_p$ [mm <sup>2</sup> ]	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 <sup>2</sup> ]	1820	
	characteristic yield strength	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1640	
	nominal cross section/strand	$A_p$ [mm <sup>2</sup> ]	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  $P_o$  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  $\geq 100$  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:

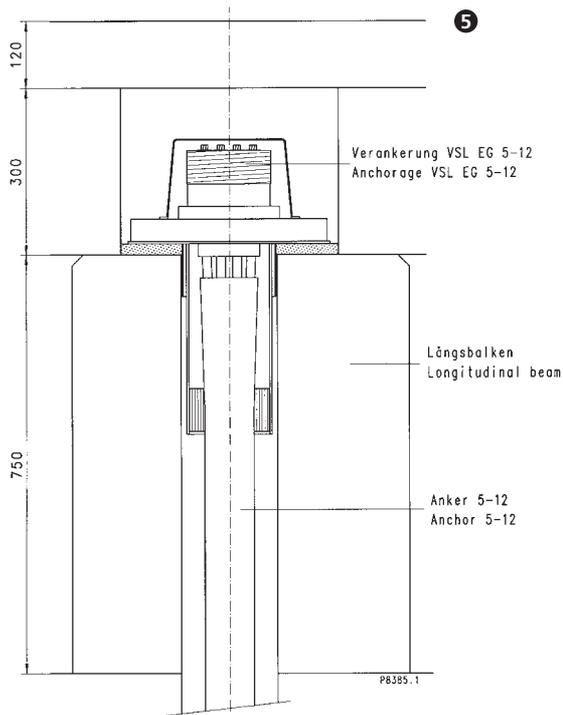
- anchor lock-off load  $P_o$   
= 1310 kN
- characteristic internal anchor resistance  $R_i$  = 2184 kN
- lengths:  
tendon free length  $l_{tf}$   
= 12 to 14 m,  
tendon bond length  $l_{tb}$   
= 6 m (assumed)

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.

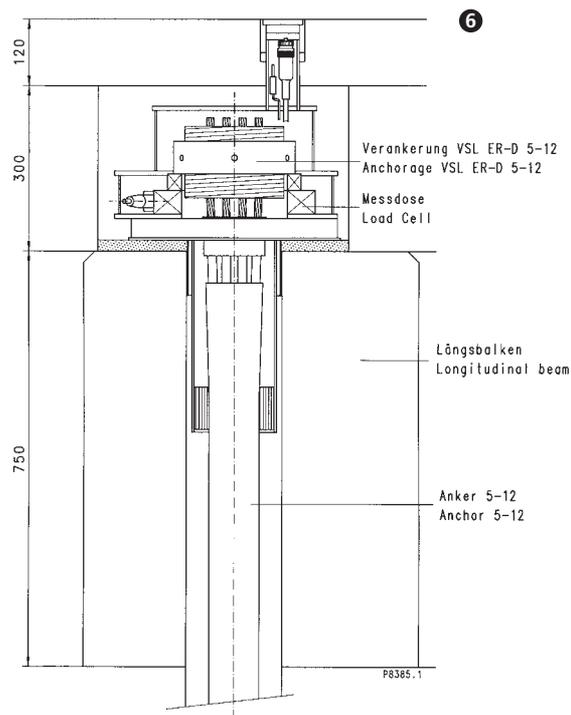
In addition, four test anchors with an increased number of strands and a bond length of 7 m were specified. These anchors were integrated into the project in the course of execution.

### 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  $R_{i1}$ , where they had to reach a minimum resistance of  $\geq 100$  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/Autor

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