

## Instandsetzung und Verstärkung einer Felssicherung

### Repair and reinforcement of an anchored rock cut

Bauherrschaft/Owner:	Baudirektion des Kantons Nidwalden, Stans
Experte/Expert:	Peter Matt, Ittigen
Projektverfasser/Designer:	Dr. Vollenweider Ltd., Zürich
Unternehmer/Contractors:	VSL (Schweiz) Ltd., Lyssach Arge Hatt-Haller AG/Fehlmann AG, Zürich

Ueli von Matt, dipl. Bauing., ETH/SIA  
Dr. Vollenweider AG  
8032 Zürich

#### Ausgangslage

Die Felsanschnitte für die Werkstrasse und die beiden Voreinschnitte beim Nordportal des Seelisbergtunnels der N2 sind 1973 bis 1977 mit rund 200 VSL-Litzenankern à 11 bis 19 1/2"-Litzen gesichert worden. Die meisten der mit 110 bis 150 t vorgespannten Anker sind Freispielanker und horizontal angeordnet (Figur 1). Es sind keine Messeinrichtungen für die permanente Überwachung der Verankerung eingebaut und bis 1991 keine Unterhaltsarbeiten an den Ankerköpfen ausgeführt worden.

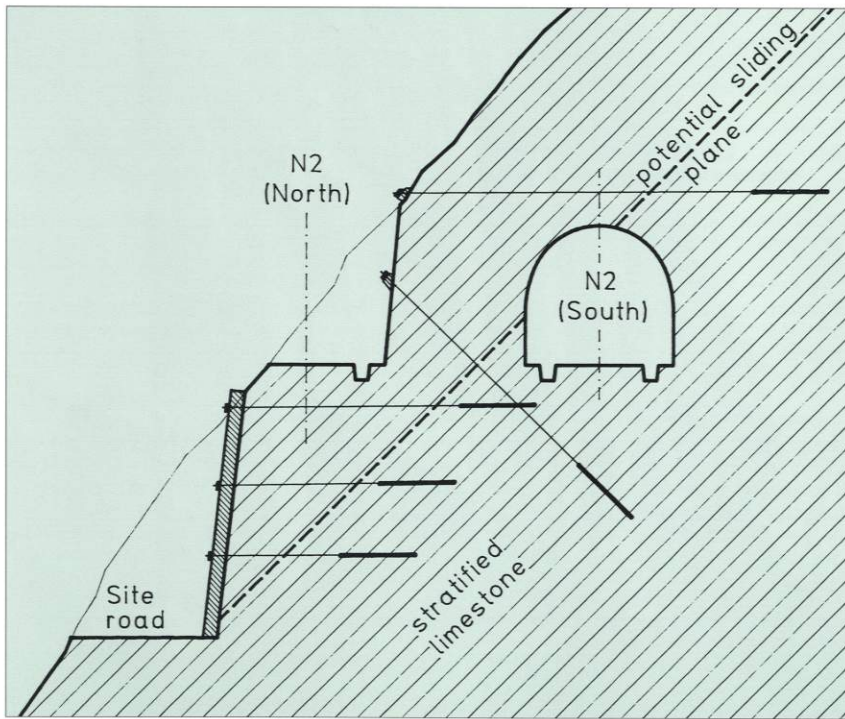


Fig. 1: Typischer Schnitt durch die 1973-77 ausgeführte Felssicherung  
Fig. 1: Typical section of the original anchorage

Im Rahmen einer vom Bauherrn im Jahr 1991 angeordneten Überprüfung sind bei der Sichtung der auffindbaren Bauakten, einer stichprobenartigen Überprüfung einiger Anker und der felsmechanischen Nachrechnung der Felssicherung folgende Erkenntnisse gewonnen worden:

- Die Verankerung sichert nicht nur die Felsanschnitte. Ein Versagen der Anker würde auch unmittelbar die beiden Röhren des Seelisbergtunnels gefährden. Das heisst, das Schadenpotential der Verankerung ist als sehr hoch einzustufen.
- Die Ankerköpfe weisen einen absolut ungenügenden Korrosionsschutz auf, insbesondere ist keine Abdichtung gegen Wasserzutritt zu den Litzen unmittelbar hinter der Verkeilung vorhanden. Bei sehr vielen Anker weist die Ankerplatte überdies oben einen vertikalen, 20 mm

#### Point of departure

The rock cuts above the site road and the two entrances of the northern portal of the 9 km long Seelisberg tunnel on the Swiss National Highway N2 have been secured in the years 1973 to 1977 by about 200 VSL anchors with 11 to 19 1/2"-strands. Most of the anchors having been locked off at 110 to 150 tons, have a permanent free length and are horizontal (Fig. 1). Till 1991 no monitoring and no maintenance of the anchorage have been executed.

In the course of an examination of the anchorage ordered by the owner in the year 1991 the following facts were found by scrutinizing the remaining site documents, by checking some individual anchors and by a rockmechanical verification of the anchorage:

- The anchorage does not only secure just the visible rock cuts. A rupture of the anchors would represent a direct risk to both tubes of the Seelisberg tunnel. Thus, the damage-potential of the anchorage has to be classified as very high.
- The anchor heads are absolutely insufficiently protected against corrosion. Especially, there is no sealing against water access to the strands directly behind the grips. The bearing plates of most of the anchors even show above the anchor head a vertical 20 mm wide slit. Behind the bearing plate a cavity not seldom filled with water can be observed. Obviously, the anchorage originally had been considered as a temporary stabilisation measure.
- Directly behind the grips the strands show well marked signs of corrosion attack. Single wires or even entire strands are broken. But already about 150 mm behind the grips the tendon steel is in a faultless condition owing to the protection by the single polyethylene sheaths filled with grease (so-called monostrands).
- The rockmechanical verification makes clear that the original anchorage shows - even without losses due to corrosion - a remarkable deficit of anchor force. This implies the installation of additional anchors.

#### Repair of the original anchors

If it is possible to detension the anchors and to grip the strands about 150 mm beyond the original position of the grips a durable repair of these nearly 20 years old anchors can be achieved. VSL elaborated a proposal to remove the anchor head and the outer trumpet including the spiral, to build in a new trumpet with a watertight sealing at the rock-side end and to fix it by flow concrete. The strands can then be gripped at the beginning of their sound section and tensioned by a new subsidable anchor head furnished with inner and outer threads (see Fig. 2). This proposal has then been successfully tested on a corrosion-damaged anchor.

In the second half of 1992 147 of the totally 157 accessible original anchors have been repaired.

breiten Schlitz auf. Dahinter sind Hohlräume oder gar stehendes Wasser festzustellen. Die Anker sind damals offenbar nur als temporäre Bauhilfsmassnahme betrachtet worden.

- Die Anker weisen unmittelbar hinter dem Ankerkopf markante Korrosionsschäden auf. Einzelne Drähte oder gar Litzen sind gebrochen. Bereits rund 150 mm hinter der Verkeilung ist der Ankerstahl jedoch in einwandfreiem Zustand, dank dem Schutz durch fettverfüllte PE-Einzelhüllrohre (sogenannte Monolitzen).
- Die eingebaute Felsicherung weist aus heutiger Sicht - selbst ohne Verluste durch Korrosion - ein beachtliches Ankerkraftdefizit auf. Dies bedingt die Erstellung von Zusatzankern.

#### Instandsetzung der bestehenden Anker

Wenn es gelingt, die Anker zu entspannen und die Litzen rund 150 mm hinter dem alten Keilbiss neu zu verkeilen und zu spannen, ist eine dauerhafte Instandsetzung der bestehenden Anker möglich. Die VSL erarbeitete einen entsprechenden Vorschlag, der vorsah, den Ankerkopf inkl. äusseren Ankerstützen auszubauen, einen neuen Ankerstützen mit felsseitiger Abdichtung einzubauen und mit Fließbeton einzubetonieren. Die Litzen können dann mit einer versenkten Ankerbüchse mit Innen- und Aussengewinde im gesunden Bereich verkeilt und gespannt werden (Figur 2).

Mit einem Versuch an einem geschädigten Anker wurde dieses Vorgehen mit Erfolg getestet und der für die Sanierung erforderliche Aufwand ermittelt.

Im Sommer/Herbst 1992 sind von den 157 für eine Instandsetzung zugänglichen Freispielankern deren 147 instandgesetzt, mit einer Spannprobe geprüft und mehrheitlich 20 bis 30% höher gespannt worden als die ursprüngliche Vorspannkraft. 10 Anker mussten aufgegeben werden, 7 wegen ungenügender Tragfähigkeit und 3 wegen tief liegender Korrosionsschäden. Die ungenügende Tragfähigkeit ist als Folge der horizontalen Anordnung der Anker zu betrachten. Denn bei horizontalen Ankern ist eine fachgerechte Injektion schwierig auszuführen und zu kontrollieren.

Die Anker hatten ursprünglich einen Litzenüberstand von ca. 90 mm. Deshalb konnten nur die kurzen Anker mit der Presse entspannt werden, die längeren Anker ( $L_f > 12$  m) mussten mit dem Schweißbrenner aus der Verkeilung gelöst werden.

#### Zusatzanker - umfassend korrosionsgeschützt

Im Sommer/Herbst 1992, also gleichzeitig mit der Instandsetzung der bestehenden Anker sind 100 Zusatzanker Typ VSL 5-19 mit 18 Litzen à  $100 \text{ mm}^2$  erstellt worden. Die Verankerungslänge beträgt 8 m, die freie Länge variiert von 9 bis 36 m. Die Anker sind mit 2460 kN geprüft und auf 1965 kN gespannt worden. Die Vorspannkraft entspricht 60% der Bruchlast des Zuggliedes.



Teilansicht der instandgesetzten und verstärkten Felsicherung  
View of the repaired and reinforced anchored rock cut

tested in an acceptance test (proof load 0.75 uts) and locked off at a load about 20 to 30% higher than the original lock off load. 10 anchors had to be given up, 7 of them as a result of too low bearing capacity and 3 of them because of corrosion damages in the transition zone from free length to bond length. The insufficient bearing capacity of seven anchors is considered a consequence of the horizontal position of the anchors. In this position a complete grouting of the borehole is very difficult to achieve.

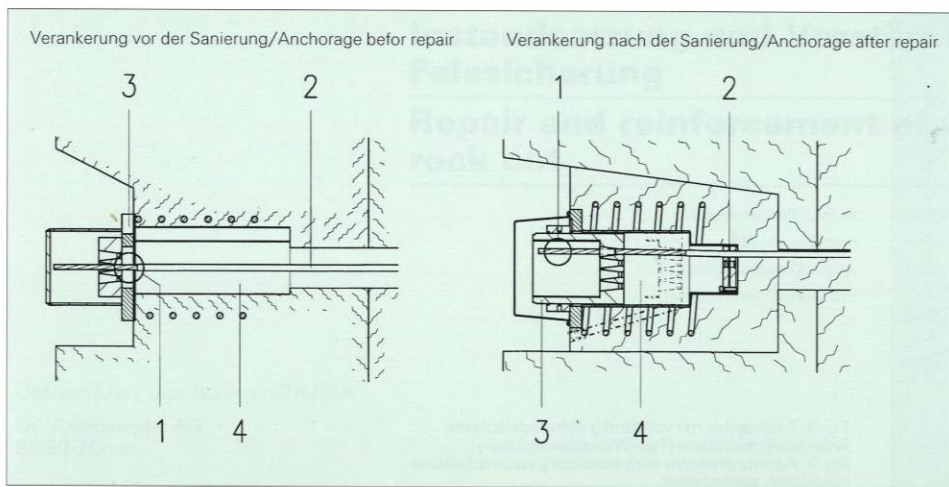


Fig. 2: Instandsetzung der 20jährigen Anker  
Fig. 2: Repair of the 20 years old anchors

- 1 Korrosionsgeschädigter Teil der Litze
- 2 Einzel gefettete und PE umhüllte Litze
- 3 Ankerplatte mit Schlitz
- 4 Feuchter Hohlraum

- 1 Corroded section of strand
- 2 Individually greased and PE sheathed strand
- 3 Bearing plate with slot
- 4 Humid cavity

- 1 Korrosionsgeschädigter Teil der Litze (wurde aus Montagegründen nicht abgeschnitten)
- 2 Dichtung
- 3 Spezial Ankerbüchse zum Fassen der Litzen hinter dem korrosionsgeschädigten Abschnitt
- 4 Hohlraum verfüllt mit Korrosionsschutzfett

- 1 Corroded section of strand (for ease of installation not removed)
- 2 Seal
- 3 Special anchor head for gripping of strands beyond the corroded section
- 4 Cavity filled with corrosion protective compound

Nach heutigem Wissensstand wird der dauerhafte Schutz des Stahlzuggliedes durch eine Umhüllung erreicht, die chemisch beständig, ausreichend diffusionsdicht und elektrisch isolierend ist. Bei den Zusatzankern besteht diese Umhüllung aus Polyethylenrohren (PE), die im Bereich der Verankerungslänge gewellt sind. Das untere Ende und der Übergang  $L_v/L_{frei}$  sind mit Schrumpfschläuchen abgedichtet.

Dank dem elektrisch isolierenden Material der Schutzhülle kann ihre Integrität und Diffusionsdichtigkeit nach dem Einbau, der Injektion und der Spannprobe der Anker sehr einfach mit einer elektrischen Widerstandsmessung überprüft werden (Messspannung 500 V Gleichstrom, erforderlicher Widerstand  $R_i \geq 0.1 \text{ M}\Omega$ ).

Um die erforderliche Diffusionsdichtigkeit der Schutzhülle und deren Überprüfbarkeit auch beim kritischen Übergang der freien Ankerlänge zum Ankerkopf zu erreichen, sind die Zusatzanker mit einer neuartigen Ankerkopfkonstruktion ausgeführt worden, bei der der innere Ankerstutzen nicht mehr aus Stahl, sondern aus PE besteht. Der PE-Stutzen wird durch die Ankerplatte hindurchgeführt und mit der Cevolitplatte verbunden, die zwischen Ankerplatte und Ankerbüchse angeordnet ist. Es sind zwei verschiedene Konstruktionsarten eingesetzt worden. 85 Anker sind mit dem Typ «Werkschweißung» ausgerüstet worden, bei welchem die elektrische Verschweißung des PE-Sammelhüllrohres mit dem PE-Stutzen im Werk erfolgt (Figur 3). Bei diesem Typ ist somit die Ankerplatte schon vor dem Einbau am Anker montiert, was nur bei unverrohrten Bohrungen, das heißt bei reinen Felsankern, möglich ist. Um auch einen Ankerkopf testen zu können, der nach dem Ankereinbau den Bohrrückzug ermöglicht, wurden 12 Anker mit «Baustellenschweißung» ausgerüstet. Dabei erfolgt die Verschweißung des PE-Hüllrohres mit dem PE-Stutzen nach dem Spannen des Ankers mit zwei Elektroschweißmuffen.

Diese neuartige Ankerkopfkonstruktion ermöglicht eine vollständige elektrische Isolation des Ankers vom Baugrund und Bauwerk auch im gespannten und fertig ausinjizierten Zustand. Damit kann die Integrität der Schutzhülle während der ganzen Nutzungsdauer der Anker mit der elektrischen Widerstandsmessung  $I$  überprüft werden. Weil die Anker für die periodische Durch-

The original anchors had strand ends overstanding the anchor head about 90 mm. For that reason, only the shorter anchors could be detensioned by a stressing jack. The anchors with free lengths of more than about 12 m had to be detensioned by a welding-torch.

#### Additional anchors - completely protected against corrosion

At the same time as the repairing of the original anchors a number of 100 additional anchors of the type VSL 5-19 with 18  $1/2''$ -strands each have been installed. Their bond length is 8 m, their free length varies from 9 to 36 m. The anchors have been tested at a proof load of 2460 kN and locked off at 1965 kN which is 60% of the ultimate characteristic load capacity of the tendon.

A secure permanent protection of the prestressing steel can be achieved by an encapsulation of the tendon which is non-corrosive, sufficiently diffusion-tight and electrically insulating. The sheaths of the additional anchors are made of polyethylene (PE) tubes which are corrugated on the bond length. At the bottom of the anchor and at the transition between bond and free length the PE tubes are sealed by heat shrinking sleeves.

As a result of the electrically insulating material of the sheath, its integrity and diffusion-tightness can be very simply checked by electrical resistance measurements after setting, grouting and testing the anchor at proof load (direct current 500 Volt, resistance  $R_i \geq 0.1 \text{ Megaohm}$ ).

To achieve a sufficient and verifiable diffusion-tightness of the encapsulation at the critical transition point between free anchor length and anchor head, the additional anchors have been furnished with a new anchor head concept developed by VSL. In this new anchor head the inner trumpet consists of PE instead of steel and goes up through the bearing plate where it is connected with an insulation plate placed between the anchor head and the bearing plate (Fig. 3). Two different types of this new anchor head concept have been used. 85 anchors have been executed with the shop welded type where the PE trumpet is welded to the smooth sheath of the free length in the workshop. With this type, the bearing plate must be mounted on the anchor before installation. This is only possible in connection with un-

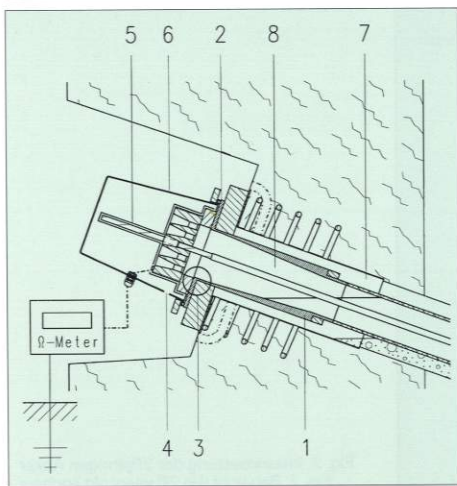


Fig. 3: Zusatzanker mit vollständig elektrisch isolierter Ankerkopfkonstruktion (Typ «Werschweissung») Fig. 3: Additional anchor with electrically insulated anchor head (shop welded type)

- 1 Innerer Ankerstützen aus PE (werkseitig mit Ankerhüllrohr verschweisst)
- 2 Isolationsplatte
- 3 Verbindungsdetail (nicht massstäblich)
- 4 Entwässerungs- und Belüftungsöffnung
- 5 Dicker Anstrich mit Korrosionsschutzfett
- 6 Schutzdeckel mit el. isolierender Beschichtung
- 7 Sekundäre Zementinjektion aussen
- 8 Sekundäre Zementinjektion innen

- 1 PE trumpet shop welded to PE sheath
- 2 Isolation plate
- 3 Connection detail shown in principle only
- 4 Drainage and ventilation hole
- 5 Thick coating with corrosion protective compound
- 6 Electrically non-conducting coating
- 7 External secondary cement grout
- 8 Internal secondary cement grout

führung der Messung aber nicht direkt zugänglich sind, ist jeder Ankerkopf mit einem Messkabel ausgerüstet worden, das zu einem Messkasten am Fuss der Felssicherung an der Werkstrasse geführt wird. Von dort aus kann nun der Korrosionsschutz der vollständig elektrisch isolierten Anker jederzeit überprüft werden.

### Überwachungssystem

Zur langfristigen Überwachung der Felssicherung werden folgende Messungen periodisch durchgeführt.

- Felsverschiebungen  
Im ganzen Sicherungsbereich sind 10 Fünffachextensometer à 35 bis 40 m Länge mit elektrischen Weggebern eingebaut, die jeweils hinter die tiefstmögliche Gleitfläche reichen. Die Extensometer sind mit Messkabeln an Multiplexer am Wandfuss angeschlossen, die über ein Sammelkabel mit einem Datalogger verbunden sind. Der Datalogger ruft täglich die Messwerte ab und speichert sie. Die Messergebnisse können periodisch dem Datalogger entnommen werden oder - wie zurzeit installiert - über ein Modem und ein Natel C direkt vom Büro aus abgerufen, ausgedruckt und mit dem Plotter aufgezeichnet werden.
- Ankerkräfte  
Rund 10% der instandgesetzten und der neuen Anker sind mit elektrischen Kraftmessdosen ausgerüstet. Insgesamt sind im ganzen Sicherungsbereich 26 Kraftmessdosen eingebaut, nämlich 16 an alten und 10 an neuen Anker. Die Kraftmessdosen sind ebenfalls mit Messkabeln an Multiplexer angeschlossen. Die Messungen erfolgen wie bei den Extensometern mit dem Datalogger.
- Elektrische Widerstandsmessungen (Korrosionsschutz)  
Der elektrische Widerstand  $R_i$  der Zusatzanker kann bei den Messkästen am Wandfuss an der Werkstrasse gemessen werden.

cased borings as for pure rock anchors. To try out a type which allows the withdrawal of the casing after the installation of the anchor, 12 anchors have been executed with the site-welded type where the electrical welding of the PE trumpet to the smooth sheath of the free length is made after tensioning the anchor.

This new anchor head concept results in a complete electrical insulation of the anchor from the ground and the structure even after tensioning and after anchor head injection. Therefore, the integrity of the encapsulation can be checked by electrical resistance measurements during the whole service life of the anchor. Since the anchors are not directly accessible for measuring, all the additional anchors have been wired up to control boxes at the site road for convenient surveillance.

### Surveillance system

For the long-term surveillance of the anchored rock cut, the following monitoring is periodically carried out.

- Rock displacements  
Over the whole anchored zone 10 extensometers equipped with electrical displacement measuring devices are installed. Their length is 35 to 40 m and reaches beyond the deepest potential sliding plane. The extensometers are connected to multiplexers and these to a datalogger. The datalogger calls daily for the measuring data and stores them. The results can periodically be printed out at the datalogger or - as now installed - directly called up by a mobile phone and a modem from the office where they are printed and plotted.
- Anchor loads  
About 10% of the repaired and the additional anchors are equipped with electrical load cells. 16 cells are installed on old anchors and 10 on new anchors. The load cells are also connected to multiplexers. The load measurement is carried out in the same way as the measuring of the rock displacements.
- Electrical resistance measurements (corrosion protection)  
The electrical resistance of the additional anchors is periodically measured at the control boxes at the site road.