

**Anhang 2: Ankersysteme:** Kurzbeschreibung ausgewählter Objekte.

Bezeichnung	Name des Objektes	1. Bericht [Hunkeler 1998]	2. Bericht Anhang 2, Seite
<b>Einstabanker</b>			
SG-08	SN1, Rampe 504, St. Gallen		<b>267</b>
SG-10	Stützwand Spinnerei Murg		<b>269</b>
SO-01	Borntunnel, Nord- und Südportal	<b>x</b>	
ZG-01	Stützmauer Steinhof, Unterägeri		<b>271</b>
ZH-03	A1, Hangsicherungsbauwerk Eggwald	<b>x</b>	
ZH-04	Verlängerung SZU	<b>x</b>	
<b>Mehrstabanker</b>			
VS-05	T9, Sierre – Brigue, Mur ancré des Bernunes	<b>x</b>	
ZH-22	Stützwand Staubweidli, Wädenswil		<b>273</b>
<b>Drahtanker</b>			
TI-05	A2, Viadotto AS Pianturino	<b>x</b>	
<b>Litzenanker</b>			
FR-04	A12, Stützmauer d'Avry-devant-Pont		<b>276</b>
FR-05	A12, Stützmauern, Flamatt		<b>279</b>
NW-01	A2, Seelisbergtunnel, Nordportal	<b>x</b>	
OW-01	A8, Tunnelportalwand Lopper Süd, Hangsicherung	<b>x</b>	
SG-01	Spannbandbrücke Dietfurt	<b>x</b>	
SZ-06	Steinschlaggalerien Axenstrasse	<b>x</b>	
TI-01	A2, Viadotto di Monte, Faido	<b>x</b>	
VD-10	A12, Vevey – Châtel St. Denis, Mur AR No. 8		<b>286</b>



**SN1, Rampe 504, St. Gallen****SG-08**

<b>Bauherr:</b>	Tiefbau- und Strassenverwaltung Kanton St. Gallen
<b>Bauwerksart:</b>	horizontale und vertikale verankerte Betonriegel
<b>Bauwerksfunktion:</b>	Baugrubensicherung für die Erstellung eines Tagbautunnels, permanente Hangsicherung
<b>Baujahr:</b>	1979 / 1980

**Beschreibung des Bauwerks**

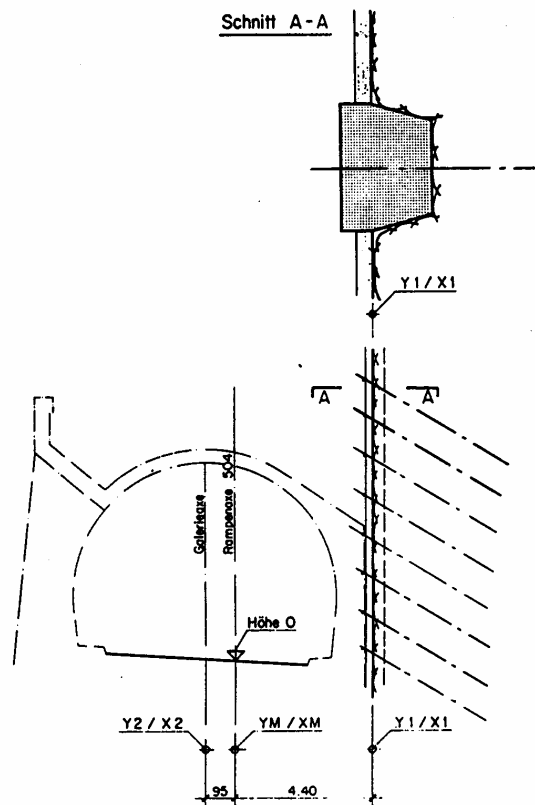
Die Anschnittsicherung ist 70 m lang und rund 15 m hoch. Der Baugrund besteht aus Molassefels, der Gleitflächen enthält. Beim Übergang zur Stützmauer Dietli ist die Sicherung auf eine Länge von 10 bis 15 m mit horizontalen, leicht abgestuften Betonriegeln erstellt worden. Die restliche Sicherung besteht aus vertikalen, etappenweise erstellten und verankerten Betonriegeln im Abstand von 3.5 m. Die horizontalen Riegel sind mit 52 Stabankern von 14 bis 22 m Länge, die vertikalen Riegel mit 203 Stabankern von 11 bis 25 m Länge verankert. Alle Anker sind Dywidag Stäbe  $\varnothing$  36 mm, St 1080/1230. Die Festsetzkraft beträgt grossmehrheitlich 600 kN. In der Verankerungslänge liegen die Stäbe blank im Verankerungskörper, auf der freien Länge in einem PE-Hüllrohr, das im Werk mit Wisojet ausinjiziert wurde. Für den Transport wurde das obere Ende mit einem Schrumpfschlauch abgedichtet, der nach dem Einbau entfernt wurde. Das PE-Hüllrohr wird (theoretisch) bündig hinter der Ankerplatte geschnitten. Der Kopfschutz besteht aus der Feuerverzinkung der Ankerplatte und einem Schrumpfschlauch über Stabüberstand und Mutter.

Das Bauwerk diente zunächst als Baugrubensicherung für die Erstellung des Tagbautunnels, nach der Einschüttung des Tunnels als permanente Hangsicherung. Die Zugänglichkeit der Ankerköpfe sollte im oberen Bereich über Vertikalschächte, im unteren Bereich über abgedeckte Nischen in der Tunnelwand gewährleistet werden.

Am 5. Juni 1980 wurde der letzte der insgesamt 255 Anker gespannt.

**Zustandsbeschreibung und allfällige Schadensursachen**

Am 14. Dezember 1981 brach ein Anker. Bis am 28. Januar 1983 erfolgten weitere acht Ankerbrüche. Die Bruchstellen lagen immer auf der freien Länge und zwar zwischen 3.5 und 16.4 m hinter dem Ankerkopf (**Bild 2**). In die sehr umfangreichen Untersuchungen der EMPA wurden neben den gebrochenen Ankerstäben auch 37 Stababschnitte aus dem Lager der Ankerfirma miteinbezogen. Die EMPA kam zum Schluss, dass die Ankerbrüche mit grosser Wahrscheinlichkeit auf eine Versprödung des Materials durch ungeeignete Lagerhaltung auf dem Werkhof zurückzuführen sind (wasserstoffinduzierte Versprödung an Lochfrassstellen, deren Bildung durch Chloride aus salzhaltigem Sprühnebel gefördert wurde).

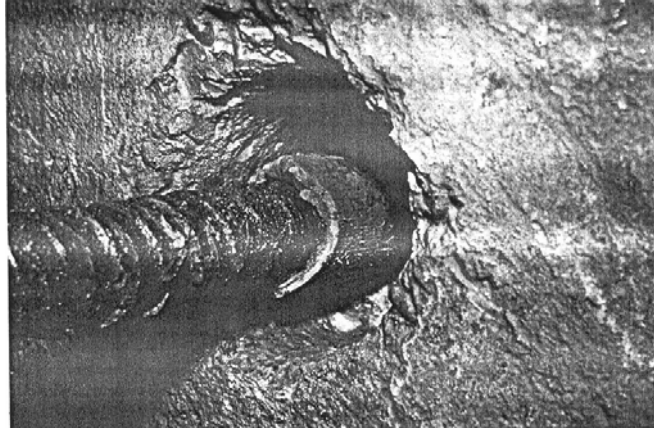


**Bild 1:** Schema Vertikalriegel.

## Massnahmen

Eine visuelle Kontrolle der Ankerüberstände ergab, dass eine Reihe weiterer Anker Korrosionsnarben aufwies. Diese Anker wurden von 600 kN auf 420 kN entlastet und es wurde beschlossen, diese Anker zusammen mit den 9 gebrochenen Ankern durch insgesamt 33 Zusatzanker zu ersetzen.

Die Nachrechnungen ergaben für den Bauzustand (vor Einbau der Zusatzanker) eine ausreichende Sicherheit. Für den Betriebszustand wurde nachgewiesen, dass die Tunnelkonstruktion etwa einen Drittel des Hangschubes übernehmen und in den Untergrund abtragen kann. Dies führte zum Schluss, dass nach dem Einbau der Zusatzanker "eine grössere Anzahl weiterer Anker ausfallen könnte, bevor eine kritische Situation eintreten würde". Deshalb wurde auf eine eigentliche Projektänderung verzichtet (1985 und 1986 sind denn auch drei weitere Ankerbrüche festgestellt worden).



**Bild 2:** Anker hinter Ankerplatte (Anker Nr. 205).

Als weitere Massnahme wurde ein verbesserter Ankerkopfschutz (mit Fett verfüllte Schutzhaube anstelle des Schrumpfschlauches) angeordnet. Bei der Ausführung wurde gleichzeitig eine Spannkraftkontrolle vorgenommen sowie jeder Anker entspannt und hinter der Ankerplatte inspiziert. Dabei wurde festgestellt, dass das PE-Hüllrohr sehr oft nicht satt an die Ankerplatte anschloss und oft auch oben nicht (mehr) vollständig mit Fett verfüllt war. Beim Abheben ist übrigens ein weiterer Anker bei 600 kN direkt hinter der Mutter gebrochen. Er wurde gekuppelt und wieder gespannt!

*Ausführung mangelhaft:*

- A PE-Hüllrohr schräg oder zu weit hinten abgeschnitten
- F PE-Hüllrohr nicht an Platte angepresst
- K PE-Hüllrohr nicht vollständig mit Schutzfett gefüllt

Bemerkung:

Die Buchstaben A bis K dienen der Bauleitung zur Typologisierung der festgestellten Mängel an den inspizierten Ankern.

## Folgerungen

Der Schadenfall hat dazu geführt, dass seither der Einsatz von permanenten Stabankern der Qualität St 1080/1230 von den meisten Kantonen verboten wurde.

Bei vor etwa 1985 eingebauten Stabankern ist der Ankerkopfschutz mangelhaft, überdies besteht bei diesen Ankern generell ein unkontrollierbares Versprödungsrisiko durch Vorschädigungen infolge ungeeigneter Lagerhaltung.

## Unterlagen

- EMPA-Prüfberichte Nr. 45'677 vom 14. Juni 1982, Nr. 167'963/1 vom Januar 1988, Nr. 167'963/2 vom 20. Mai 1983, Nr. 52'021 vom 27. Januar 1986 und Nr. 52'021/1 vom 11. Juli 1986.
- Bericht Nr. 39 über Sanierungsmassnahmen, Motor-Columbus AG, Baden vom Januar 1983.
- Bericht über die Ankerkopfsanierung, Motor-Columbus AG, Baden vom 23. Juni 1983.
- Schadenfälle an Spannstaht in der Schweiz, U. Kellner, Spann-Staht AG, Hinwil, 15. Juni 1985.

## Stützwand Spinnerei Murg

**SG-10**

**Bauherr:** Spinnerei Murg AG, 8877 Murg  
**Bauwerksart:** verankerte Elementwand  
**Bauwerksfunktion:** Sicherung des Hanganschnittes  
**Baujahr:** 1977

### Beschreibung des Bauwerks

Die Stützwand ist eine im Unterfangungsverfahren erstellte vertikale permanent verankerte Elementwand. Die rund 87 m lange Wand reicht bis zur unruhig verlaufenden Felsoberfläche (Verrucano), ihre Höhe variiert zwischen etwa 3 und 7 m.

Die einzelnen Elemente sind 1.5 bis 1.8 m hoch, und meist 3 m breit. Sie sind mit insgesamt 77 Dywidag-Stabankern im Fels verankert. Davon sind 39 Anker mit 40 t (392 kN) und 38 Anker mit 60 t (588 kN) vorgespannt worden.

40 t-Anker: Ø 32 mm, Qualität vermutlich 830/1030, Vorspanngrad 47%  $f_{pk}$ . Verankerungslänge 5 m, freie Ankerlängen 5 bis 9 m. Lage im oberen Wandbereich.

60 t-Anker: Ø 36 mm, Qualität vermutlich 1080/1230, Vorspanngrad 47%  $f_{pk}$ . Verankerungslänge 6 m, freie Ankerlänge 4 m. Lage im unteren Wandbereich.

Der Korrosionsschutz besteht auf der freien Ankerlänge aus einem Schrumpfschlauch. Der mit Schrumpfschlauch umhüllte Stab liegt frei in einem PE-Hüllrohr, das oben offen und unten mit einem Schrumpfschlauch abgedichtet ist. Auf der Verankerungslänge liegt der blanke Stab im Zementstein.

Die Ankerköpfe (Muttern und Stabüberstände) waren ursprünglich alle mit Schrumpfschläuchen geschützt. Bis auf 10 Ankerköpfe, die für spätere Kraftkontrollen so belassen wurden, sind alle Ankerköpfe etwa 1983/85 mit einem Mörtelvorsatz als zusätzlicher Korrosionsschutz versehen worden. Dabei sind die Stabüberstände direkt hinter der Mutter abgetrennt worden.

### Zustandsbeschreibung und allfällige Schadensursachen

Seit dem Einbetonieren der Ankerköpfe hat ausser drei Messungen der zwei oben liegenden Inklinometer (1989/1990/1991) keine Überwachung der Wand stattgefunden. Im Januar 1998 hat der Hauswart am Wandfuss eine Ankerstange gefunden (**Bild 1**). Daraufhin wurde eine Überprüfung der Stützwand angeordnet. Sie umfasste:

- die Messung der zwei Inklinometer (1 resp. 4 mm Kopfverschiebung seit 1991).
- Inspektion der Stützwand. Dabei wurden drei weitere Ankerbrüche festgestellt (herausgeschlagene Trichter im Mörtelvorsatz).
- Untersuchung von drei gebrochenen Ankerstäben an der EMPA. Alle drei Stäbe waren hinter dem Abschluss des PE-Hüllrohres im Bereich der Verankerungslänge gebrochen. Offensichtlich war die Verankerungslänge unvollständig injiziert, an den Stäben fanden sich keine Zementsteinspuren und die Hüllrohre konnten mühelos aus dem Bohrloch gezogen werden. Als Bruchursache wurde wasserstoffinduzierte Versprödung ausgehend von Korrosionsnarben diagnostiziert (**Bild 2**). Der Korrosionsangriff erfolgte an den ungeschütz-

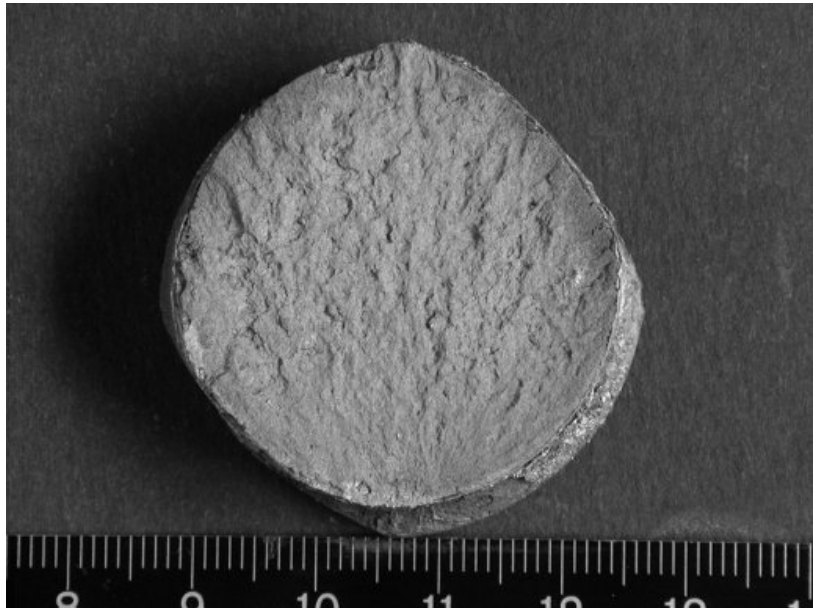


**Bild 1:** Durch Ankerbruch weg gesprengter Mörtelvorsatz.

ten Ankerstäben (fehlendes Füllgut) durch Wasser und Sauerstoff. Es wurden keine weiteren korrosionsfördernden Elemente gefunden.

Alle vier gebrochenen Ankerstäbe hatten einen Durchmesser von 36 mm und eine Stahlqualität 1080/1230. Dieser Befund scheint die höhere Empfindlichkeit von Stäben dieser Qualität zu bestätigen.

Die Nachrechnung ergab, dass die Verankerung für den Betriebszustand beträchtliche nominelle Tragreserven aufwies. Dies einerseits weil bei Elementwänden für die Bemessung der Verankerung die Bauzustände massgebend waren und wohl auch, weil vermutlich der Fels teilweise höher angetroffen wurde als im Projekt angenommen. Dieser positive Umstand entschärfte die Situation kurzfristig, auf die Ergreifung von Notmassnahmen konnte verzichtet werden. Trotzdem wurde die klare Empfehlung abgegeben, dass die Verankerung bald ersetzt werden muss.



**Bild 2:** Bruchfläche. Sprödbbruch ausgehend von Korrosionsnarbe (unten).

### Massnahmen

Die gesamte Verankerung ist im Jahr 2000 ersetzt worden. Je nach Platzverhältnissen sind auf der Elementwand oder auf einem Riegel bergseitig der Elementwand neue Litzenanker eingebaut worden. Der bergseitige Riegel ist auf Mikropfählen fundiert und mit einbetonierten Zugstangen mit dem Wandkopf verbunden worden. Der Wandfuss wurde bereichsweise mit vorinjizierten Felsnägeln gesichert.

### Folgerungen

Die Ausführung und Prüfung der Anker ist offenbar vollständig dem Unternehmer überlassen worden. Mangels Bohrlochprüfung bzw. Bohrlochkonsolidierung im klüftigen Fels wurden die Verankerungslängen nur unvollständig injiziert.

### Unterlagen

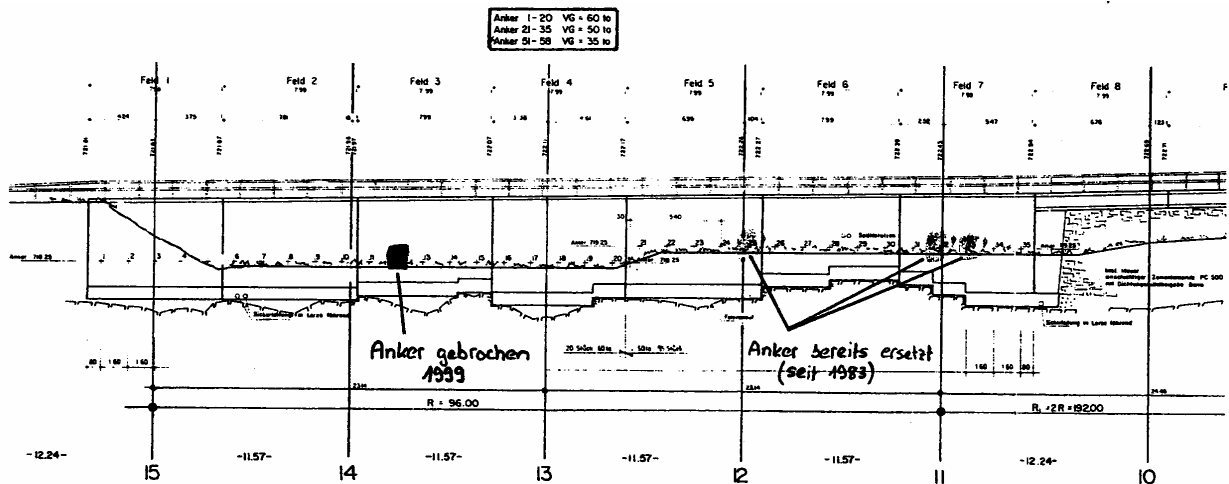
- Zustandsbeurteilung der Verankerung, Bericht Nr. 355/1 vom 14. August 1998, Dr. Vollenweider AG, Zürich
- EMPA Prüfbericht Nr. 173'348 vom 22. Juli 1998
- Verstärkungskonzept, Bericht Nr. 355/2 vom 6. Oktober 1998, Dr. Vollenweider AG, Zürich

## Stützmauer Steinhof, Unterägeri

**ZG-01**

**Bauherr:** Tiefbauamt des Kantons Zug  
**Bauwerksart:** verankerte Stützmauer  
**Bauwerksfunktion:** Sicherung der verbreiterten Kantonsstrasse  
**Baujahr:** 1980

### Beschreibung des (ursprünglichen) Bauwerkes

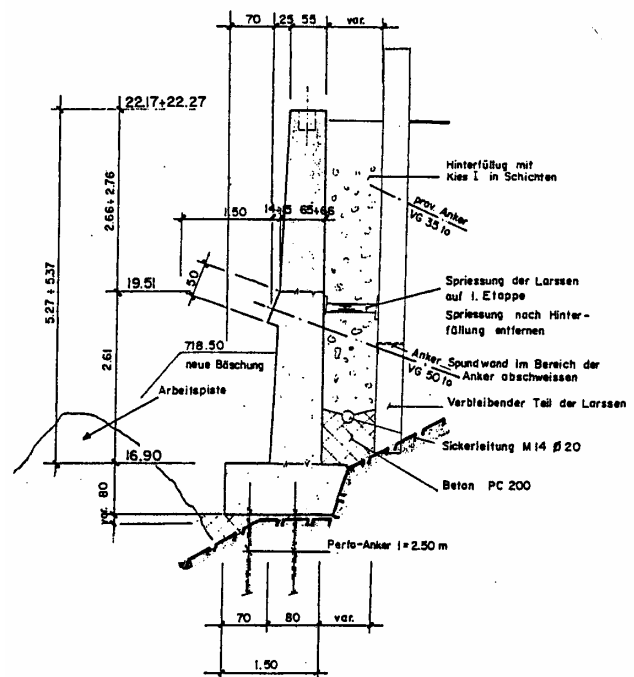


**Bild 1:** Ansicht der Stützmauer.

Die bis 6.4 m hohe Betonmauer ist 56 m lang (**Bild 1**). Ihr nur 1.5 m breiter Fuss steht auf Molassefels und ist mit 2.5 m langen vertikalen Perfoankern (je 2 alle 1.50 m) gesichert. Die Mauer ist mit 35 Dywidag-Stabankern  $\varnothing$  36 mm, St 1080/1230 verankert (20 Anker mit einer Festsetzkraft  $P_0 = 600$  kN, 15 Anker mit  $P_0 = 500$  kN) (**Bild 2**). Die Verankerungslänge ist mit einem PVC-Ripprohr umhüllt, der Zwischenraum wurde vor dem Einbau mit zementösem Füllgut ausinjiziert. Die freie Ankerlänge ist von einem Kunststoffhüllrohr (PVC) umhüllt, das im Werk mit Densojet ausinjiziert wurde.

Für den Bau der Stützmauer ist zunächst eine Spundwand eingebracht worden. Die Spundwand wurde im Kopfbereich mit acht temporären Stabankern,  $P_0 = 350$  kN gestützt. Auf einer Länge von rund 32 m sind dann bereits 20 definitive Anker eingebaut und zur Sicherung der Spundwand auf einer Stahllongarine verankert worden. Anschliessend ist vor der Spundwand die Betonmauer bis knapp über die Lage der Anker erstellt worden. Die bereits gespannten Anker sind dann mit Kupplungen verlängert worden und nach dem Hinterfüllen des Mauerstückes auf der Mauer neu gespannt worden. Die restlichen 15 Anker sind direkt von der Mauer aus eingebaut worden, sie sind jedenfalls nicht gekuppelt. Die Ankerköpfe wurden mit einer fettverfüllten Schutzhaube geschützt.

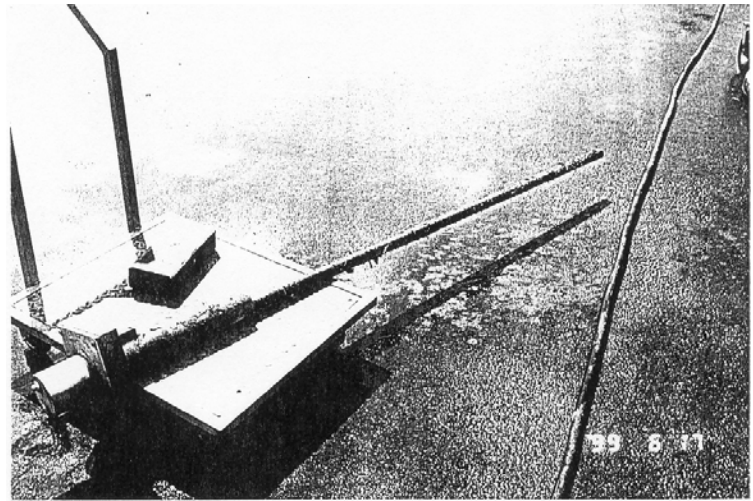
### Schnitt A-A 1:100



**Bild 2:** Querschnitt.

## Zustandsbeschreibung und allfällige Schadensursachen

Im Herbst 1983 brach einer der gekuppelten Anker. Die Untersuchung ergab, dass der Bruch unmittelbar bergseitig der ersten Verankerung auf der Spundwand eingetreten ist und zwar, weil der Anker infolge zu tiefer Lage der Durchführung durch die Betonmauer beim zweiten Spannen über die scharfe Kante der ausgeschnittenen Spundwand gezogen und dabei sogar verbogen worden war. Der abgebrochene Stab wies jedoch auch ausserhalb der Bruchstelle mehrere Korrosionsnarben auf. Bis Ende 1992 sind zwei weitere gekuppelte Anker gebrochen. Bei beiden Ankern wurde die gleiche Bruchursache wie beim ersten Anker diagnostiziert. Die drei Anker sind jeweils nach der Feststellung des Bruches ersetzt worden.



**Bild 3:** Ausgebauter gebrochener Ankerstab (Länge ca. 2.25 m).

Bei einer Inspektion der Mauer im Sommer 1999 ist ein weiterer Ankerbruch festgestellt worden (**Bild 3**). Dieser Anker war jedoch nicht gekuppelt. Eine Verletzung durch die Spundwand kann bei diesem Anker ausgeschlossen werden. Der Bruch ist in 2.2 m Tiefe eingetreten. Der ausgebaute Ankerstab war auf der ganzen Länge gefettet, wies jedoch mehrere Korrosionsnarben auf. Eine solche war Ausgangspunkt des eingetretenen Bruches. Ein Biegeversuch an der EMPA ergab eine starke Versprödung des Ankerstabes. Der Ausgangspunkt des Bruches war wieder eine Korrosionsnarbe. Ungeklärt ist, ob die an allen Stäben beobachteten Korrosionsnarben von einer Vorschädigung stammen (falsche Lagerung der Stäbe vor dem Einsatz) oder ob bei der Injektion des plastischen Füllgutes Restfeuchtigkeit eingeschlossen wurde, die zu lokalen Korrosionsangriffen und anschliessend zu Wasserstoffversprödung geführt hat.

## Massnahmen

Im Sommer 2000 ist die gesamte Verankerung der Stützmauer durch 55 neue, umfassend korrosionsschutzgeschützte Litzenanker ersetzt worden. Alle neuen Anker sind als Kontrollanker ausgebildet, vier sind mit elektrischen Kraftmessdosen ausgerüstet. Beim Abschneiden bzw. Ausbau der Verlängerungsstäbe der alten Anker sind zwei weitere Ankerbrüche festgestellt worden.

## Folgerungen

Das Kuppeln von permanenten Ankern muss minutiös geplant werden, damit eine Schädigung des Ankers (Umlenkungen) und eine Schwächung des Korrosionsschutzes vermieden wird. Bei vor ca. 1985 eingebauten Stabankern besteht generell ein unkontrollierbares Versprödungsrisiko durch Vorschädigungen oder nicht werkmässige Applikation der Korrosionsschutzmassnahmen. Dies gilt besonders bei den hochempfindlichen Stäben der Qualität St 1080/1230.

## Unterlagen

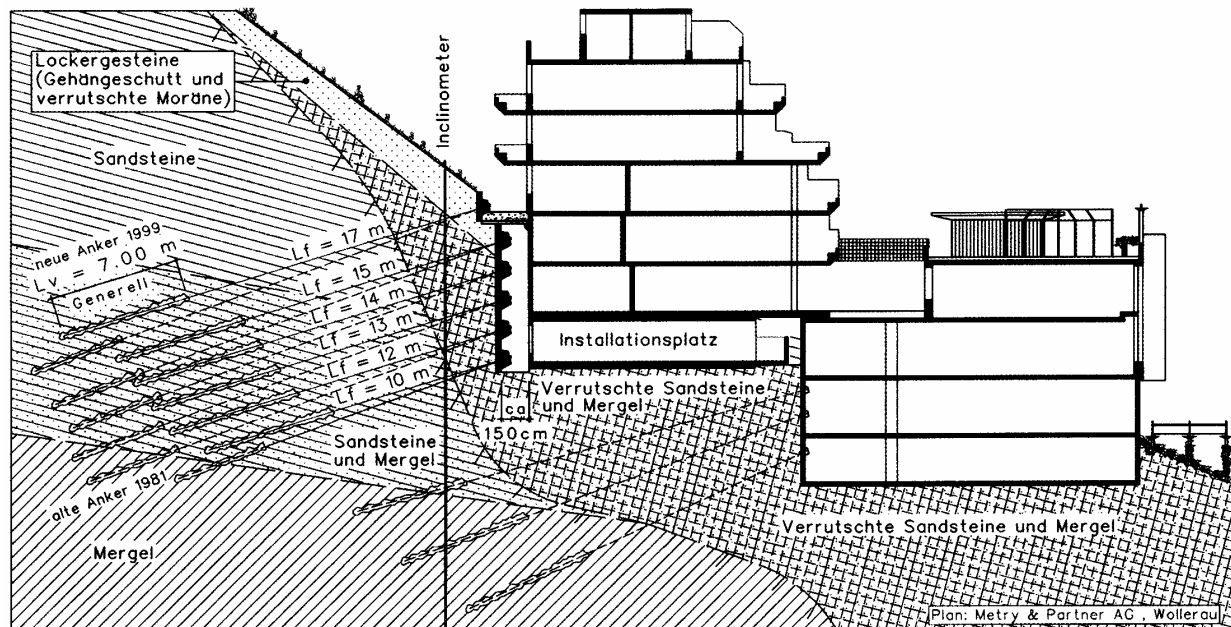
- Bericht Ankerausfall Stützmauer Steinhof, Berchtold und Eicher, Zug, 24. August 1999.
- EMPA Prüfbericht Nr. 406'430 vom 17. August 1999.
- Ansicht Stützmauer 1:100, Plan Nr. b10-110, J. Schelbert, Zug, Rev. 10. Dezember 1979.
- Feld 4 Schalung und Armierung, Plan Nr. b10-119, J. Schelbert, Zug, 20. März 1980.
- Stützmauer Steinhof, Ersatz-Anker 2000, Plan Nr. 99.044.001-01B, Berchtold und Eicher, Zug, Rev. 5. Dezember 2000.

## Stützwand Staubweidli, Wädenswil

ZH-22

**Bauherr:** Zürcher Kantonalbank, Abt. Liegenschaften  
**Bauwerksart:** verankerte Elementwand  
**Bauwerksfunktion:** Sicherung Hanganschnitt  
**Baujahr:** 1981

### Beschreibung des Bauwerkes



**Bild 1:** Querprofil.

Die vertikale Elementwand ist rund 10 m hoch und 66 m lang und steht in einem 31° steilen Hang (**Bild 1**). Der Baugrund besteht aus Molassefels, der im Anschnittbereich verwittert und verrutscht ist. Die Wand weist sechs Elementreihen auf, die mit insgesamt 220 Anker mit freien Längen von 14 bis 21 m gestützt sind. Das Ankerzugglied besteht aus 6 glatten Stäben  $\varnothing 12$  mm unbekannter Qualität und Herkunft, die einzeln mit Klemmen in der Ankerbüchse verankert sind. Länge und Konstruktion der Verankerungslänge sind nicht bekannt. Die Anker sind angeblich mit 560 kN geprüft und auf 460 kN festgesetzt worden (Spannprotokolle liegen nicht vor). Auf der freien Länge ist das Stabbündel von einem Kunststoffschlauch umhüllt, der mit Fett verfüllt ist. Die Ankerköpfe sind mit einer fettverfüllten Alu-Halbkugel geschützt. Die Anker sind von der Firma Diasond geliefert und eingebaut worden.

Überwachungseinrichtungen: 2 Messquerschnitte mit je 6 elektrischen Kraftmessdosen Typ Huggenberger und je 2 Inclinometern.

### Zustandsbeschreibung und allfällige Schadensursachen

Gemäss Überwachungsplan sollten die Ankerkräfte zweimal jährlich und die Inclinometer alle drei Jahre gemessen werden. Die Messungen wurden bis 1983 durchgeführt. Dann erfolgten 6 Kraftmessungen zwischen September 1990 und Mai 1991. Sie ergaben im ersten Messquerschnitt bei drei Anker normale Kräfte zwischen 410 und 450 kN, ein Anker zeigte noch 20 kN (!), bei den zwei untersten Anker wurden Kräfte um 530 kN gemessen. Im anderen Messquerschnitt konnte ein Anker nicht gemessen werden, vier Anker lieferten Kräfte zwischen 450 und 510 kN, ein Anker 290 kN. Zwischen Januar und Mai 1991 wurde bei einem Anker ein Kraftabfall von 90 kN registriert. Eine weitere Messung erfolgte erst im März 1996. Sie ergab bei drei Anker Kraftabfälle von 50 bis 100 kN. Die nächste Messung von November 1997 ergab nochmals Kraftabfälle bei drei Anker von 85 bis 115 kN. Dies löste (endlich) eine Überprüfung der Ankerwand aus.

Bei einer Inspektion wurden 2 Ankerköpfe am Boden aufgefunden, ein weiterer hing lose an den Stäben. Die Stabbrüche waren im ersten Meter hinter der Verankerung eingetreten. Die Firma Huggenberger konnte nach einer Inspektion nicht sicher beurteilen, welche Kraftmessdosen noch richtig funktionieren, und empfahl, dies mit Abheben der Ankerköpfe zu überprüfen. Im August 1998 sind 8 Ankerköpfe durch die VSL mit speziellen Pressen abgehoben worden. Dabei sind die Kraftverluste bestätigt worden, vier Anker ergaben nochmals um 35 bis 90 kN kleinere Kräfte. Daraufhin wurde versucht vier Anker nachzuspannen: Der erste Anker konnte praktisch kraftlos ganz herausgezogen werden, er wies keine Korrosionsschäden auf. Der zweite Anker konnte von 245 auf 480 kN nachgespannt werden. Nach einem langsamen Kraftabfall auf 450 kN fiel die Kraft plötzlich auf Null und der Ankerkopf auf den Boden. 1 Stab ist bei der Verkeilung gebrochen, 1 Stab verblieb mit 150 mm Überstand gegenüber den übrigen Stäben. Der dritte Anker wurde mit einem um 90% zu kurzen Spannweg auf 480 kN nachgespannt. Der vierte Anker kam beim Nachspannen ins Gleiten.

Bei einem Inklinometer wurde eine Verschiebung von 10 mm gemessen. Die Nachrechnung der Stützwand mit einer geschätzten mittleren (noch) vorhandenen Ankerkraft ergab eine globale Tragsicherheit von 1.07.

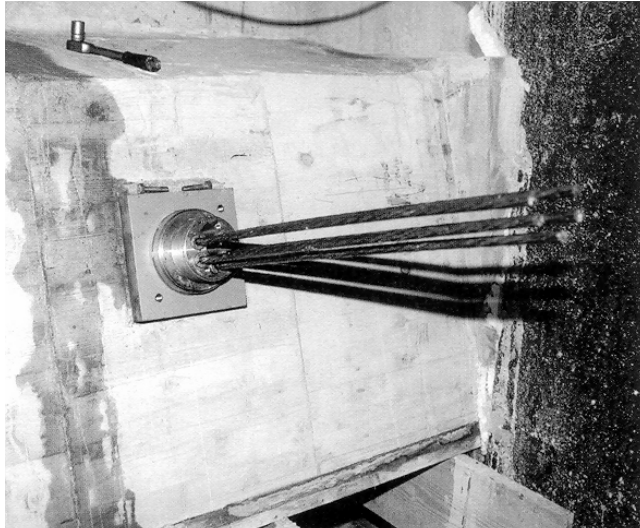
Aufgrund dieser Informationen liegt die Schadenursache in einer ungenügenden inneren Tragfähigkeit (Verbund der Glattstäbe im Verankerungskörper) kombiniert mit einem ungenügenden Korrosionsschutz im Bereich hinter dem Ankerkopf.

### Massnahmen

Im Jahr 1999 wurde die gesamte Verankerung durch 184 neue, umfassend korrosionsgeschützte Litzenanker mit einer Festsetzkraft von 450 kN ersetzt (**Bilder 2 und 3**). Die Anker sind auf zusätzlichen Betongangarinen eingebaut worden. Dabei ist bemerkenswert, dass der Hohlraum zwischen der Elementwand und dem Gebäude maximal 1.50 m breit ist!



**Bild 2:** Bohrarbeiten im Arbeitsraum von 1.50 m Breite.



**Bild 3:** Ersatzanker auf neuer Betonlongarine.

### **Folgerungen**

Trotz ausreichender Überwachungseinrichtungen und dem vorhandenen zweckmässigen Überwachungsplan wurde die Überwachung der Stützwand grundlegend vernachlässigt (wohl infolge von Handänderungen), bis es fast zum Kollaps der Stützwand mit schwer abschätzbaren Folgen für die Gebäude und ihre Bewohner gekommen ist.

Der Einsatz eines "exotischen" Ankersystems mit offensichtlich ungenügender Verankerung des Zuggliedes im Verankerungskörper zeigt die Wichtigkeit der mit E SIA V 191 (1995) eingeführten erstmaligen Prüfung von Ankersystemen und der von SIA 267 (2003) geforderten technischen Zulassung von Ankersystemen. Schäden hinter dem Ankerkopf lassen sich nur mit einem umfassenden Korrosionsschutz gemäss SIA 267 vermeiden.

### **Unterlagen**

- Bericht über die Kontrolle der Verankerung, Metry & Partner AG, Wollerau, 22. Mai 1998
- Bericht über das Abheben von 8 ausgewählten Ankern, Metry & Partner AG, 25. August 1998
- Nachspannung, Inklinometer, Elementwand, Metry & Partner AG, 22. Dezember 1998
- Kontrollplan, Metry & Partner AG, 14. März 2000
- Kurzdokumentation Sanierung Elementwand, Metry & Partner AG, 14. März 2000
- Bericht in "Schweizer Baublatt" vom 17. August 1999

## A12, Stützmauer d'Avry-devant-Pont

FR-04

<b>Bauherr:</b>	Service des Autoroutes du Canton de Fribourg
<b>Bauwerksart:</b>	aufgelöste, verankerte Pfahlwand
<b>Bauwerksfunktion:</b>	Hanganschnittsicherung
<b>Baujahr:</b>	1980 / 1981

### Beschreibung des Bauwerkes

Die rund 140 m lange, bis 5.8 m hohe Stützwand sichert den für die Zufahrt zur Raststätte Gruyère nötig gewordenen Hanganschnitt. Die Wand besteht aus 56 Pfählen Ø 700 mm mit einem konstanten Abstand von 2.5 m und einer Ausfachung aus 25 cm starkem Stahlbeton. Jeder Pfahl ist mit einem oder zwei VSL-Litzenankern vom Typ SIF-TMD 2" gestützt, die im Molassefels verankert sind. Die Anker weisen 6 Litzen à 99 mm<sup>2</sup> auf und sind mit 600 kN (obere Lage) resp. 550 kN festgesetzt worden (ca. 0.55 resp. 0.51 P<sub>pk</sub>). Auf der 6 m langen Verankerungslänge liegen die blanken Litzen im TMD-Manschettenrohr aus Stahl, das aussen und innen mit zementösem Füllgut ausinjiziert ist. Auf der 15 m langen freien Länge sind die mit gefetteten Einzelhüllrohren ausgestatteten Litzen (Monofettlitzen) von einem glatten PE-Sammelhüllrohr umgeben, das bei den normalen Ankern mit zementösem Füllgut verfüllt ist. Bei den drei Kontrollankern ist das PE-Sammelhüllrohr mit plastischem Füllgut verfüllt (Nontribos MP-2). Die Nischen der Ankerköpfe in den Pfählen (Bohrung Ø 200 mm) sind zubetoniert, auch bei den Kontrollankern mit Gewindekopf.



**Bild 1:** Blick auf die Pfahlwand und die darüber stehende bepflanzte Evergreen-Stützmauer.

Über der Pfahlwand, etwa 4 m zurückversetzt, steht eine bis 5 m hohe bepflanzte zweite Stützmauer vom Typ Evergreen. Die effektive statische Stützhöhe der Pfahlwand ist also bedeutend grösser als die sichtbare Wandhöhe.

Die zubetonierten Nischen der oberen Ankerlage sind an den Pfählen gut sichtbar, die untere Ankerlage hingegen liegt hinter dem vorbetonierten New Jersey-Profil am Wandfuss.

### Zustandsbeurteilung und allfällige Schadenursachen

Beim Bau der Stützmauer sind keine Überwachungseinrichtungen angeordnet worden. Erst im Jahr 1986 sind am Wandkopf 7 geodätische Messpunkte angebracht worden. Die vier Folgemessungen bis 1999 ergaben keine eindeutigen Verschiebungstendenzen. Im Jahr 1999 ist eine Hauptinspektion durchgeführt worden. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Inspektion sind (**Bilder 2 bis 6**):

- Ein beträchtlicher Teil der Pfähle ist in einem schlechten Zustand (Oberflächenschäden, Abplatzungen, horizontale oder vertikale Risse)
- Der Nischenbeton der oberen Ankerlage ist von schlechter Qualität (Ablösungen, Risse, Wasseraustritte)
- Die Köpfe der drei Kontrollanker wurden freigelegt. Bei 2 Köpfen waren Schutzhaube und Ankerplatte stark angerostet. Beim dritten war eine Litze gebrochen. Die zwei Ankerköpfe ohne Litzenbruch wurden abgehoben, der eine wies nur 361 kN auf, der andere dagegen 674 kN. Der dritte Anker wurde aus Sicherheitsgründen nicht abgehoben. Mit dem Endoskop wurden an allen Litzen hinter der Büchse Korrosionsangriffe beobachtet.



**Bild 2:** Nischenbeton mit Rissen und Aussinterungen.



**Bild 3:** Im schlechten Nischenbeton ist ein angerostetes Litzen-Ende sichtbar!



**Bild 4:** Teilweise freigelegter Ankerkopf mit angerosteten Litzen. Nischenbeton vermischt mit Steinen.



**Bild 5:** Sehr stark korrodierte Schutzhaube eines Kontrollankers.

- Die Köpfe von 6 normalen Anker wurden freigelegt. Sie hatten keine Schutzhaube. 4 Köpfe wiesen starke Korrosion auf. Der Bereich hinter der Ankerplatte war meist nicht vollständig verfüllt, an vielen Litzen konnten dort mit dem Endoskop Korrosionsangriffe beobachtet werden.
- An der EMPA wurde die gebrochene Litze, wie auch das plastische Füllgut (Korrosionsschutzfett) und eine Hangwasserprobe aus einem Ankerkopf untersucht. Das Wasser enthielt keine korrosionsfördernden Inhaltsstoffe, das Fett zeigte gute Korrosionsschutzeigenschaften. Die Litze war in 25 cm Tiefe gebrochen. Sie war mit Fett bedeckt. An den gereinigten Drähten war von der Bruchstelle bis zum Klemmenbiss ein starker muldenförmiger Materialabtrag in axial verlaufenden Zonen festzustellen. An 5 von 7 Litzendrähten sind bis 3 cm ausserhalb der Bruchzone radiale Risse beobachtet worden, die auf transkristalline Spannungsrisskorrosion infolge Versprödung durch Wasserstoff zurückgeführt wurden. Die Schlussfolgerung der EMPA war, dass unter Fett eingeschlossenes Wasser im Verlauf der Jahre zu wasserstoffinduzierter Spannungsrisskorrosion geführt hat.



**Bild 6:** Kontrollankerkopf mit gebrochener und entkeilter Litze. Die Keile lagen in der Schutzhaube.

Die Nachrechnung der Stützwand ergab, dass die obere Ankerlage aus heutiger Sicht eher etwas knapp bemessen ist und dass die untere Ankerlage im Betriebszustand gar nicht nötig ist (sie ist denn auch nicht überprüft worden). Diese mehrheitlich ungünstige Zustandsbeurteilung mündete in der Empfehlung, das bestehende Stützbauwerk bis spätestens im Jahr 2001 durch eine neue vorgesetzte Betonkonstruktion zu ersetzen, die mit neuen Anker gesichert wird. In der Zwischenzeit sollten monatlich geodätische Überwachungsmessungen durchgeführt werden.

### Massnahmen

Im Jahr 2001 ist eine neue Betonkonstruktion als Schwergewichtsmauer vor der Pfahlwand erstellt worden, wodurch auf eine neue Verankerung verzichtet werden konnte.

Um den Befund der EMPA an der gebrochenen Litze zu verifizieren, sind anschliessend an drei alten Anker alle sechs Litzen auf einer Länge von 150 cm entnommen und der EMPA zur Untersuchung übergeben worden. Von den insgesamt 126 Drähten zeigten 100 Korrosionsspuren, 32 dieser Drähte waren gebrochen! Der Kontrollanker mit zu kleiner Abhebekraft wies übrigens 23 gebrochene Drähte auf (= 54% von total 42 Drähten). Am Kontrollanker mit Kraftzunahme war kein Draht gebrochen. Die Drahtbrüche lagen alle zwischen 12 und 36 cm ab Beginn des gefetteten Einzelhüllrohres (19 bis 43 cm hinter dem Klemmenbiss). Der oben beschriebene Befund an der gebrochenen Litze wurde durch diese zusätzliche Untersuchung vollumfänglich bestätigt.

Die Forschungsstelle hegt die Vermutung, dass während der Bauzeit Regenwasser mit niedrigem pH-Wert wegen ungenügendem Schutz und/oder ungenügender Fettverfüllung von aussen längs der Litzendrähte eingedrungen und zu diesem beunruhigenden Schaden geführt hat.

### Folgerungen

Mindestens bis zur Einführung des "doppelten Korrosionsschutzes" (ca. 1985) weisen auch Litzenanker mit Monofettilitzen einen ungenügenden "inneren" Ankerkopfschutz auf. Der Schutz der Litzen gegen eindringendes Regenwasser im Bauzustand ist besonders zu beachten.

### Unterlagen

- Mur de soutènement d'Avry-devant-Pont, Rapport d'Inspection, P. Matt und H.P. Bänziger, Ittigen / Bern, März 2000.
- Mur de soutènement d'Avry-devant-Pont, Rapport de vérification, P. Matt, Ittigen, März 2000.
- EMPA Prüfberichte Nr. 406'870 vom 1. September 1999 und Nr. 423'110 vom 19. August 2002.

## A12, Stützmauern, Flamatt

FR-05

<b>Bauherr:</b>	Service des Autoroutes du Canton de Fribourg
<b>Bauwerksart:</b>	aufgelöste, verankerte Pfahlwände
<b>Bauwerksfunktion:</b>	Stützung des Hanganschnittes, Sicherung des SBB-Trassees Bern - Fribourg
<b>Baujahr:</b>	1970 / 1971

### Beschreibung des Bauwerkes

Das Bauwerk besteht aus den zwei Stützwänden Seite Freiburg und Seite Bern (**Bild 1**). Die Wand Seite Freiburg an der Einfahrtsrampe Richtung Bern besteht aus 107 Bohrpfählen  $\varnothing$  1000 mm mit Abständen von 1.5 bis 2.5 m. Die Wand ist 224 m lang und bis zu 6.0 m hoch. Die Wand Seite Bern steht direkt an der A12 und besteht aus 139 Bohrpfählen  $\varnothing$  1000 mm mit Abständen von 2.0 bis 3.0 m. Die Wand ist 344 m lang und bis zu 5.0 m hoch.



**Bild 1:** Blick auf die Pfahlwand Seite Bern mit oben liegender SBB-Linie Bern – Freiburg.

Bis auf kurze Randpfähle ist jeder Pfahl der beiden Stützwände mit einem VSL-Litzenanker verankert. Die Anker sind 16.5 bis 20.5 m lang, die Verankerungslänge beträgt 4 m und liegt im Molassefels (Mergel und Sandsteine). Die rund 240 Anker weisen 4 Litzen à 93 mm<sup>2</sup> auf und sind (theoretisch) auf maximal 400 kN gespannt worden, was 0.6 P<sub>pk</sub> entspricht.

Auf der Verankerungslänge liegen die Litzen blank im Verankerungskörper, auf der freien Länge liegen sie blank in einem PE-Sammelhüllrohr, das nach dem Spannen mit Zement ausinjiziert worden ist (Vollverbundanker). Die Nische im Pfahl ist zubetoniert. Bei vier so genannten Kontrollankern ist die freie Länge mit einem plastischen Füllgut ausinjiziert worden. Ihre Ankerköpfe haben jedoch kein Gewinde und sind ebenfalls einbetoniert.

### Zustandsbeschreibung und allfällige Schadenursachen

Im Jahr 1999 ist eine Hauptinspektion der Stützwände vorgenommen worden. Die wichtigsten Ergebnisse sind (**Bilder 2 bis 6**):

- Bohrpfähle und Betonausfachung sind generell in gutem Zustand.
- Örtlich sind Oberflächenschäden vorhanden.
- Die Drainage hinter dem Wandkopf ist bei der Wand Seite Freiburg schadhaft.

Die vier Anker mit noch wirksamer freier Ankerlänge sind mit speziellen Pressen abgehoben worden. Das Ergebnis war beunruhigend: Nur ein Anker ergab eine Kraft von rund 400 kN. Bei einem Anker war die Ankerbüchse lose, der dritte ergab lediglich eine Kraft von 160 kN, am anderen Tag nur noch 93 kN. Beim Abheben ist überdies bei einer Litze der Kerndraht weg gegliitten. Der vierte Anker ergab eine Kraft von lediglich 106 kN. Es wird vermutet, dass diese drei Anker eine ungenügende äussere Tragfähigkeit aufweisen. Aber auch Litzenbrüche durch Korrosion kommen als Ursache in Frage.



**Bild 2:** Feuchter und gerissener Nischenbeton.

Die übrigen Anker können nicht überprüft werden. Bei sieben freigelegten Ankerköpfen wurde festgestellt, dass nur bei einem Anker das zementöse Füllgut hinter der Ankerplatte vollständig war. Bei den übrigen sechs Ankern wurde mit dem Endoskop an den Litzen hinter dem Ankerkopf dreimal leichte und dreimal starke Korrosion beobachtet. Ein Anker wurde hinter der Wand von oben frei gegraben und geöffnet: er war dort in einwandfreiem Zustand.

Der Zustand der Anker ist sowohl bezüglich Tragfähigkeit, als auch bezüglich Korrosionssicherheit und Überwachbarkeit unbefriedigend. Überdies weist das Tragwerk praktisch keine Redundanz auf (keine durchgehende Betonlongarine). Die Nachrechnung der Stützwand ergab, dass die Anker aus heutiger Sicht eher etwas knapp bemessen sind.



**Bild 3:** Inspektion des Bereichs hinter dem Ankerkopf mit Endoskop.



**Bild 4:** Spezielle Presse zum Abheben des Ankerkopfes ohne Gewinde.



**Bild 5:** Freigelegter Kontrollankerkopf. Bei einer Litze fehlt der Zentraldraht!



**Bild 6:** Hinter der Wand frei gegrabener und geöffneter Anker. Litzen ohne Korrosion (oben Injektionsrohr).

Bei der Hauptinspektion 1999 wurden Proben des plastischen Füllguts (Korrosionsschutzmasse) aus der freien Länge eines Kontrollankers entnommen und an der EMPA auf ihre Schutzwirkung untersucht. Das Füllgut konnte an der EMPA nicht mehr identifiziert werden. Es wies im EMCOR-Test jedoch nur eine sehr schwache korrosionshemmende Wirkung auf. Zudem ging aus den Korrosionsprüfungen hervor, dass das Füllgut, das an den Litzen haftete, Stoffe enthielt, die die Korrosion am Stahl sogar fördern (EMPA Prüfbericht Nr. 406'939 vom 23.11.1999).

Im Rahmen der Erneuerung der Stützwände 2003 wurde zwecks Überprüfung der Schadensursache ein Kontrollanker bis zum Bruch gespannt, um den luftseitigen Teil ausbauen zu können. Bei ca. 25% der vorgesehenen Gebrauchslast (ca. 100 kN) kam es zum Bruch der 4 Litzen. Dieser und ein weiterer Spannkopf von einem Normalanker (Vollverbundanker) wurden an der EMPA zusammen mit den zugehörigen Litzen in korrosionsschemischer und metallographischer Hinsicht untersucht (EMPA Prüfbericht Nr. 433'364 vom 3.3.2005). Die Resultate können wie folgt zusammengefasst werden:

Die untersuchten Litzen des Kontrollankers zeigten neben einem ausgeprägten muldenförmigen Korrosionsangriff klare Merkmale der wasserstoffinduzierten Spannungsrissskorrosion (**Bilder 7 bis 9**). Die in den Korrosionsprodukten nachgewiesenen, unbedeutenden Mengen an korrosionsfördernden Stoffen liessen den Schluss zu, dass der Korrosionsangriff nur durch Feuchtigkeit oder Nässe verursacht wurde. Dabei hatte die sehr schwache Korrosionsschutzwirkung resp. die möglicherweise gar korrosionsfördernde Wirkung des für den Korrosionsschutz eingesetzten plastischen Füllguts einen Angriff erst ermöglicht. Wie stark die Alterung des plastischen Füllguts den zeitlichen Verlauf des Korrosionsangriffs beeinflusst hat, konnte nicht ermittelt werden.

Die untersuchten Litzen des Normalankers zeigten ebenfalls wasserstoffinduzierte Spannungsrissskorrosion und ausgeprägten muldenförmigen Korrosionsangriff (**Bilder 10 bis 12**), der auch in diesem Fall nur durch Feuchtigkeit und Nässe verursacht wurde. Der visuelle Befund am angelieferten Teil, wie auch die Identifikation der Ablagerungen wiesen deutlich auf einen mit Zementstein injizierten Anker hin. Das Bild der Ablagerungen an den Litzen und am Spannkopf liess den Schluss zu, dass die Litzen bzw. die Litzendrähle nie vollständig mit zementösem Füllgut umhüllt waren. Damit wurde auch hier von einem bereichsweise ungenügenden Korrosionsschutz ausgegangen.

Die vielen festgestellten Querrisse an den Drähten sind typisch für Spannungsrissskorrosion (**Bilder 13 und 14**). Der dafür benötigte Wasserstoff kann beim Ablauen eines Korrosionsprozesses entstehen. Die Anzahl und Verteilung der Brüche über sehr kurze Bereiche der Litzendrähle der beiden Anker wiesen klar auf einen bereichsweise ungenügenden Korrosionsschutz hin.

Ob der festgestellte unvollständige Korrosionsschutz bei den untersuchten Schadenfällen als ein einzelner einmaliger oder als systematischer Mangel zu beurteilen ist, konnte mit dieser Untersuchungen nicht schlüssig beantwortet werden. Die ungenügende Korrosionsschutzwirkung des plastischen Füllguts (Korrosionsschutzmasse) lässt eher einen systematischen Mangel vermuten. Auf Grund der Erfahrung bei anderen Bauwerken muss auch die unvollständige Verfüllung mit Zementstein als systembedingter Mangel betrachtet werden (siehe dazu **Kapitel 4.4**).



**Bild 7:** Spannkopf des Kontrollankers mit 4 fettbedeckten Litzenabschnitten im Anlieferungszustand.



**Bild 8:** Entfettete Litze des Kontrollankers; Bruchbereich; Litze mit braunen Korrosionsprodukten bedeckt.



**Bild 9:** Detail aus **Bild 8**, Bruchbereich.



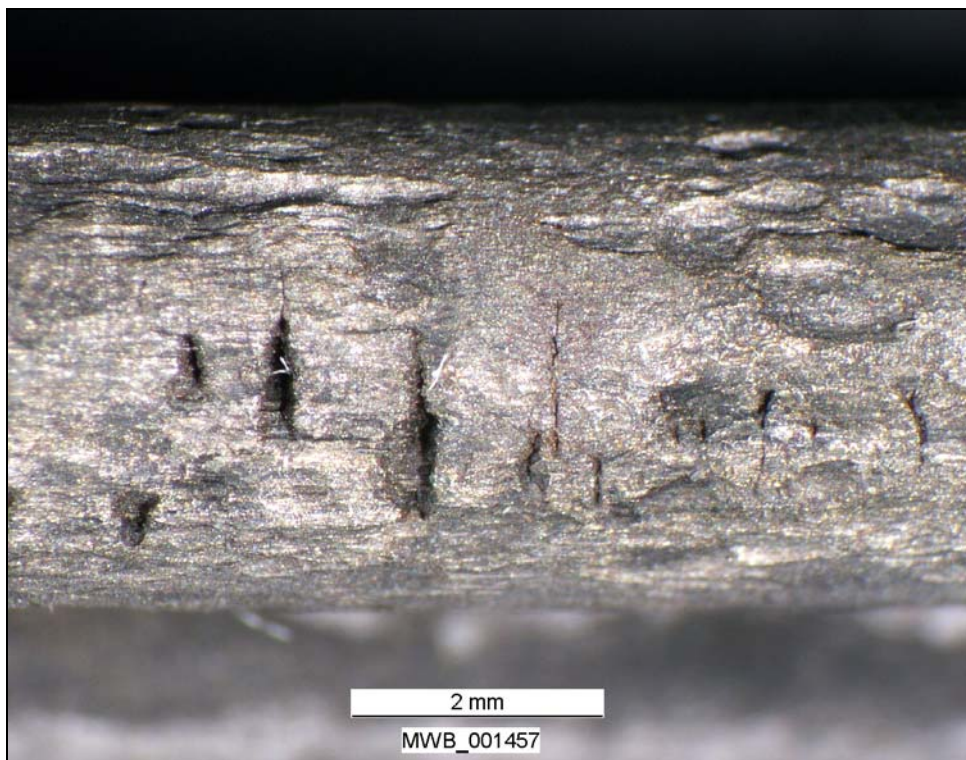
**Bild 10:** Spannkopf des Normalankers mit einer darin verbliebenen Litze im Anlieferungszustand.



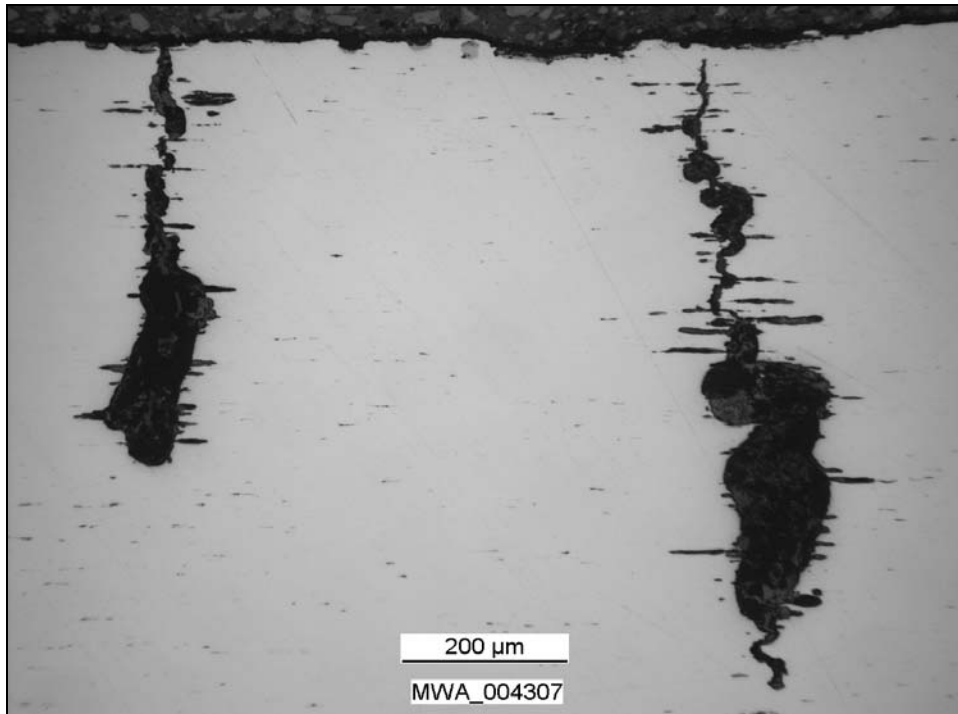
**Bild 11:** Litze des Normalankers; Spannkopf und Litze mit braunen, Litze streckenweise mit weiss-braunen Korrosionsprodukten bedeckt.



**Bild 12:** Detail aus **Bild 11**, Ausschnitt 2 – 7 cm mit 2 Drahtbrüchen.



**Bild 13:** Litzendrähte mit mehreren Querrissen (*oben: Kontrollanker, unten: Normalanker*). *Anmerkung: Die braunen Ablagerungen im oberen Bild sind eine Folge der chemischen Entfernung der Korrosionsprodukte (Nachkorrosion). Sie markieren zugleich tiefer gehende Risse im Draht.*



**Bild 14:** Metallographische Präparation und Aufnahme der Litze des Normalankers von **Bild 13**. *Anmerkung:* Die Risse sind auf Grund des starken Beizens beim Entfernen der Korrosionsprodukte grösser als in der ursprünglichen Form (Konturen).

### Massnahmen

Im Jahr 2003 wurden die zwei Stützwände mit neuen Bohrpfählen und neuen, umfassend korrosionsschutzten Litzenankern ersetzt.

### Folgerungen

Litzenanker, die nicht wenigstens mit dem so genannten "doppelten Korrosionsschutz" ausgebildet sind, weisen fast systematisch einen ungenügenden Ankerkopfschutz auf, besonders direkt hinter dem Ankerkopf. Dies gilt auch für geneigt fallende Vollverbundanker.

Bei der Zustandserfassung und Beurteilung von Ankern muss die mögliche ungenügende Dauerhaftigkeit und Korrosionsschutzwirkung von plastischem Füllgut (Korrosionsschutzmasse) bzw. die Möglichkeit von systematischen Mängeln beachtet werden.

### Unterlagen

- Murs de soutènement à Flamatt, Rapport d'Inspection, P. Matt und H.P. Bänziger, Ittigen / Bern, April 2000.
- Murs de soutènement à Flamatt, Rapport de vérification, P. Matt, Ittigen, April 2000.
- EMPA Prüfbericht Nr. 406'939 vom 22. November 1999, Prüfung der Korrosionsschutzmasse der "Kontrollanker".
- EMPA Prüfbericht Nr. 433'364 vom 3. März 2005, Untersuchungen in korrosionschemischer Hinsicht.

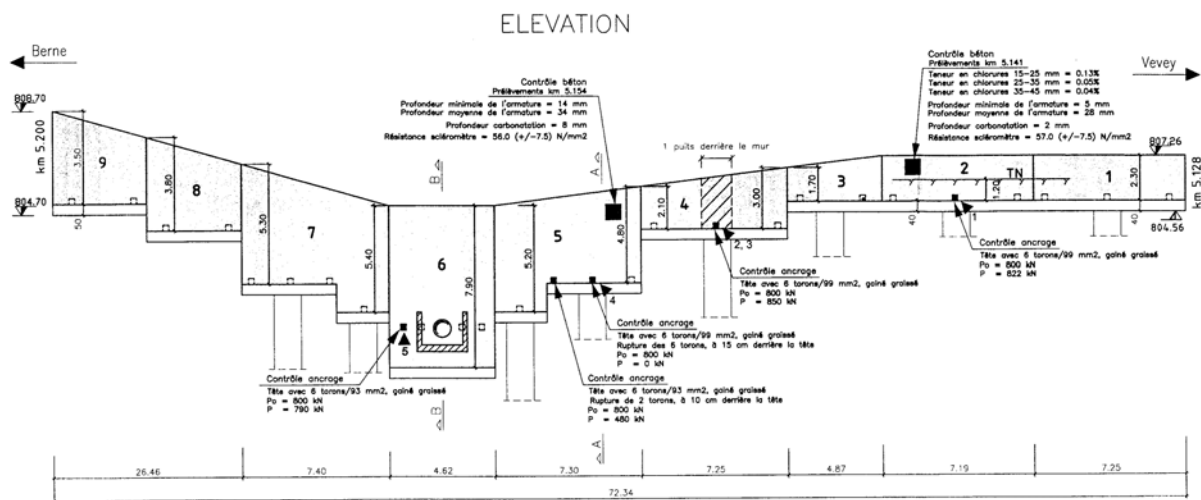
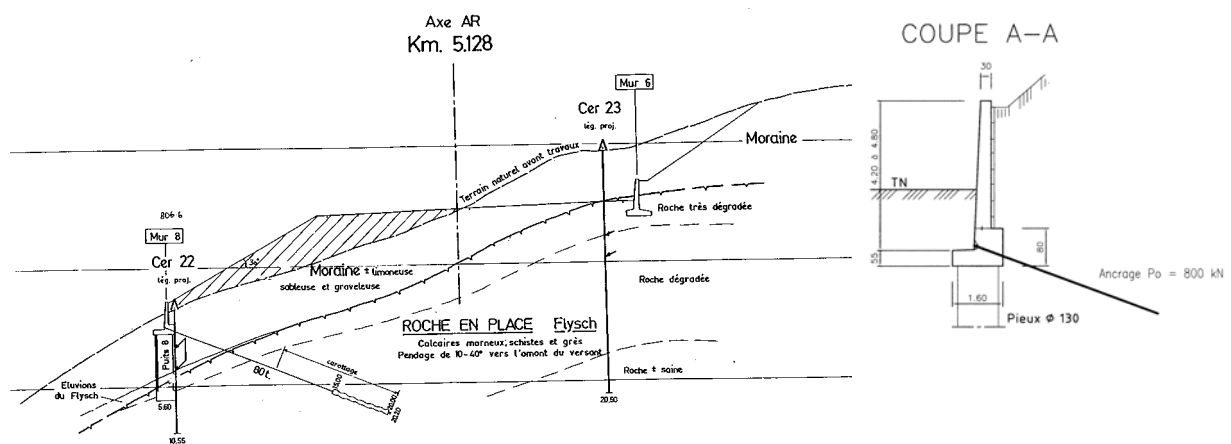
**A12, Vevey – Châtel St. Denis, Mur AR No. 8****VD-10**

**Bauherr:** Canton de Vaud, Département des Infrastructures  
**Bauwerksart:** verankerte Stützmauer  
**Bauwerksfunktion:** Sicherung einer Aufschüttung für das Trassee der A12  
**Baujahr:** 1979

**Beschreibung des Bauwerkes**

Es handelt sich um eine in Längsrichtung abgetreppte rund 3 bis 8 m hohe Betonstützmauer von 72 m Länge (**Bilder 1 und 2**). Das lediglich 1.6 m breite Fundament steht auf insgesamt 8 Pfählen  $\varnothing$  1300 mm unbekannter Ausführungsart und Konstruktion. Im Zentrum der Stützmauer liegt ein Bachdurchlass. Die Stützmauer ist im Fussbereich mit total 27 VSL-Litzenankern gestützt, die im Fels (Flysch) verankert sind. Die Stützmauer liegt rund 12 m talseitig des Banketts der A12 und sichert den Fuss einer Aufschüttung, die zur Überquerung eines kleinen Bachtobels erforderlich war.

Die Anker weisen sechs Monofettlitzten mit teilweise 93 und teilweise 99 mm<sup>2</sup> auf, die auf der freien Länge in einem mit zementösem Füllgut ausinjizierten Sammelhüllrohr aus PVC liegen. Über die Konstruktion der Verankerungslänge ist nichts bekannt (vermutlich blanke Litzten im Zementstein). Die Ankerköpfe sind einbetoniert und weisen kein Gewinde und keine Schutzhaube auf.

**Bild 1:** Ansicht der Stützmauer.**Bild 2:** Querprofil mit Geologie und Detailschnitt der Stützmauer.

### Zustandsbeurteilung und allfällige Schadenursache

Im Jahr 2002 sind 5 Ankerköpfe freigelegt worden, überdies ist ein Anker von oben hinter der Mauer frei gegraben und geöffnet worden (**Bilder 3 und 4**). Bei einem Anker waren alle 6 Litzen gebrochen, bei einem anderen deren 2. Alle Bruchstellen lagen 10 bis 20 cm hinter der Ankerbüchse. Bei 4 Ankern wurden mit einer speziellen Presse die Abhebekräfte ermittelt. Die drei Anker ohne Litzenbrüche ergaben im Vergleich zur Festsetzkraft von 800 kN hohe Kräfte zwischen 790 und 850 kN, der Anker mit 2 gebrochenen Litzen 480 kN. Dabei ist zu beachten, dass die nominelle Festsetzkraft von 800 kN je nach Litzenquerschnitt 0.74 bzw. 0.79  $f_{pk}$  entspricht! Der hinter der Mauer freigelegte Anker war dort in gutem Zustand.

Im Jahr 2004 ist mit drei Kernbohrungen der Zustand der Bewehrung auf der Hinterseite der Mauer untersucht worden. Alle frei gelegten Bewehrungsstäbe wiesen Korrosionsnarben mit einer Tiefe bis zu 50% des Querschnittes auf. Als Ursache wird tausalzhaltiges Sickerwasser und eine ungenügende Betondeckung angenommen.

Die Nachrechnung ergab, dass ein Kollaps der Mauer bei den vorliegenden geometrischen Gegebenheiten (Lage der Mauer, Bachtobel) das Trassee der A12 nicht sofort mitreisst.



**Bild 3:** Hinter der Mauer frei gegrabener und geöffneter Anker. Keine sichtbaren Korrosionsschäden.



**Bild 4:** Frei gelegter Ankerkopf. Alle 6 Litzen gebrochen!

Gebrochene Litzen wurden zunächst im Laboratoire de métallurgie mécanique (LMM) der EPFL untersucht (visuell und Zugversuche; Bericht LMM 2274/02-3 vom 4.9.2002). Im Jahr 2004 wurde die EMPA mit der korrosionschemischen und metallographischen Beurteilung von Litzen eines Ankers der Mauer Nr. 8 (**Bilder 5 und 6**) sowie von weiteren Stützmauern entlang der N12 beauftragt. Die Untersuchungen der EMPA an den Litzen zeigten neben einem ausgeprägten muldenförmigen Korrosionsangriff klare Merkmale der wasserstoffinduzierten Spannungsrissskorrosion (ähnlich wie bei **FR-05**). Die in den Korrosionsprodukten nachgewiesenen, unbedeutenden Mengen an korrosionsfördernden Stoffen liessen den Schluss zu, dass der Korrosionsangriff nur durch Feuchtigkeit oder Nässe verursacht wurde. Aus der Anzahl und Verteilung der Brüche über sehr kurze Bereiche der Litzen (Bruchzone) wurde geschlossen, dass der Korrosionsschutz bereichsweise ungenügend war und dass das eingesetzte plastische Füllgut (Fett, Korrosionsschutzmasse) unvollständig appliziert wurde oder eine ungenügende Langzeitstabilität aufwies (EMPA Prüfbericht Nr. 433'363).

Parallel dazu wurden auch Litzen aus dem Vollverbundanker Nr. 21 der Stützmauer Nr. 46 der N9 untersucht. Diese zeigten die gleichen Erscheinungen wie jene von **FR-05**. Dieser sowie der Anker Nr. 52 wurden im Juni 2003 hinter der Stützmauer freigelegt. Das Kunststoffhüllrohr des Ankers Nr. 21 war im freigelegten Abschnitt deformiert. Ob es so beschädigt war, dass Wasser eindringen konnte, wurde nicht verifiziert. Das Hüllrohr wurde aufgeschnitten. Es war nur teilweise mit Zementstein gefüllt (**Bild 7**). Im Gegensatz dazu war die Injektion beim Anker Nr. 52 in Ordnung (**Bild 8**).



**Bild 5:** Spannkopf mit Litzenabschnitten eines Ankers von der Mauer Nr. 8 (Seite Bern) im Anlieferungszustand.



**Bild 6:** Detail aus Bild 5, Bruchzone, entfettete Litzen.



**Bild 7:** Sicht auf den freigelegten Anker Nr. 21 der Mauer Nr. 46.



**Bild 8:** Sicht auf den freigelegten Anker Nr. 52 der Mauer Nr. 46.

Bei der Überprüfung der Ankerkraft mittels Abheben des Spannkopfs wurde beim Felsanker Nr. 33 der 1979 erbauten Stützmauer Nr. 7 im Februar 2004 beobachtet, dass nach dem anschliessenden Absetzen des Spannkopfs auf die Ankerplatte eine Litze nicht in die Ausgangsstellung zurückging. Die Litze mit einer Länge von 18.80 m bis zur Bruchstelle konnte herausgezogen werden und wurde ebenfalls an der EMPA untersucht (EMPA Prüfbericht Nr. 433'363/1). Zum Anker lagen die folgenden Angaben vor: Ankertyp VSL-TMD, 6 Litzen à 99 mm<sup>2</sup>, in der freien Länge als Monolitzen, d.h. jede Litze ist PE-umhüllt und gefettet. Die freie Länge beträgt 27 m. Die Untersuchung ergab auch in diesem Fall klare Anzeichen dafür, dass wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion zum Versagen der Litze geführt hat. Die im Bereich einer Korrosionsnarbe auf der Drahtoberfläche vorgefundenen mikroskopisch kleinen Natriumchlorid-Kristalle sowie der vereinzelt festgestellte Lochfrass liessen den Schluss zu, dass die Korrosionsangriffe an den Drähten entweder durch Natriumchlorid ausgelöst oder jedenfalls mit Sicherheit durch dieses gefördert wurde. Die Herkunft des Natriumchlorids konnte nicht eruiert werden. Es wurde angenommen, dass dieses vor dem Aufbringen des Fettes, d.h. während des Herstellungsprozesses bzw. der Konfektionierung, an die Litzendrähte gelangen konnte. Die Korrosionsschutzwirkung des an der Litze haftenden Fettes wurde als schwach eingestuft.

Ob der festgestellte unvollständige Korrosionsschutz bei den untersuchten Schadenfällen als ein einzelner einmaliger oder als systematischer Mangel zu beurteilen ist, konnte auf Grund der Untersuchungen nicht schlüssig beantwortet werden. Die unvollständige Verfüllung mit Zementstein weist eher auf einen Individualfehler hin. Die ungenügende Korrosionsschutzwirkung des plastischen Füllguts (Korrosionsschutzmasse) hingegen lässt eher einen systematischen Mangel vermuten.

### Massnahmen

Das hohe Spannungsniveau der Anker, die Korrosionsschäden und die registrierten Kraftzunahmen führen zur Empfehlung, die ganze Verankerung möglichst bald zu ersetzen und die Betonkonstruktion zu verstärken. Weil das Trassee der A12 bei einem Kollaps der Stützmauer aufgrund der Nachrechnung nicht sofort akut gefährdet ist, wird der Ersatz bzw. die Verstärkung der Verankerung für das Jahr 2005 geplant. Für die Überwachung wurden 3 Inklinometer, 3 Extensometer und 2 Piezometer installiert, um die Entwicklung der Verschiebungen zu verfolgen.

### Folgerungen

Das Beispiel bestätigt die Aussage, dass Litzenanker vor der Einführung des doppelten Korrosionsschutzes (ca. 1983) hinter dem Ankerkopf generell gefährdet sind. Überdies zeigt sich hier klar, dass die Limitierung der Festsetzkraft auf  $0.6 P_{pk}$  (SIA V 191 (1995) und SIA 267 (2003)) bei Ankern gerechtfertigt ist.

Bei der Zustandserfassung und Beurteilung von Ankern muss die mögliche ungenügende Dauerhaftigkeit und Korrosionsschutzwirkung von plastischem Füllgut (Korrosionsschutzmasse) bzw. die Möglichkeit von systematischen Mängeln beachtet werden. Geschädigte Spannstähle sollten konsequent von Spezialisten (z.B. EMPA Dübendorf) untersucht werden.

### Unterlagen

- EMPA Prüfbericht Nr. 433'363 vom 3. März 2005, Untersuchungen in korrosionschemischer Hinsicht (physikalisch-chemische Untersuchungen, Fotodokumentation).
- EMPA Prüfbericht Nr. 433'363/1 vom 3. März 2005, Untersuchungen in korrosionschemischer Hinsicht (Korrosionsprüfung des Fettes, Fotodokumentation).