

SIA 269/7 Erhaltung von Verankerungen am Beispiel Riedsort

Anita Lutz, Zürich

1 Einleitung

Am Beispiel des verankerten Stützkörpers Riedsort an der Kantonsstrasse K2b Weggis LU wird gezeigt, wie die Erhaltung eines verankerten Bauwerks umgesetzt werden kann. Zuerst werden Bauwerk, Überprüfung und Instandsetzung vorgestellt. Dann wird im Abschnitt 3 Bezug zu den neuen Normen genommen.

Im Abschnitt 4 sind ausgewählte allgemeine Hinweise zur Erhaltung von Verankerungen enthalten.

Der Beitrag hat zum Ziel, den Inhalt und die Bedeutung ausgewählter Ziffern und Aussagen der Normenreihe SIA 269 fassbar darzustellen, aber auch Hilfestellung bei der Beurteilung von Verankerungen zu geben.

Die Beurteilung von Verankerungen erfordert Spezialwissen über Ankersysteme, deren Stärken und Schwachstellen. Die Literaturhinweise am Ende des Beitrags enthalten hilfreiche Untersuchungsberichte. Im Besonderen sei auf die ASTRA (und SBB) Richtlinie Boden- und Felsanker [1] hingewiesen, welche von der SBB [1a] übernommen wurde und viele Hinweise und Anweisungen zur Erhaltung gibt.

Bild 1 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Anker Nr. 52, wie er nach dem Entfernen des Betons angetroffen wurde.

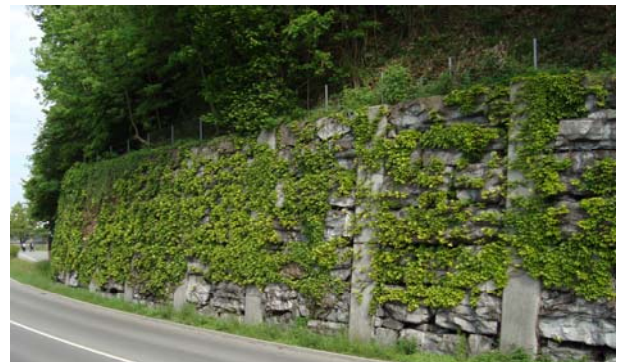
2 Erhaltung des Stützkörpers Riedsort

2.1 Auftrag und Bauwerk

Im Rahmen der Erhaltung des Kantonsstrassennetzes bzw. der verankerten Stützbauwerke entlang des Netzes hat uns das vif Luzern mit der Überprüfung des verankerten Stützkörpers Riedsort beauftragt.

Der verankerte Stützkörper Riedsort aus dem Jahr 1978 ist ein 120 m langes Stützbauwerk, welches den Geländeanschnitt bergseitig der Strasse stützt. Er besteht unten aus 11 vertikalen Stützriegeln mit einer Neigung von 10:1 und oben aus 6 Horizontalriegeln. Die Vertikalriegel sind mit 44 Stabankern Typ Dywidag \varnothing 32 mm, Stahl 110/125, und einer Festsetzkraft von 589 kN verankert. Die Horizontalriegel sind mit 40 Stabankern Typ Dywidag \varnothing 15 mm, Stahl 85/105 und einer Festsetzkraft von 119 kN verankert.

Bild 2 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



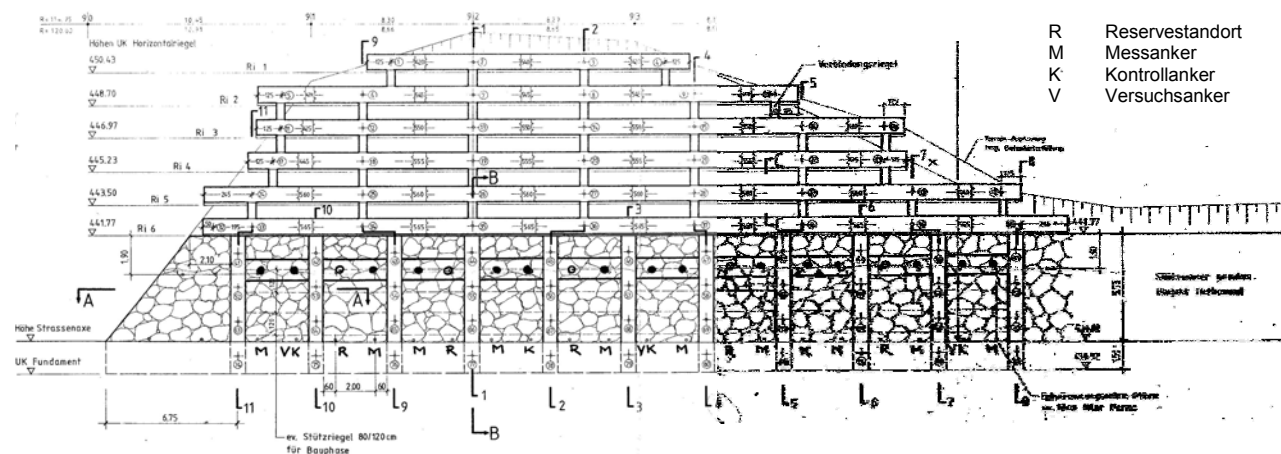
Stützbauwerk bei der visuellen Inspektion im Rahmen der generellen Überprüfung im Jahr 2009.

2.2 Überprüfung

2.2.1 Generelle Überprüfung

Die generelle Überprüfung umfasste die Begehung, die visuelle Inspektion des Bauwerks und das Studium der vorhandenen Bauwerksakten.

Bild 3 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsord



Ansicht des Stützbauwerks (Bauwerksakten) mit skizzierten Verstärkungsmassnahmen Stand Massnahmenempfehlung.

Die Bauwerksakten wurden als genügend vollständig beurteilt. Die Plausibilitätsbetrachtung und -rechnung ergab, dass Anker erforderlich sind. Das Bauwerk hat sich bis zu diesem Zeitpunkt gut und unauffällig verhalten. Es wurden weder vom Unterhaltsdienst noch von uns Verschiebungen, Risse, Wasseraustritte oder auffällige Beobachtungen im Gelände festgestellt. Der Zustand der Stabanker ist jedoch nicht genügend zuverlässig beurteilbar, die Anker der Stahlqualität 110/125 sind bezüglich Spannungsrissskorrosion als erhöht gefährdet zu betrachten. Die allgemeine Erfahrung hat gezeigt, dass vergleichbare Verankerungen aus den 80-er Jahren sowohl vollständig intakt wie auch stark schadhaft sein können.

Eine detaillierte Untersuchung mit Inspektion von Ankerköpfen, Bestimmung von Abhebekräften und Spannproben wurde empfohlen. Die Bauherrschaft hat die detaillierte Überprüfung daraufhin veranlasst.

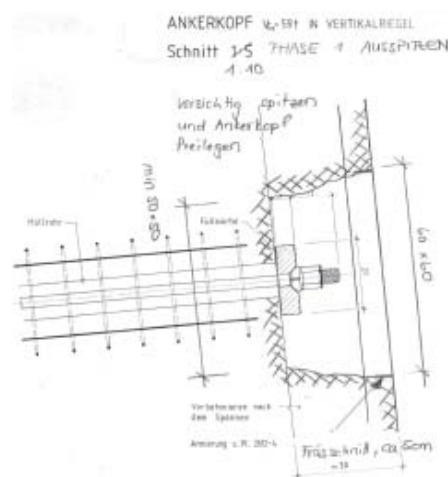
Bild 4 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsord



Detaillierte Überprüfung. In ausgewählten Querschnitten werden Anker der vertikalen und horizontalen Riegel untersucht.

2.2.2 Detaillierte Überprüfung

Bild 5 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsord



Ausschreibung detaillierte Überprüfung: Ankerkopf

Die detaillierte Überprüfung umfasste die Inspektion und das Abheben von 21 Ankerköpfen sowie Spannproben an 20 Ankern. Die Anker der Vertikalriegel sind ursprünglich bei 60 t festgesetzt worden, was einem Vorspanngrad von $0.59 P_{pk}$ entspricht. Die gemessenen Abhebekräfte betragen 0.19 bis $0.59 P_{pk}$. Die Anker der Horizontalriegel sind ursprünglich bei 12.1 t festgesetzt worden, was einem Vorspanngrad von $0.65 P_{pk}$ entspricht. Die gemessenen Abhebekräfte betragen 0.42 bis $0.74 P_{pk}$. Der Anker Nr. 44 ist während der Prüfung gebrochen. Der Stab wurde mit einer Muffe wieder verlängert und der Anker neu festgesetzt. Der Anker Nr. 61 wurde während der Prüfung ausgerissen (äusserer Tragwiderstand). Der Anker Nr. 51 wurde nicht einer Spannprobe unterzogen, da er zu Beginn der Prüfung „knackte“. Der gebrochene Stahl des Ankers Nr. 44 wurde untersucht (zusätzliche detaillierte Überprüfung). Der

Bruch erfolgte ausgehend von einer Lochfrassstelle durch wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion.

Die überschlägige Nachrechnung ergibt, dass Anker für die Gesamtstabilität erforderlich sind. Im Bruchzustand (GZ Typ 3) müssen Ankerkräfte von 500 bis 600 kN/m' wirksam sein.

Die Zustandsbeurteilung ergab, dass die Hauptverankerung (Anker der vertikalen Riegel) zwei wesentliche Mängel aufweist:

- Der innere Tragwiderstand einer unbekanntem Zahl von Ankern ist kleiner als deren nominelle Bruchkraft P_{pk} (Wasserstoffversprödung und Lochfrass).
- Es ist davon auszugehen, dass auch die äussere Tragfähigkeit der Anker in einigen Fällen nicht die nominellen Werte erreicht.

Der Zustand der Anker der horizontalen Riegel wird als genügend beurteilt.

Bild 6 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Prüfung der Anker im Strassenbereich.

Wegen der Mängel an den Ankern der Vertikalriegel wird der Zustand der Verankerung als mangelhaft bis schlecht beurteilt.

2.2.3 Massnahmenempfehlung

Es wird empfohlen, das Bauwerk mit zusätzlichen Ankern zu verstärken. Denn ein sprödes Versagen von Bauwerkteilen ist nicht auszuschliessen und kann auch durch Überwachung nicht rechtzeitig erkannt werden.

Das Verstärkungskonzept sieht den Ersatz von 30% der vorhandenen Ankerkraft vor. Zwischen die 11 Vertikalriegel werden 10 Querriegel mit je 2 Ankerstandorten betoniert. Pro Feld werden abwechslungsweise 2 bzw. 1 Anker eingebaut. 10 Anker werden als Messanker ausgebildet, 5 Anker als Kontrollanker. Die umfassend korrosionsgeschützten Litzenanker werden total 21 m lang und auf 558 kN festgesetzt. Die Überwachung des Bauwerks erfolgt in Zukunft mit den Messankern und mit 3 neu einzubauenden Inklinometern. Geodätische Mess-

punkte werden ebenfalls eingerichtet. Der Ankerunterhalt erfolgt im Rahmen der Überwachung alle 10 Jahre.

Die Kosten für die Verstärkung werden auf CHF 414'000 geschätzt.

2.3 Massnahmenplanung

Die Ausführungsprojektierung erfolgte Anfang 2010. Die in der Massnahmenempfehlung geplanten baulichen Massnahmen sind detailliert projektiert und im wesentlichen wie vorgesehen umgesetzt worden. Zusätzlich sind Bohrungen zur Sicherstellung der Entwässerung der Stützkonstruktion eingeplant worden.

2.4 Instandsetzung

Die Instandsetzung erfolgte 2010. Die Erwartung, die grossen Mauersteine könnten zerstörungsfrei ausgebaut werden, hat sich nicht erfüllt, sie waren voll einbetoniert. Das Projekt ist angepasst und der Ankerriegel in höherer Lage eingebaut worden.

Erstaunlicherweise zeigte sich der Baugrund im Verankerungsbereich wenig durchlässig, sodass auf Konsolidationsinjektionen verzichtet werden konnte. Aus den Bauwerksunterlagen ging nämlich hervor, dass beim Bau in der östlichen Hälfte grosse Probleme mit Injektionsverlusten bestanden.

Mit Spül- und Wassereinleitversuchen konnte gezeigt werden, dass die bestehende Drainage auch nach der Erstellung der neuen Anker intakt war, sodass auf die Entwässerungsbohrungen verzichtet werden konnte.

2.5 Überwachung und Instandhaltung

Als Überwachungseinrichtungen sind die geplanten 10 Ankerkraftmessdosen und Messkabel für die Messung des Korrosionsschutzes eingebaut und alle neuen Anker als Kontrollanker ausgebildet worden. Aus Platzgründen sind 2 statt 3 Inklinometer ausgeführt worden.

Die Ankerkraftmessungen an den Kraftmessdosen und Korrosionsschutzmessungen sind jährlich durchzuführen. Eine visuelle Begehung der Mauer ist 5-jährlich vorgesehen. Inklinometermessungen sind zuerst 5-jährlich später in grösseren Abständen vorgesehen.

Bezüglich Instandhaltung ist die Spülung der Drainagen alle 5 Jahre vorgesehen. Der Unterhalt an den Ankerköpfen der neuen Anker und Messeinrichtungen erfolgt nach Bedarf aber zum ersten Mal eingeplant nach 20 Jahren. Die bestehenden Ankerköpfe sollen erst bei Veranlassung im Rahmen einer nächsten Überprüfung wieder näher angeschaut werden.

3 Riedsort im Kontext der Normen SIA 269

3.1 Gegenstand der Untersuchung

Bei der Überprüfung des verankerten Stützkörpers Riedsort waren die klassischen Merkmale einer Verankerung zum aktuellen Zeitpunkt und während der Restnutzungsdauer zu beurteilen:

- Äusserer Tragwiderstand des Stützbauwerkes mit gleichzeitiger Abklärung, ob und in welcher Höhe und Verteilung Ankerkräfte erforderlich sind.
- Äusserer Tragwiderstand der einzelnen Anker und der Summe der Anker pro Bereich
- Innerer Tragwiderstand der einzelnen Anker und der Summe der Anker pro Bereich

3.2 Beobachtungsmethode

SIA 269 Ziffer 6.3.1.5, SIA 269/7 Ziffer 2.2.4, 2.2.5, 6.1.3

In Riedsort wurde bei der Überprüfung festgestellt, dass einzelne der überprüften Anker schadhaft waren. Der Gesamtschaden sowie die weitere Schadenentwicklung sind aufgrund Erfahrung abgeschätzt worden. Aufgrund dieser Beurteilung sind die Erhaltungsmassnahmen festgelegt worden. Die Abschätzung erscheint jedoch nicht ausreichend zuverlässig. Deshalb erfolgt die Instandsetzungsprojektierung nach den Regeln der Beobachtungsmethode nach Norm SIA 267.

Die Voraussetzungen für die Anwendung der Beobachtungsmethode sind gegeben:

- Die Annahme eines Ausfalls von 30% der Anker während der Restnutzungsdauer genügt mit akzeptabler Wahrscheinlichkeit.
- Zur Überwachung der bestehenden und neuen Anker ist das Bauwerk mit Überwachungseinrichtungen ergänzt worden, es wird überwacht und Lenkungsgrößen sind im Überwachungsplan festgehalten.
- Grössere Ankerausfälle als geplant sind durch Ankerkraftzunahmen bei den Messankern erkennbar, es besteht genügend Zeit zum Reagieren.
- Als Vorinvestition für eine spätere Verstärkung sind 5 Ankerreservestandorte angeordnet worden.

3.3 Akzeptierte Risiken

SIA 267 Ziffer 2.2.5

In Riedsort sind mit der Bauherrschaft folgende akzeptierte Risiken vereinbart:

- Bauwerkverhalten und Schadenentwicklung der Verankerung ungünstiger als prognostiziert. Spätere zusätzliche Verstärkung des Bauwerkes erforderlich.

Die akzeptierten Risiken sind in der Nutzungsvereinbarung festgehalten.

3.4 Bisheriges Verhalten

SIA 269 Ziffer 6.2.1.1, 6.3.3.1, SIA 269/7 2.1.3, 6.1.7

Der verankerte Stützkörper Riedsort ist vor der Überprüfung periodisch visuell inspiziert worden. Aufgrund der Inspektionsprotokolle und der Beobachtungen der Betreiber sowie der eigenen Inspektionen sind wir zum Schluss gekommen, dass das Bauwerk bis anhin unauffällig war, sich sehr gut verhalten hat und mit grosser Wahrscheinlichkeit (mindestens nach dem Festsetzen der Anker) keine Verschiebungen erlitten hat. Überwachungsmessungen sind keine vorgelegen.

3.5 Untersuchungsmethoden

SIA 269/7 Ziffer 5.2.1, 5.2.2

In Riedsort sind folgende Untersuchungsmethoden gewählt worden:

- Visuelle Inspektion der Umgebung, des Bauwerkes und des Betons
- Visuelle Inspektion der Ankerköpfe
- Entspannen und Ausbau von Ankerplatten zur visuellen Inspektion des Bereiches hinter der Ankerplatte
- Kraftmessung von Ankern mittels Abheben
- Bestimmung des äusseren Tragwiderstandes von Ankern mittels spezieller Spannprobe
- Laboruntersuchung des gebrochenen Ankerstahls
- Spül- und Wassereinleitversuch bei Dränagerohren

Bild 7 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Der Anker Nr. 41 war nicht an der erwarteten Stelle. Mit der ersten Betonkernbohrung ist die Ankerplatte verletzt worden. Geringe Korrosionsspuren sind bei der Ankerplatte und am Stab des Ankers Nr. 41 feststellbar.

3.6 Rückrechnungen und deterministische Nachweise

SIA 269/7 Ziffer 2.1.3, 3.1.2, 3.2.2, 4.1.1, 4.1.2, 4.1.11,

Für den Stützkörper Riedsort haben wir ausschliesslich Stabilitätsrechnungen (GZ Typ 3) durchgeführt. Aufgrund der gemessenen Ankerkräfte schätzten wir die vorhandenen Ankerkräfte im Schnitt 4 auf 555 kN pro m² Wand. Eine Rückrechnung ergab unter der Annahme, dass kein Hangwasser vorhanden ist, dass die Scherfestigkeit im Hang $\varphi_k \geq 40 - 45^\circ$, $c_k = 0$ kN/m² betragen muss und für kleinräumige Bruchkörper zusätzlich eine Verzahnung der Blöcke wirksam ist. Das Resultat erscheint im vorliegenden Bergsturzmaterial und Gehängeschutt als plausibel, kleine Reserven werden sogar noch vermutet.

Das Bauwerk zeigt keine Anzeichen von Verschiebungen, Verkipnungen, Setzungen und Rissen. Das Bauwerk ist rückgerechnet worden und die Beurteilung der rückgerechneten Werte fällt günstig aus. Die Ankerausfälle, die während der Überprüfung erfolgt sind, und jene, die während der Restnutzungsdauer von ca. 50 Jahren vorsichtig prognostiziert werden, sollen mit neuen Ankern ersetzt werden. Die Bemessung erfolgt nach den Kriterien der Beobachtungsmethode. Unter Berücksichtigung aller dieser Randbedingungen haben wir festgelegt, dass die vorhandene Ankerkraft am Ende der Restnutzungsdauer gleich hoch sein soll, wie zum Zeitpunkt der Überprüfung.

Dies bedeutet, dass die Baugrundwerte aufgrund einer Rückrechnung aktualisiert worden sind und dass implizit folgende Wahl von aktualisierten Werten getroffen worden ist:

$$\varphi_{d,act} = \varphi_{k,rück}, \gamma_{tg\varphi} = 1.0, \gamma_R = 1.0.$$

An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Ansatz von $\gamma_R = 1.0$ als Spezialfall zu betrachten ist und im Allgemeinen zu wenig vorsichtig ist.

3.7 Quantitative und empirische Analyse und Prognose der Zustandsentwicklung

SIA 269 Ziffer 3.2.1, 3.3.1, 6.3.1.4, 6.3.1.6, 6.3.2, 6.3.3

Trotz der durchgeführten Nachweise ist die genügende Tragsicherheit für den Stützkörper Riedsort nach Norm SIA 269 Ziffer 6.3.3.2 empirisch (nicht quantitativ) analysiert worden. Die genügende Tragsicherheit wird (nur) vermutet. Denn es ist mit dem Nachweis weder aufgezeigt worden, dass die Sicherheit über 1.0 liegt, noch wie hoch der Erfüllungsgrad n wäre.

Bei der empirischen Analyse verlangt die Norm SIA 269 ergänzende Sicherheitsmassnahmen. Im vorliegenden Fall erscheint die auch aus anderen Gründen geplante

Überwachung des Tragverhaltens des Bauwerks während der Nutzungsdauer zweckmässig und ausreichend.

Die Zustandsentwicklung des Bauwerks ist massgeblich abhängig von der Entwicklung der Schäden bzw. Ankerausfälle aufgrund wasserstoffinduzierter Spannungsrisskorrosion. Die Schadenentwicklung ist aufgrund (allerdings beschränkter) Erfahrung qualitativ abgeschätzt werden.

3.8 Verhältnismässigkeit

SIA 269 Ziffer 3.4.1, 3.4.2

Die Kosten für die empfohlene Instandsetzungsmassnahme beim Stützkörper Riedsort sind auf 414'000 Fr. geschätzt worden. Angesichts der Bedeutung der Kantonsstrasse K2b bzw. deren uneingeschränkter Nutzung ist die Massnahme empirisch als verhältnismässig beurteilt worden.

3.9 Gestaltung und Einpassung

SIA 269 Ziffer 7.1.4

Auf den Erhalt des Charakters des Stützbauwerks ist grosser Wert gelegt worden. Die technischen Anforderungen konnten erfolgreich mit den ästhetischen Ansprüchen in Einklang gebracht werden.

Bild 8 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Bauwerk nach Instandsetzung.

3.10 Unterschiedliches Deformationsverhalten

SIA 269/7 Ziffer 7.1.4

Es ist vermutet worden, dass durch das Vorspannen der neuen Anker zwar geringe, aber trotzdem messbare Bauwerksverschiebungen stattfinden. Damit die vorhandenen vorgespannten Anker keine Kraftverluste als Folge der Bauwerksverschiebungen erleiden, sind die neuen Querriegel mittels Fugen von den bestehenden Vertikalriegeln getrennt worden, sodass sich die Verschiebungen mehr oder weniger auf die Querriegel beschränken. Bei der Ausführung sind dann nur kaum feststellbare Verschiebungen eingetreten.

4 Ausgewählte Hinweise zu Verankerungen in den Normen SIA 269

4.1 Gefährdung von Ankern durch Korrosion, Schädigungen und Mängel

SIA 269/7 Ziffer 4.1.8, 5.2.5, 7.1.5, Anhang B

4.1.1 Verankerung mit vorgespannten Ankern

Ein zentrales Kriterium für die Beurteilung von vorgespannten Ankern ist die Art ihres Korrosionsschutzes. Entsprechend der Entwicklung der Ankertechnik in der Schweiz lassen sich folgende vier Ankertypen unterscheiden:

- Vollverbundanker
- Freispielanker ohne doppelten Korrosionsschutz
- Freispielanker mit doppeltem Korrosionsschutz
- Anker mit umfassendem Korrosionsschutz

Der Ankertyp und seine Schwachstellen erlauben eine generelle Aussage über die Gefährdung durch Korrosion.

Wertvolle Hinweise für die Beurteilung bezüglich Korrosionsschäden enthält der ASTRA-Forschungsbericht [3], Spannglieder, Schrägseile und Anker – Beschreibung der Systeme und Erkenntnisse aus Korrosionsschäden (Auszüge kursiv).

„Die Verbreitung von Korrosionsschäden an Verankerungen ... korreliert direkt mit den Entwicklungsstufen der Ankertechnik.

*Bei **Vollverbundankern** können Schäden mangels systematischer Überprüfbarkeit nur stichprobenweise im Ankerkopfbereich ermittelt werden. Die Zustandsbeurteilung einer Verankerung muss deshalb mit einer Risikobeurteilung verbunden werden.*

Dabei ist bei Vollverbundankern die Qualität und Zuverlässigkeit der Injektion hinter dem Ankerkopf entscheidend. Weil die Ankerköpfe von Vollverbundankern in aller Regel einbetoniert sind oder sogar hinter einem Verkleidungsbeton liegen, lässt sich diese wichtige Frage meist nur durch Suchen und Freispitzen von 2 bis 3 Ankerköpfen beurteilen. Bei gut dokumentierten Bauwerken kann die Zuverlässigkeit der Injektionen jedoch schon aufgrund der Bauakten beurteilt werden.

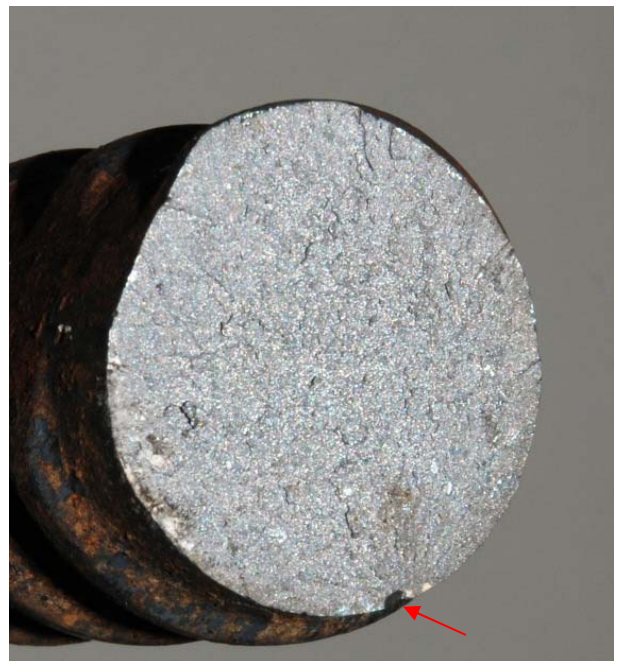
Freispielanker ohne „doppelten Korrosionsschutz“ weisen generell einen ungenügenden Korrosionsschutz auf. Je nach Konstruktionskonzept des Bauwerkes und Ausführungsqualität können bei dieser Ankergeneration Schäden praktisch systematisch oder aber auf Einzelfälle beschränkt auftreten. Zu beachten ist, dass bei diesem Ankertyp nicht selten Sprödbrüche infolge Spannungsrissskorrosion eingetreten sind. Die Zustandserfassung und –beurteilung erfolgt auf der Basis der Überprüfung einer repräsentativen Anzahl Anker.

Bild 9 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Abgebrochener Teil des Ankers Nr. 44 mit Mutter.

Bild 10 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Stabanker. Bruchfläche im Anlieferungszustand, gut sichtbar ist der Bruchausgang an einer ausgeprägten Lochfrassstelle (roter Pfeil); schwach sichtbar sind die Bruchausbreitungslinien. (aus Prüfbericht der EMPA Nr. 452'899)

Besonders hinzuweisen ist auf ein Phänomen im Zusammenhang mit dem Versagen von Einstabankern. Bei Sprödbruch dieser Anker führt die freigelegte Energie zum Herausschiessen der abgebrochenen Ankerteile. Werden diese durch vorhandene Hindernisse wie Betonüberdeckungen oder spezielle Schutzvorrichtungen nicht genügend gebremst, besteht im luftseitigen Raum eine grosse Gefährdung.

Anker mit „doppeltem Korrosionsschutz“ weisen generell einen genügenden Korrosionsschutz auf. Einschränkungen sind evt. bei Druckwasser und bei der Verbindung zwischen Well- und Glattrohr angebracht. Schäden werden sich bei dieser Ankergeneration bei vernünftig konzipierten Stützbauwerken auf Einzelfälle beschränken. Weil bei Verankerungen dieser Generation in der Regel auch Überwachungseinrichtungen (Messanker, Extensometer oder Inklinometer) vorhanden sind, kann die Zustandsbeurteilung anhand von Messungen, Ankerkopfspektionen und durch Kraftkontrollen (Abheben) erfolgen.

Bei **Ankern mit „umfassendem“ Korrosionsschutz** ist die Wirksamkeit des Korrosionsschutzes jederzeit mit einer elektrischen Widerstandsmessung überprüfbar. Bei positiven Messergebnissen sind keine Schäden zu erwarten. Die Zustandsbeurteilung kann anhand von Messungen und stichprobenartigen Ankerkopfspektionen erfolgen.

Bild 11 N01/40, Stützmauer Tierspital Wandfeld c



Unten im Bild Köpfe der bestehenden Anker mit spezieller Vorrichtung zum Schutz vor herausschiessenden Ankerteilen.

4.1.2 Verankerung mit ungespannten Ankern

Im Gegensatz zu den vorgespannten Ankern kann bei ungespannten Ankern aus der Art ihres Korrosionsschutzes nicht direkt auf die Gefährdung der Anker geschlossen werden. Neben der Schutzstufe ist auch die Ausführungsqualität zu bewerten und das unterschiedliche Milieu bezüglich Korrosionsgefährdung separat zu berücksichtigen. Bei ungespannten Ankern hat der Ankerkopfschutz häufig eine untergeordnete Bedeutung, weil die Ankerkraft gar nicht oder nur zu einem kleinen Teil über den Ankerkopf ins Bauwerk geleitet wird.

Unter die Schutzstufe 0/1 fallen nahezu alle vor etwa 1990 ausgeführten Verankerungen. Ab etwa diesem Zeitpunkt wurden Lockergesteinsanker vermehrt mit

Kunststoffhüllrohren ausgeführt, während für reine Felsanker meist weiterhin die Schutzstufe 0/1 zu Anwendung kam. Verankerungen mit so genannten Selbstbohrankern sind hingegen bis heute der Schutzstufe 0/1 zuzurechnen, sofern nicht Spezialstähle (nichtrostende Cr-Ni-Mo-Stähle) eingesetzt wurden.

Zu beachten ist, dass Untersuchungen in den Jahren 2006/2007 ergeben haben, dass Anker mit Schutzstufe 2 oder 3 verbreitet oder gar durchwegs Risse und Defekte an den eingebauten Kunststoffhüllrohren (grossmehrerheitlich PVC) aufwiesen und damit einen stark reduzierten Korrosionsschutz hatten. Erst daraufhin sind Kunststoffhüllrohre aus PE verwendet worden und die Anker sind viel sorgfältiger ausgeführt worden. Seit 2007 verlangen das ASTRA und SBB elektrische Widerstandsmessungen an den eingebauten Ankern. Die überarbeitete Norm SIA 267 (voraussichtlich 2011) wird dies ebenfalls standardmässig verlangen.

Wenn das Stützbauwerk mit einer zusammenhängenden Betonkonstruktion ausgebildet ist, zum Beispiel netzarmierter Spritzbeton oder durchgehender Stahlbetonriegel, und wenn die Ankerköpfe direkten Kontakt mit der Bauwerksbewehrung haben, wirkt die Bauwerksbewehrung als Kathode mit grosser Masse und die Anker als Anode (so genanntes Makroelement). An Fehlstellen im Korrosionsschutz der Anker erfolgt dann ein konzentrierter, rasch ablaufender Materialabtrag (Lochfrass). Weil diese Problematik erst 2007 in der (und SBB) Richtlinie für Boden- und Felsanker [1] thematisiert wurde, muss davon ausgegangen werden, dass bei allen früher erstellten, so konzipierten Bauwerken die Ankerköpfe im Kontakt mit der Bauwerksbewehrung stehen. Häufig wurde damals die Bewehrung sogar an den bereits erstellten Ankern befestigt! Die Makroelementbildung erhöht die Korrosionsgeschwindigkeit der Anker um ein Vielfaches.

4.1.3 Spezielle Anker

Ein besonderer Umstand ist, dass immer wieder einzelne Projektverfasser Anker aus Betonstählen ($f_{sk} < 750 \text{ N/mm}^2$) mit einer freien Länge ausgebildet und vorgespannt haben. Solche Anker sehen äusserlich aus wie ungespannte Anker mit Vollverbund, haben jedoch auf ihrer freien Länge einen Korrosionsschutz, dessen Konstruktion nicht näher bekannt ist. Insbesondere beim Übergang von der Verankerungslänge zur freien Länge und unmittelbar hinter dem Ankerkopf dürfte der Korrosionsschutz Schwachstellen aufweisen. Diese Anker entsprechen eigentlich keiner Schweizer Norm, die ASTRA (und SBB) - Richtlinie für Boden und Felsanker [1] verbietet sie ausdrücklich. Obwohl solche Anker aus weniger empfindlichem Betonstahl bestehen, ist ihre Dauerhaftigkeit wegen der unbekanntem Konstruktion

ihres Korrosionsschutzes und den vermuteten Schwachstellen schwierig und mit Vorsicht zu beurteilen. Ein Vorteil dieser speziellen Anker ist, dass sie eigentlich überprüfbar sind, falls sie einen genügenden Stabüberstand aufweisen. Ein Nachteil gegenüber Ankern mit Vollverbund ist, dass die Ankerkraft ausschliesslich über den Ankerkopf ins Bauwerk eingeleitet wird. Die Dauerhaftigkeit des Ankerkopfes hat hier also eine grosse Wichtigkeit.

4.1.4 Kraftmesseinrichtungen, Hauben

Bei Kraftmessdosen sind zuweilen Überspannungsschäden festzustellen. Als natürliche Schadenursache steht Blitzschlag im Vordergrund. Besonders gefährdet sind exponierte Bauwerke und Messdosen mit langen Messleitungen. Beim Ersatz defekter Druckmessdosen ist es in der Regel zweckmässig, einen Überspannungsschutz einzubauen.

Fehlerhafte Resultate können gemessen werden, wenn Kraftmessdosen nicht zentrisch belastet werden. Bei hydraulischen Kraftmessdosen können Lecks im Hydrauliksystem zu Fehlern führen. Auch ungenügend geladene Batterien oder Kalibrierungsfehler sind zu berücksichtigen.

Bei älteren Kraftmessdosen kann infolge Alterung / eindringender Feuchtigkeit / Korrosion die Messelektronik beeinträchtigt werden und zu einem Drift der Messwerte führen. Feuchtigkeit und Schmutz in den Steckern und Messkästen sowie Verwitterung oder mechanische Schäden der Isolation der Messkabel (UV-Strahlung) sind häufige Ursachen für fehlerhafte Messwerte. Bei auffälligen Kraftänderungen ist die Funktionstüchtigkeit des Messgerätes, der Messleitungen und der Kraftmessdosen durch Abheben des Ankerkopfes zu überprüfen, bevor andere Massnahmen getroffen werden.

Die Ankerhauben, mit welchen die Ankerköpfe geschützt werden, weisen oft kein Entlüftungsloch auf, was zu Kondenswasser in den Hauben führen kann.

4.2 Untersuchungen

4.2.1 Repräsentative Anzahl

SIA 269/7 Ziffer 5.2.3

Die repräsentative Anzahl der näher zu untersuchenden Anker ist objektbezogen festzulegen. Sie sollte die vorhandenen Kenntnisse über Bauwerk, Bauwerksverhalten und Ankersysteme berücksichtigen sowie Schadenpotential und provisorische Bauwerksbewertung einbeziehen.

Je nach Situation kann die Untersuchung von einigen wenigen bis 100% der Anker angezeigt sein. Beim Stützbauwerk Riedsart wählen wir 25% der Anker.

4.2.2 Kraftmessung

SIA 269/7 Ziffer 5.2.1

Die Kraftmessung erfolgt durch Messen der Ankerkräfte der Messanker und durch Abheben von Kontrollankern. Voraussetzungen für das Messen der Abhebekraft sind freie Ankerlänge, genügender Litz- bzw. Stabüberstand oder ein Gewinde. Die erforderlichen Platzverhältnisse zum Ansetzen der Spannpressen sind abzuklären. Mit Ausnahme der grossen Anker ist es heutzutage möglich, mit speziellen Ankerpressen auch Anker ohne Kontrollankerköpfe abzuheben.

Bei einer Überprüfung sind auch einzelne Messanker abzuheben, um die Funktionstüchtigkeit der Messdosen zusätzlich zu Plausibilitätsüberlegungen auch auf diese Weise zu verifizieren.

4.2.3 Spezielle Spannprobe

SIA 269/7 Ziffer 5.2.3, 6.1.5, Anhang C

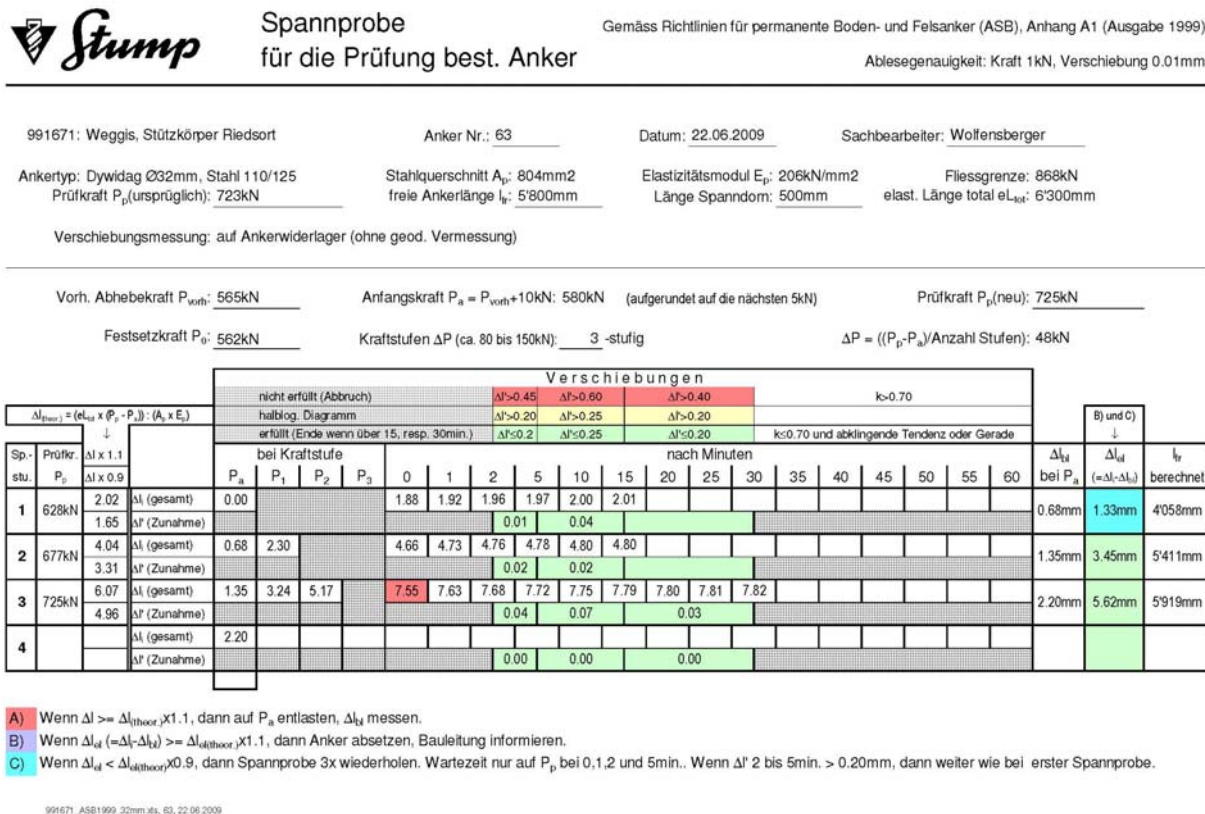
Für die Prüfung von bestehenden vorgespannten Ankern ist gemäss der speziellen Spannprobe im Anhang C der Norm SIA 269/7 vorzugehen. Die Spannprobe entspricht grundsätzlich der ausführlichen Spannprobe in Norm SIA 267/1.

Beim Vorgehen wird unterschieden, ob die Prüfkraft gleich hoch oder höher als die ursprüngliche Prüfkraft liegt. Die Prüfkraft darf 75% der Bruchkraft des Zugglieds jedoch nicht übersteigen.

Anfangskraft und Kraftstufen werden aufgrund der Abhebekraft festgelegt.

Die Norm schlägt zulässige Verschiebungen und zulässige Kriechmasse für die Auswertung vor. Es ist zu berücksichtigen, dass die Zuverlässigkeit der Auswertung geringer ist als bei einer Verankerung mit neuen Ankern, wo die Kriechmasse aufgrund von Versuchen festgelegt werden. Bei höheren Prüfkraften als bei der Bauwerkserrstellung empfiehlt die Norm, die Kriechkriterien aufgrund des Baugrunds und wenn möglich aufgrund von Vorversuchen festzulegen.

Bild 12 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Protokoll vom Bestimmen der Abhebekraft und der speziellen Spannprobe am Anker 63.

4.2.4 Frühere Spannproben

SIA 269/7 Ziffer 4.1.10

Zuweilen sind Spannproben von der Erstellung des Bauwerks vorhanden. Es ist zu beachten, dass die Spannproben vor der Einführung der Empfehlung SIA V 191 im Jahr 1995 nach anderen Verfahren und Kriterien durchgeführt worden sind, als heute. Anker, welche die damals geltenden Kriterien erfüllt haben, würden die heutigen Kriechkriterien nicht zwingend erfüllen. Alte Spannproben sind deshalb im Sinne der aktuellen Anforderungen neu zu beurteilen.

4.2.5 Korrosionsschutzmessung

SIA 269/7 Ziffer 5.2.1, 5.2.4

Seit dem Jahr 1992 werden permanente Boden- und Felsanker mit umfassendem Korrosionsschutz eingebaut. Bei diesen Ankersystemen erfolgt die Überprüfung der Intaktheit der elektrischen Isolation des Ankers vom Baugrund mit Widerstandsmessungen R_i gemäss Norm SIA 267.

Es wurde in den letzten Jahren festgestellt, dass die gemessenen Werte des elektrische Widerstandes im Laufe der Nutzung teilweise starke Fluktuationen aufweisen (ASTRA Forschungsbericht Fluktuationen des elektrischen Widerstandes [2]). Gemäss Untersuchungen dürften die Fluktuationen auf Kondensationsprozesse und auf die Wirkung der Anker als thermische Sonden zurückzuführen sein. Auch Temperaturänderungen können zu schwachen Fluktuationen führen. In der Regel gefährden die Fluktuationen das Ankerzugglied nicht.

„Ein dauerhafter Abfall des elektrischen Widerstandes ist auf einen Defekt der Isolation in den Bereichen Verankerungslänge l_v , Übergang l_v / l_{fr} oder bei der oberen Abdichtung der inneren Ankerkopfabdichtung zurückzuführen. Eine Gefährdung des Ankerzugliedes besteht bei Defekten in den ersten zwei Bereichen. Ein Defekt der Isolation bei der oberen Ankerkopfabdichtung gefährdet hingegen das Zugglied nicht.“ (ASTRA Forschungsbericht Fluktuationen des elektrischen Widerstandes [2]).

Wenn bei einem einzelnen Anker der elektrische Widerstand unter den Grenzwert von $R_i = 0.1 \text{ M}\Omega$ abfällt, ist zunächst abzuklären, ob R_i dauernd unter dem Grenzwert liegt, und dann ist dieser Anker gegebenenfalls in der weiteren Überwachung besonders zu beachten.

Wenn dies für zahlreiche Anker zutrifft, sind zur Abklärung der Ursache und Beurteilung der Konsequenzen Spezialisten beizuziehen (siehe auch ASTRA (und SBB) Richtlinie Boden- und Felsanker [1]).

Niedrige und fehlerhafte Widerstandswerte können auch durch Schmutz, Wasseransammlungen oder Pflanzen beim Ankerkopf oder im Messkasten verursacht sein. Zu hohe Widerstandswerte können gemessen werden bei falscher Erdung, unterbrochenen Messleitungen oder fehlerhaften Messkabelanschlüssen und Erdungen.

4.2.6 Visuelle Inspektion von Bauwerk und Umgebung

SIA 269 Ziffer 6.2.1.2, 6.2.1.4

Die visuelle Inspektion der Umgebung umfasst die Aufnahme von Hinweisen auf Geländeverschiebungen und Rissbildungen, Geländeanpassungen in der Umgebung und auf Wasseraustritte und Vernässungen usw.

Die Inspektion des Bauwerks umfasst die Erhebung von Rissbildungen, Wasseraustritten und Versinterungen, Rostschnäuzen, Ausbauchungen von Hauben, Überwachungseinrichtungen, Zustand von Untermörtelungen und Beton (siehe dazu Norm SIA 269/2) usw.

Bild 13 A19 GR, Hangsicherung Arschella



Messkasten mit Kabelanschlüssen. Die Schutzrohre mit den Kabeln sind im Laufe der Jahre im Hang hinuntergerutscht und „hängen“ nur noch am Messkasten. Die ersten Drähte sind ausgerissen.

4.2.7 Visuelle Inspektion des Ankerkopfs

Die visuelle Inspektion des Ankerkopfes erfolgt unter Beizug des Spezialisten (Ankerfirma). Der Ankerkopf wird vor Entfernen des Schutzes (Haube oder Beton), vor Entfernen des Korrosionsschutzes und danach inspiziert. Je nach Bauwerk kann der Anker entspannt werden und der Bereich hinter der Ankerplatte, bzw. dem Ankerkopf visuell aufgenommen werden. Wenn

dies nicht möglich ist, kann der Einsatz eines Endoskopes in gewissen Fällen einen Blick hinter die Ankerplatte ermöglichen.

Bild 14 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Oben ausgebaute Ankerplatte des Ankers Nr. 52 des Vertikalriegels. Mitte: Blick hinter den Ankerkopf 52. Das Hüllrohr reicht nicht bis zur Ankerplatte, Injektionsgut ist in 2 m Tiefe festgestellt worden.

Bild 15 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Der Anker Nr. 17 des Horizontalriegels ist entspannt, die Ankerplatte wird wieder eingeführt. Das angeschweisste Rohr muss hier in das Hüllrohr hineingesteckt werden.

Art des Korrosionsschutzes, Haube, Abmessungen der Bauteile, Zustand von Anker und Korrosionsschutz sowie Besonderes werden aufgenommen, sorgfältig protokolliert und der Ankerkopf fotografiert.

Manchmal können Details der Ankerkopfkonstruktion und der Bauteile wie Ankerplatten sehr überraschen.

4.2.8 Sicherheitsmassnahmen bei Untersuchungen

Bei Kraftmessungen und Spannproben von vorgespannten Stabankern mit Risiko des Herausschliessens von Ankerteilen bei Brüchen sind Sicherheitsmassnahmen zu ergreifen. Das Personal hat sich ausserhalb des Gefahrenbereiches aufzuhalten.

Bild 16 K2b LU, Verankerter Stützkörper Riedsort



Die Presse hängt an der Sicherungskette nach dem Bruch des Stabes des Ankers Nr. 44. Ein Herausschliessen des abgebrochenen Stabes auf die Strasse konnte so verhindert werden.

4.2.9 Unterhaltsmassnahmen bei Untersuchungen

Der Korrosionsschutz der inspizierten und geprüften Anker ist nach den Untersuchungen zu erneuern.

Hat der angetroffene Korrosionsschutz die schützende Wirkung durch Alterung oder Verwitterung verloren, ist er bei allen Ankern zu erneuern.

Neben dem Korrosionsschutz sind gegebenenfalls Dichtungen, Hauben, Messeinrichtungen, Kabelbefestigungen, Schutzrohre, Messkästen etc. zu erneuern oder Instand zu setzen.

Bei Bauwerken mit Ankerschutzhauben ohne Entlüftungslöcher und Kondenswasserbildungen, ist unten an der Haube ein rund 6 mm grosses Loch anzubringen.

Auch weitergehende Unterhaltsmassnahmen wie Zusatzinjektion, Dränagen usw. können erforderlich sein.

Bild 17 N08 OW, Stützwand Oberes Delli



Wegen fehlender Entlüftungsöffnung an der Haube hat sich Kondenswasser in der Haube gesammelt und der Korrosionsschutz hat gelitten (an Verfärbung sichtbar).

4.3 Entwässerung

SIA 269 Ziffer 6.2.2.1, 7.1.3, SIA 269/7 Ziffer 2.2.2, 5.1, 7.1.6

Verankerungen und verankerte Bauwerke sind oft mit Dränagemassnahmen von Bauwerk oder Hängen kombiniert und abhängig von deren Funktionstüchtigkeit. Mit der Dränage werden beispielsweise die Einwirkungen auf das Bauwerk und damit auf die Verankerung begrenzt. Bei der Überprüfung und Beurteilung von Verankerungen sowie bei den Erhaltungsmassnahmen sind die Dränagemassnahmen in diesen Fällen ebenfalls einzubeziehen.

4.4 Plausibilität der Resultate

SIA 269 Ziffer 6.2.1.3, SIA 269/7 Ziffer 4.1.11

Die Verifizierung der Plausibilität der Resultate der Überprüfung und der Nachweise ist unerlässlich. Bei Verankerungen sind u.a. folgende Überlegungen hilfreich:

- Wenn die vorhandenen Kräfte eines Bauwerkes bestimmt worden sind, und sich das Bauwerk über lange Zeit problemlos bewährt und keine Verschiebungen erlitten hat, darf davon ausgegangen werden, dass für alle vergangenen Nutzungszustände die Sicherheit mit der vorhandenen Ankerkraft mindestens 1 betrug. Die Modelle und Nachweise können daran „geeicht“ werden (Rückrechnungen).

- Sind die vorhandenen Ankerkräfte höher als die ursprünglichen Festsetzkräfte bzw. die ursprünglich geplanten Gebrauchskräfte, war das Bauwerk vermutlich unterbemessen. Das Resultat der Nachweise müsste dies ergeben.
- usw.

4.5 Überwachung und Instandhaltung

SIA 269 Ziffer 7.3.2, SIA 269/7 Ziffer 7.1.2, 7.1.7, 7.1.8

Verankerte Bauwerke müssen gemäss SIA 267 immer messtechnisch überwacht werden. Ein Bedarf an Überwachung besteht auch bei Anwendung der Beobachtungsmethode oder bei empirischer Analyse.

Zu überwachen ist das Verhalten des Gesamtbauwerks, des Ankersystems, der Einzelanker und der Messeinrichtung.

Die Überwachung der Verschiebungen und Verkippungen ist zentral. Dies kann mit Inklinometer- und Extensometermessungen, geodätischen Vermessungen, Verkippungsmessungen oder auch indirekt über Ankerkraftmessungen geschehen. Durch Kombination von verschiedenen Messtechniken ist ein redundantes Überwachungssystem aufzubauen. Dies hilft wesentlich bei der Qualifizierung der einzelnen Messwerte.

Bei vorgespannten Ankern sind zudem Ankerkräfte (Mess- und Kontrollanker) und bei umfassend korrosionsgeschützten Ankern die elektrischen Widerstände zu messen.

Die Ankerkräfte und der Korrosionsschutz sind mindestens jährlich zu messen. Das Verhalten des Gesamtbauwerks ist mindestens 5-jährlich zu verifizieren. Visuelle Inspektionen sind ebenfalls mindestens 5-jährlich angezeigt. Häufigere Messungen können je nach Bauwerk zweckmässig und erforderlich sein. Bei besonderen Ereignissen sind zusätzliche Messungen erforderlich. Die Überwachungsmassnahmen sind periodisch auf ihre Eignung zu beurteilen.

Ca. 5-jährlich ist auch die Funktionstüchtigkeit der Überwachungseinrichtungen zu überprüfen. Eine periodische Eichung der Mess- und Ablesegeräte ist nötig.

Der Unterhalt bei verankerten Bauwerken umfasst den Ankerkopf und die Überwachungseinrichtungen. Der Unterhaltsbedarf (Ankerkopfschutz, Schutzhauben, Dichtungen, Befestigungen, Messleitungen, Entwässerung der Haube und der Messankerschächte, Pflanzenbewuchs, usw.) ist nach Bedarf auszuführen, ca. 5-jährlich sollte ein allfälliger Bedarf abgeklärt werden. Der Ankerkopfschutz und die Dichtungen dürften mutmasslicherweise ca. alle 20 Jahre zu erneuern sein.

4.6 Ressourcenschonung

SIA 269/7 Ziffer 2.1.2, 7.1.1

Bei Verankerungen hat die Schonung der beschränkten Ressource Boden besondere Bedeutung:

- Erhaltung der Qualität von Boden und Grundwasser, Schonung vor Injektionen.
- Jeder Anker füllt im Untergrund ein gewisses Volumen aus. Die Rückbaumöglichkeiten sind i.d.R. beschränkt. Platz für z.B. künftige Anker oder Bauwerke ist möglichst zu erhalten.

5 Dank

Ein herzlicher Dank geht an Adrian Nauer und das vif LU für das Entgegenkommen, ihr Bauwerk als Beispiel einer Erhaltung dokumentieren zu dürfen sowie an alle an der Überprüfung und Instandsetzung beteiligten Personen und Unternehmen.

Ein weiterer Dank geht an Ueli von Matt, dessen dokumentierte Forschungs- und Erhaltungsarbeiten, Rat und Unterstützung massgebend als Grundlagen für den Beitrag dienen.

Die Kenntnisse in der Erhaltung von verankerten Tragwerken entspringen grossmehrheitlich den vom ASTRA unterstützten und finanzierten Forschungsarbeiten was an dieser Stelle besonders gewürdigt werden soll.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA 2007, ASTRA 12 005, Richtlinie Boden- und Felsanker
- [1a] Die Richtlinie [1] ist von den SBB unter folgender Bezeichnung übernommen worden:
Permanent verankerte Bauwerke (SBB + ASTRA) PS-IB 02/08
- [2] Bundesamt für Strassen ASTRA 2007, Forschungsauftrag AGB 2001/489, Permanente, vorgespannte Boden- und Felsanker: Fluktuationen des elektrischen Widerstandes
- [3] Bundesamt für Strassen ASTRA 2005, Forschungsauftrag AGB 2000/470, Spannglieder,

Schrägseile und Anker – Beschreibung der Systeme und Erkenntnisse aus Korrosionsschäden