

4 Ankersysteme

4.1 Beschreibung und Entwicklung

4.1.1 Entwicklung der Ankertechnik

In der Schweiz hat sich die Ankertechnik in den 1950er-Jahren aus den Spannsystemen für den Spannbeton entwickelt. Für die ersten vorgespannten Anker sind übliche Spannglieder mit Blechhüllrohren eingebaut worden. Zur Herstellung der Haftstrecke wurde das Hüllrohr auf der Verankerungslänge weggelassen und die Drähte mehrfach gespreizt. Nach der Primärinjektion der Haftstrecke und des Ringraumes ausserhalb des Hüllrohres im Bereich der freien Ankerlänge konnte der Anker gespannt werden. Anschliessend wurde auch das Hüllrohr mit zementtösem Füllgut ausinjiziert und der Ankerkopf in der Regel einbetoniert. Diese Anker nennt man Vollverbundanker, denn sie haben im Betriebszustand keine frei dehnbare freie Ankerlänge.

Im Jahr 1951 sind in der Kavernenzentrale Verbano der Maggia-Kraftwerke die ersten permanenten Felsanker in der Schweiz eingebaut worden. Zunächst sind Anker ausschliesslich im Fels eingesetzt worden. Ab etwa 1962 wurde begonnen, mit der gleichen Technik auch im Lockergestein Anker zu erstellen. Diese Erweiterung der Anwendung der Ankertechnik war allerdings von herben Rückschlägen begleitet, bis sie sich dank der Entwicklung der Nachinjektionsmöglichkeit und einer realistischeren Einschätzung der im Lockergestein erreichbaren Ankerkräfte als anerkannter Teil der Bautechnik etablieren konnte.

Bereits ab Mitte der 1960er-Jahre sind erste Schritte für eine neue eigenständige Ankertechnik unternommen worden: Zuerst wurden Systeme für Einstabanker entwickelt, dann auch für Mehrstabanker und Paralleldrahtanker, die auch im Betriebszustand eine frei dehnbar bleibende freie Ankerlänge aufwiesen. Diese so genannten Freispielanker haben sich zusehends durchgesetzt und ab etwa 1977 die vorgespannten Vollverbundanker vollständig verdrängt. Im gleichen Jahr ist auch die erste Ankernorm in der Schweiz erschienen [SIA 1977] - 26 Jahre nach dem Einbau der ersten permanenten Verankerung!

Die Einführung der Freispielanker trug dem wesentlichen Unterschied zwischen Spannsystemen und vorgespannten Ankern Rechnung:

- Beim Spannbeton ist die Kraft im Spannglied beim Vorspannen am grössten. Sie nimmt während der Nutzungsdauer auf einen Endwert ab. Die Distanz zwischen den beiden Verankerungen verändert sich während der Nutzungsdauer um weniger als 0.5‰, gesamthaft resultiert immer eine Verkürzung. Es besteht kein Bedürfnis, die Kabelkraft nach dem Vorspannen künstlich zu regulieren.
- Bei Ankern kann die Kraft im Spannglied während der Nutzungsdauer um beträchtliche Masse (z.B. 20 bis 50%) zu- oder abnehmen. Denn die Distanz zwischen den beiden Verankerungen kann sich in beiden Richtungen um 1 bis 10‰ ändern. Je nach Fall besteht ein Bedürfnis, den Anker nachzuspannen oder zu entspannen, vor allem aber sollte während der Nutzungsdauer die Ankerkraft zwecks Überwachung des Bauwerkes gemessen werden können. Beides ist nur bei Freispielankern möglich.

Mit dem Freispielanker wurde aber auch ziemlich wagemutig Neuland beschritten: Zur Gewährleistung der frei dehnbaren freien Ankerlänge musste das Zugglied im wasserführenden Baugrund mit einem Korrosionsschutz versehen werden, der seine Dehnbarkeit nicht behinderte und dabei dauerhaft wirksam blieb.

Folgerichtig konzentrierte sich die weitere Entwicklung der Ankertechnik auf eine laufende Verbesserung der Korrosionsschutzsysteme, was auch von einer Konzentration auf wenige Ankersysteme begleitet war. Die Entwicklung der Korrosionsschutzsysteme ist eng verbunden mit

den einzelnen Ankersystemen. Sie wird deshalb nachfolgend zusammen mit diesen beschrieben.

Gegen Ende der 1980er-Jahre begannen die öffentlichen Bauherren immer ultimativer eine Überprüfbarkeit des Korrosionsschutzes am eingebauten Anker zu fordern. Dies führte zur Entwicklung des so genannten umfassenden Korrosionsschutzes, dessen Wirksamkeit am fertigen Anker mit einer elektrischen Widerstandsmessung geprüft wird. 1992 wurden in der Schweiz erstmals umfassend korrosionsgeschützte Anker eingebaut. Seit 1995 wurden sie von der Empfehlung SIA V 191 für alle permanenten vorgespannten Anker gefordert [SIA 1995]. Die Empfehlung verlangte auch eine erstmalige Prüfung der Ankersysteme. Diese beiden Anforderungen haben an den heute zugelassenen Systemen zu wesentlichen Verbesserungen geführt, die die Dauerhaftigkeit von permanenten Ankern markant erhöhten.

Die 2003 in Kraft gesetzte Norm SIA 267 „Geotechnik“ [SIA 2003b] übernahm diese Anforderungen, ersetzte den Begriff "erstmalige Prüfung" jedoch mit technischer Zulassung, die gemäss den Bestimmungen des Bauproduktgesetzes zeitlich befristet ist [BauPG 1999], das heisst in der Regel alle 5 Jahre zu erneuern ist. Damit werden die Aufrechterhaltung der Qualität der Ankersysteme und implizit auch deren weitere Verbesserung gewährleistet.

Bis 2004 wurde die erstmalige Prüfung von Ankersystemen von der Expertengruppe Anker (EGA) durchgeführt, die vom ASTRA in Zusammenarbeit mit der SBB AG eingesetzt worden ist. Das ASTRA stellte die Konformitätsbestätigung aus. Seit 2004 ist die EMPA amtliche Zulassungsstelle. Sie wird die Erneuerung der Zulassungen sowie künftige Neuzulassungen ausstellen, wobei sie sich von der EGA beraten lässt. Im Gegensatz zu Spannsystemen ist für Ankersysteme auf europäischer Ebene keine technische Zulassung durch die EOTA vorgesehen. Die Schweiz kann die Anforderungen an Ankersysteme für die technische Zulassung auch in Zukunft autonom festlegen. Basis dazu ist die Norm SIA 267 "Geotechnik", die sich weitgehend auf SN EN 1537 "Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten - Verpressanker" [CEN 1999] abstützt, sowie die Norm SIA 262 "Betonbau" [SIA 2003a], die sich für Spannsysteme auf die Leitlinie ETAG 013 [EOTA 2002] abstützt. Das Zulassungsverfahren und die detaillierten technischen Anforderungen an Ankersysteme sind im "Leitfaden für die technische Zulassung von Ankersystemen gemäss Norm SIA 267" vom 29. Januar 2004 beschrieben [EMPA 2004b].

Die 1999 revidierte Richtlinie "Boden- und Felsanker" des ASTRA [ASTRA 1999] enthält eine Grafik, welche die Entwicklung der Ankertechnik im Überblick darstellt (**Bild 4.1**).

Die ersten 25 Jahre der Ankertechnik können als Pionierzeit bezeichnet werden, die charakterisiert war durch die Verwendung von sehr unterschiedlichen Spannstahtarten, Verankerungssystemen und Korrosionsschutzmaterialien. In der nachfolgenden Reifezeit der Ankertechnik erfolgte eine Konzentration auf wenige Systemtypen und eine laufende Verbesserung der konstruktiven Details.

Ankerfirmen

Die Ankertechnik wurde primär von den gleichen, in **Kapitel 2.2** aufgeführten fünf Firmen entwickelt, die auch die Spannsysteme entwickelt haben. Diese Firmen haben die Anker geliefert und in der Regel nach dem Einbau geprüft und gespannt, nie aber haben sie selber Ankerbohrungen ausgeführt. Diese fünf Firmen sind bis heute auf dem Markt präsent. Vier von ihnen verfügen über erstgeprüfte und zugelassene Ankersysteme.

Daneben haben in den 1960er- bis 1980er-Jahren mehrere Bohrfirmen mit recht grossem Erfolg eigene Ankersysteme entwickelt (Stump Bohr AG, Diasond AG und Swissboring AG) oder in Lizenz aus Deutschland eingeführt (Hatt Haller AG, Zürich). Dabei handelte es sich bei permanenten Ankern mehrheitlich um Einstabanker, vereinzelt um Mehrstabanker oder um Rohranker, die aber nicht aus Spannstaht bestanden. Diese Firmen haben die Anker geliefert, die Ankerbohrungen ausgeführt und die Anker selber geprüft und gespannt. Seit Beginn der 1990er-

Jahre ist keines dieser Ankersysteme mehr auf dem Markt und alle diese Firmen sind aufgelöst oder von anderen Unternehmen übernommen worden.

Seit Ende der 1990er-Jahre sind weitere Ankerfirmen mit eigenen Ankersystemen im Schweizer Markt aufgetreten und haben mit ihren Systemen die Erstprüfung bestanden. Die Sorotec SA, Castione, ist Herstellerin und Lieferantin eines Litzenantersystems wie die ursprünglichen fünf Ankerfirmen. Die Arge Euroanker, Aarau, stellt Litzenantker her, die mehrheitlich durch die mit ihr verbundenen Bohrfirmen GU-Tiefbau, Schaffhausen, und Zschokke Locher, Aarau, eingebaut werden, aber auch an Dritte geliefert werden. Die Bauer Spezialtiefbau GmbH, Schrobenthausen (D), stellt Litzenantker her, die sie mit ihrer eigenen Bohrabteilung einbaut, prüft und spannt.

Zurzeit verfügen insgesamt sieben Ankersysteme über eine vom ASTRA ausgestellte Konformitätsbescheinigung. Wegen den oben beschriebenen Neuerungen sind diese Zulassungen im Verlaufe 2005 durch die EMPA zu erneuern.

4.1.2 Einsatz von vorgespannten Ankern

Die wichtigsten Anwendungsbereiche für vorgespannte Anker sind:

- Baugrubensicherungen
Die Abstützung von Baugrubenwänden ist das hauptsächliche Anwendungsgebiet für temporäre Anker. Für die Sicherung von temporären Voreinschnitten für Tunnelbauten, die oft eine Nutzungsdauer von 4 bis 7 Jahren haben, werden in jüngster Zeit umfassend korrosionsschutzte Anker eingesetzt.
- Hang- und Felssicherungen sowie permanente Hanganschnitte.
Solche Sicherungen sind das Hauptanwendungsgebiet für permanente Anker.
- Lawinen- und Steinschlaggalerien
- Sicherung von Bauten, die Zugkräften ausgesetzt sind.
Dazu gehören etwa Seilbahnstationen, Masten, Antennen, Fixpunkte von Druckleitungen, Foundationen von Turbinen.
- Übernahme von Zugkräften aus speziellen Brückenkonstruktionen wie Hängebrücken, Spannbandbrücken oder Brücken mit künstlicher Auflagereinspannung.
- Auftriebssicherungen
Vor allem gegen Wasserdruck, aber auch gegen quellendes Gebirge.
- Untertagebauten
Besonders für spezielle Bauwerke, bei denen kein Gewölbe ausgebildet werden kann, wie Tunnelverzweigungen und Kavernen.
- Staumauern und Wehre
Zur Erhöhung der Staukote oder der Standsicherheit (Erdbeben).

Entwicklung der Technik für vorgespannte "permanente" Anker in der Schweiz

Jahr	Paralleldrahtanker Ø 5-8mm f _{tk} : 1670 resp. 1570 N/mm ²	Litzenanker 0.5" resp. 0.6" (Ø 12 resp. 15mm) f _{tk} : 1820 resp. 1770 N/mm ²	Einstabanker Ø 26, 32, 36mm f _{tk} : 1030 z.T. 1250 N/mm ²	Mehrstabanker Ø 12, 16mm f _{tk} : 1470 N/mm ²	Charakterisierung der technischen Entwicklung	Regelungen / Meilensteine
1950	Fels		Verbund lv ("Monoanker")			erste vorgespannte permanente Felsanker (1951)
1955	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		
1960	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		
1965	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		ca. 1962 erste vorgespannte permanente Bodenanker
1970	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		
1975	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		ab ca. 1973 mehrheitlich nur noch Freispielanker
1980	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		Norm SIA 191 (1977)
1985	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		erste elektrische Ω -Messung I (1985) (am nicht gespannten Anker)
1990	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		
1995	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		erste Ω -Messung I am gespannten Anker ASB Ankerlinien 1993
2000	Fels		Verbund lv ("Monoanker")	Verbund lv		SIA V 191 (1995) (g-Messung I am gespannten Anker obligatorisch) erstmögliche Prüfung der Ankersysteme (ab Ende 1996) ASTRA Richtlinie Boden- und Felsanker 1999

Bemerkungen:

- ohne (pseudo-)vorgespannte Rohranke aus Stahl f_{tk}=500-600 N/mm² ca. 1960 bis 1972
- Zeitgrenzen der Systemwechsel sind unscharf, mit Überschneidungen je nach Firma und Landesgegend von bis zu 4 Jahren
- K-schutz = Korrosionsschutz; / lv=Bereich Verankerungslänge / lr =Bereich freie Ankerlänge / Monolitzen=gefettete Einzelzitzen in PE-Hüllrohr
- Vollverbund bedeutet ausinjizieren der freien Ankerlänge mit Zementmilch nach dem Vorspannen, ab ca.1970 Hüllrohr oft aus Kunststoff

Bild 4.1 Entwicklung der Technik für vorgespannte „permanente“ Anker in der Schweiz.

4.1.3 Abgrenzung

Nicht Gegenstand dieses Berichts sind die folgenden Themen:

- Ungespannte (schlaife oder passive) Anker, oft Nägel genannt, deren Zugglieder nach heutiger Regelung nicht aus Spannstählen bestehen.
- Anker aus GFK- oder CFK-Verbundwerkstoffen.
- Zugpfähle und vorgespannte Zug- oder Druckpfähle.

4.1.4 Stabanker

Zugglieder

Überwiegend handelt es sich um einzelne Stäbe \varnothing 26.5, 32 und 36 mm mit Gewinderippen der Qualität 835 / 1030 oder 1080 / 1230 N/mm². Die Stäbe mit höherer Festigkeit sind nach dem Auftreten von Sprödbrüchen in der Schweiz für permanente Anker ab ca. 1982 nicht mehr eingesetzt worden. Vereinzelt sind in den 1960er- und 1970er-Jahren auch glatte Einzelstäbe mit oder ohne aufgerolltem Feingewinde am Stabende oder Mehrstabanker aus Stäben \varnothing 12 mm mit Gewinderippen oder glatte Stäbe mit aufgerolltem Gewinde im Verankerungsbereich oder mit Keilverankerung der Qualität 1420 / 1570 oder noch höher eingesetzt worden. Diese Systeme haben sich nicht durchgesetzt und sind als Sonderlösungen zu betrachten. Nachfolgend werden nur die verbreitet eingesetzten Einstabanker mit Gewinderippen behandelt.

Verankerung im Baugrund

Neben der konventionellen Verankerung des Zuggliedes über Verbund im zementösen Füllgut wurden in der Schweiz in den 1960er- bis 1980er-Jahren (in Deutschland bis heute) für permanente Anwendungen auch so genannte Druckrohranker eingesetzt (in der Schweiz System Stump-Duplex). Dabei wird der Gewindestab in ein Stahlrohr eingeschraubt, das am erdseitigen Ende ein entsprechendes Gewinde aufweist. Der Verbund mit dem Baugrund erfolgt über das aussen gerippte Druckrohr und das Füllgut. Eine Besonderheit dieses Systems ist, dass das Zugglied über eine genau definierte freie Ankerlänge verfügt, die bis zum unteren Ende der Verankerungslänge reicht (Verbindung mit dem Druckrohr). Die Idee dieses recht aufwändigen Systems ist, dass die Kraftertragungsstrecke unter Druck steht (Druckrohr!) und somit im zementösen Füllgut keine Zugrisse entstehen. Das Zugglied selber kann auf seiner ganzen Länge gegen Korrosion geschützt werden.

Kopfverankerung

Bei Gewindestäben erfolgt die Kopfverankerung einfach mit einer Sechskant-Gewindemutter. Für die Verankerung von glatten Stäben sind Keilverankerungen verwendet worden.

Korrosionsschutz

In den 1960er-Jahren wurden die Stäbe auf der freien Länge mit Isolierband umwickelt. Zur Gewährleistung der freien Länge wurde ein Kunststoffhüllrohr eingebaut. Dieses reichte bei Stäben mit konventionellem Verbund bis zum Beginn der Verankerungslänge, bei Druckrohrankern bis zum Druckrohr. Der Ringraum zwischen Hüllrohr und Stab blieb unverfüllt und das Hüllrohr wurde hinter dem Ankerkopf nicht abgedichtet. Der Ankerkopf wurde mit einem Teerstrich versehen oder einbetoniert. In den 1970er-Jahren wurde an Stelle des Isolierbandes ein Schrumpfschlauch verwendet. Ein solcher wurde oft auch am Stabüberstand inkl. Verankerungsmutter angebracht.

Ab ca. 1978/79 wurde auf der freien Länge an Stelle des Schrumpfschlauches ein dünnwandiges PE-Hüllrohr (ein "Schlauch") angeordnet, das im Werk mit einem plastischen Füllgut als Korrosionsschutzmasse (mehrheitlich Densojet oder Visojet) verfüllt und oben mit einem Schrumpfschlauch für den Transport und Einbau verschlossen wurde. Vor dem Spannen wurde

der Schrumpfschlauch entfernt und das PE-Hüllrohr sollte beim Spannen gegen die Ankerplatte gepresst werden, was in der Praxis allerdings nicht systematisch gelang.

Nach einigen Schadenfällen wurde etwa 1981/82 bei Stabankern das Kunststoffripprohr aus PVC im Bereich der Verankerungsstrecke eingeführt. Die Rippen waren als Gewinde ausgebildet, so dass die Rohre zusammengesraubt werden konnten. Das Riprohr wurde auf der ganzen Ankerlänge angebracht und der Innenraum mit zementösem Füllgut ausinjiziert (meist bereits im Werk). Zur Bildung der freien Länge wurde bis zum Beginn der Verankerungslänge ein zweites glattes Hüllrohr aus PE über das Riprohr geführt, der Zwischenraum wurde nicht verfüllt.

Eine weitere Verbesserung des Korrosionsschutzes dieses Systems erfolgte um 1985 im Kopfbereich: Ein an die Ankerplatte geschweisstes Stahlrohr wurde über das Glatthüllrohr gestülpt. Der Innenraum wurde OK Riprohr mit einer Gummidichtung abgedichtet und mit einem plastischen oder zementösen Füllgut verfüllt. Der Aussenraum hinter der Ankerplatte wurde mit zementösem Füllgut ausinjiziert. Der Ankerkopf wurde danach mit einer Schutzhaube versehen und mit einem plastischen oder zementösen Füllgut verfüllt. Dieses System wurde als "Einstabanker mit doppeltem Korrosionsschutz" bezeichnet (**Bild 4.2**).

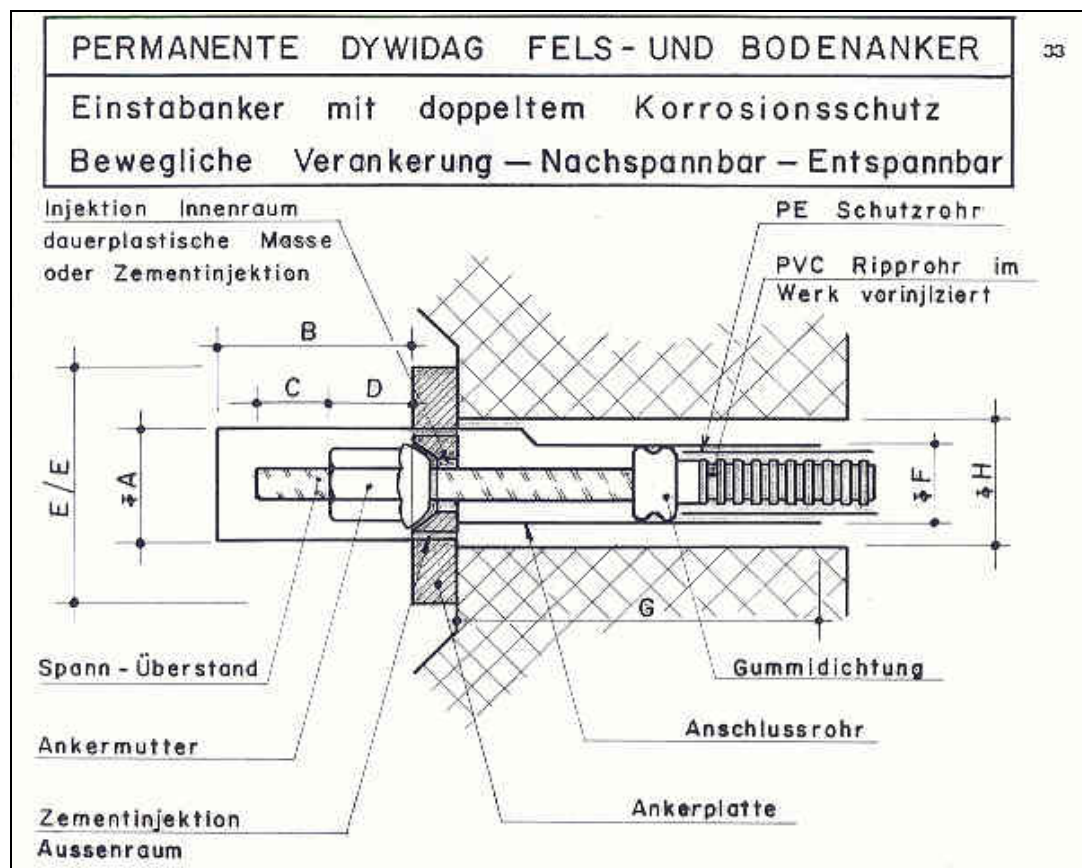


Bild 4.2 Permanenter Dywidag Fels- und Bodenanker mit "doppeltem Korrosionsschutz" um 1985.

Verbreitung und heutige Marktstellung

Bis etwa 1990 sind Stabanker sehr häufig als temporäre und permanente Anker eingesetzt worden. Ihre Kopfverankerung ist einfach und erfordert keine schweren Pressen. Besonders als ausbaubare Anker waren sie sehr beliebt: Durch die Anordnung einer Kupplungsmuffe beim Beginn der Verankerungsstrecke konnten sie nach Gebrauch dort ausgeschraubt und ausgebaut werden. Verschiedene Faktoren haben sie seither in der Schweiz weitgehend aus dem Markt verdrängt:

- Ihre Länge ist beschränkt, die maximale freie Länge beträgt etwa 18 m und die dann erforderliche Kupplung auf der Baustelle macht die Herstellung eines wirksamen Korrosionsschutzes schwierig.
- Das verfügbare Spektrum der Ankerkraft ist mit drei Stabdurchmessern nicht sehr flexibel.
- Ihre Steifigkeit erschwert den Transport und den Einbau
- Sie sind teurer als Litzenanker.

In der Schweiz ist heute kein Stabankersystem für permanente Anker zugelassen (erstmalige Prüfung gemäss Empfehlung SIA V 191 [SIA 1995]). Einzig die Stahlton AG verfügt über eine Zulassung für temporäre, ausbaubare Stabanker.

4.1.5 Drahtanker

Zugglieder

Die Zugglieder bestehen aus parallel geführten Spanndrähten \varnothing 5 bis 8 mm mit einer hohen, aber nicht immer genau definierten Festigkeit. Eine Klassifikation für Spanndrähte hat erst die Norm SIA 162 (1989) geschaffen.

Verankerung im Baugrund

Die Verankerung der Drähte erfolgt in der Haftstrecke durch Verbund mit dem Füllgut. Dazu wird das Drahtbündel mehrfach gespreizt und wieder zusammengebunden, so dass die Drähte polygonal verlaufen (**Bild 4.3**). Beim Verfahren mit Stauchkopf (BBR) ist am unteren Ende ein Verankerungskopf eingebaut und die Drähte verlaufen auch in der Verankerungslänge parallel (**Bild 4.4**).

Die Verankerung im Baugrund kann, besonders bei Felsankern, direkt über das Füllgut der Haftstrecke erfolgen. Bei Lockergesteinsankern ist jedoch häufig zuerst ein Stahlrohr mit Manschetten ins Bohrloch eingebaut und verpresst worden. Der Drahtanker wurde anschliessend ins Stahlrohr eingebaut und in diesem mit dem Füllgut der Haftstrecke verankert (z.B. TMD-Anker oder System Tubfix).

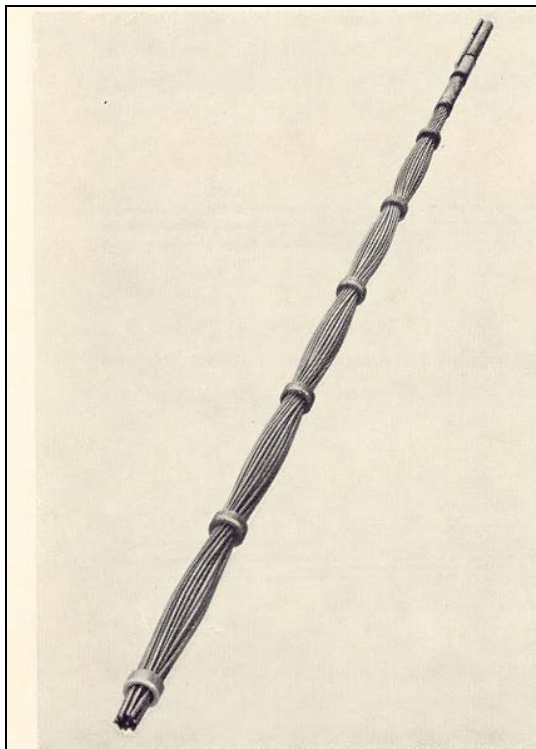
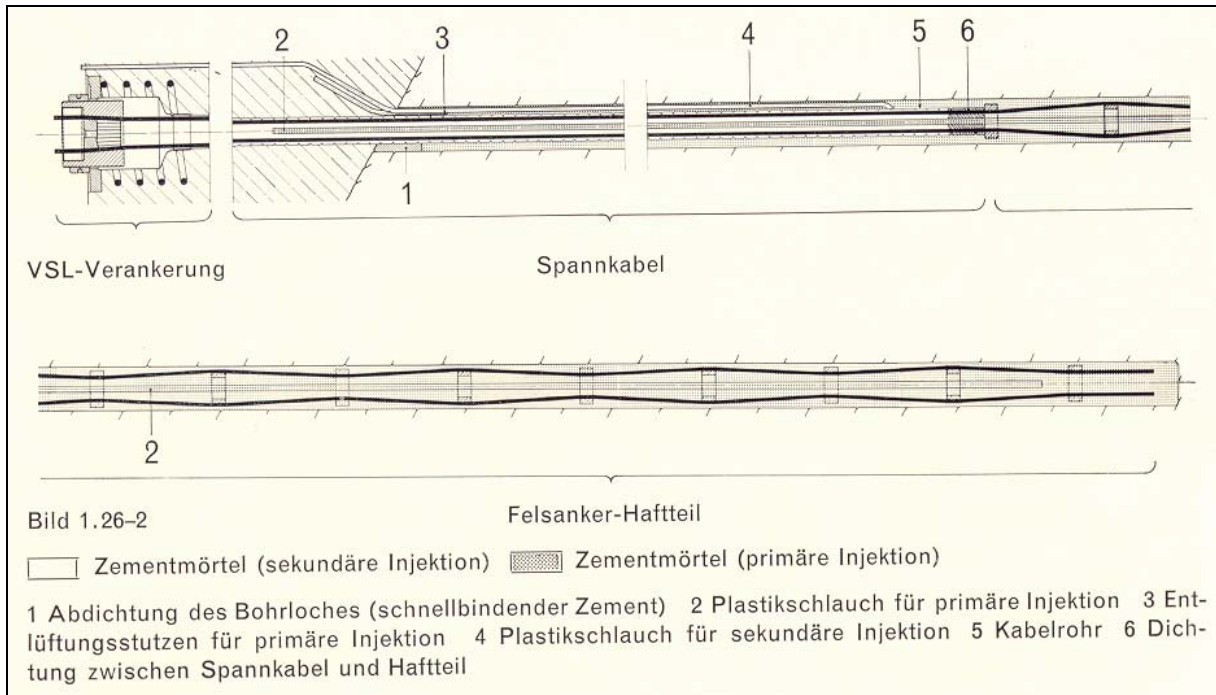


Bild 1.26-1 Felsanker-Haftteil VSL Typ R

Bild 4.3

VSL-Drahtanker. Felsanker mit Vollverbund um 1965.

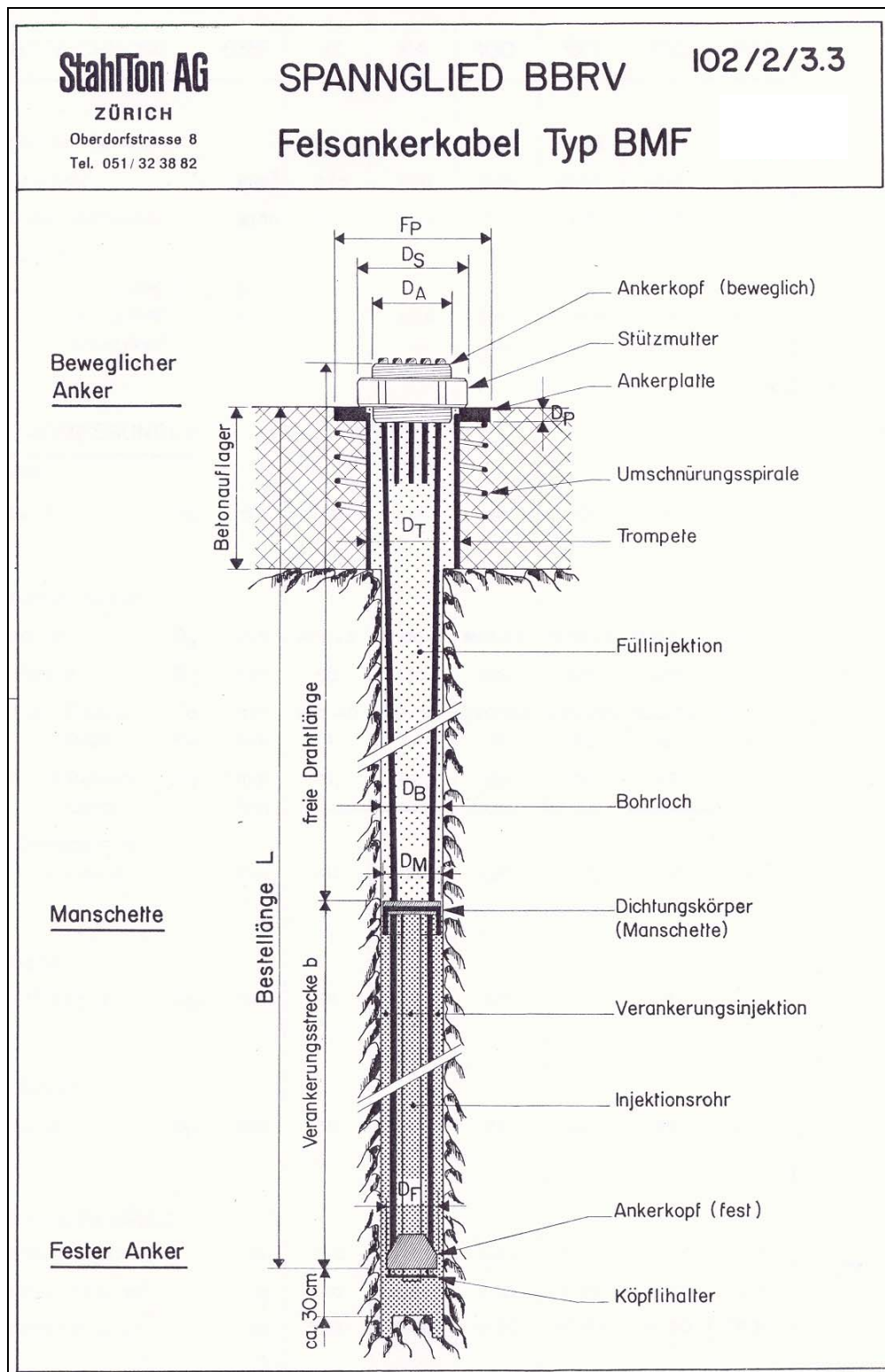


Bild 4.4 BBRV-Drahtanker. Felsanker mit Vollverbund um 1959.

Kopfverankerung

Die Drähte sind entweder mit Stauchkopf (BBR) oder mit einem zentralen Keil verankert. Sowohl der trichterförmige Ankerkopf wie der zentrale Keil können aus Stahl (VSL) oder drahtumwickeltem Mörtel (Freysinet) bestehen.

Korrosionsschutz

Bis etwa 1972 sind die meisten Drahtanker auch auf der freien Ankerlänge mit zementösem Füllgut ausinjiziert worden (**Kapitel 4.1.1**). Der Korrosionsschutz besteht bei diesen Vollverbundankern somit durchwegs aus Zementstein. Bei TMD-Ankern wurde auf der freien Länge oft ein PE-Hüllrohr als Verlängerung des Manschettenrohres eingesetzt, was als zusätzlicher Korrosionsschutz betrachtet werden kann.

Bereits etwa 1965 hat die Firma Polensky & Zöllner in Deutschland den Freispieldrahtanker entwickelt. Dabei wird das Drahtbündel im Sammelhüllrohr auf der freien Ankerlänge mit einem dauerplastischen Füllgut verpresst (Teerepoxy, Bitumen oder Fett). Ob solche Anker in der Schweiz eingebaut worden sind, ist der Forschungsstelle nicht bekannt. Sicher ist ab etwa 1972 mindestens von der Stahlton AG ein analoges System angewendet worden. Dabei wurden die Ankerköpfe als Kontrollanker ausgebildet und mit einer Schutzhaube, die mit PU-Schaum oder Bitumen verfüllt wurde, geschützt. Die genaue Zusammensetzung der für den Korrosionsschutz auf der freien Ankerlänge verwendeten Massen ist nicht bekannt. Zu vermuten ist, dass immer wieder andere - teils geeignete, teils problematische - Materialien verwendet worden sind.

VSL und wahrscheinlich auch Freyssinet haben solche Freispieldrahtanker nur als Einzelstücke zwecks nachträglicher Kontrollmöglichkeit der Ankerkraft ab und zu bei Verankerungen mit Vollverbundankern eingebaut.

Anmerkung: Bereits 1959 hat die VSL als Alternative zum Vollverbundanker Freispieldrahtanker, bei denen anstelle des zementösen Füllgutes die Drähte mit einem "rostschützenden Bitumen- oder Kunstharzanstrich versehen werden", angeboten. Zu hoffen ist, dass dieses hinsichtlich Dauerhaftigkeit sehr fragwürdige System primär nur für temporäre Verankerungen angewendet worden ist. In der Schweizerischen Bauzeitung, Heft 47 vom 19. November 1959, ist von Dr. R. Walther allerdings der Einsatz dieses Systemes für die permanente Verankerung der Stützmauer Eilgut Bern (SBB) beschrieben. Weitere permanente Anwendungen dieses Systems sind nicht bekannt. Es ist deshalb als Sonderlösung aus der experimentierfreudigen Anfangszeit der Ankertechnik zu betrachten.

Verbreitung und heutige Marktstellung

In den 1950er- und 1960er-Jahren sind Drahtanker als Vollverbundanker verbreitet im Kraftwerk- und Nationalstrassenbau primär als Felsanker eingebaut worden. Ab etwa 1968 (VSL) resp. 1972 (Freyssinet) haben namhafte Ankerfirmen zum Litzenverfahren gewechselt. Freispieldrahtanker sind deshalb - soweit bekannt - nur von der Stahlton AG bis etwa 1985 und allenfalls von Polensky & Zöllner (Lizenznehmer AVT Tafers) systematisch eingebaut worden.

Seit 1985 werden in der Schweiz keine Drahtanker mehr eingesetzt.

4.1.6 Litzenanker

Zugglieder

Die Zugglieder bestehen aus Bündeln von 7-drähtigen Litzen mit Durchmessern 13 mm (0.5") und 15 mm (0.6"). Bei den effektiven Querschnittsflächen der Litzen gibt es gemäss SIA 262 [SIA 2003a] je zwei Varianten:

- Litzen Ø 13 mm: $A_p = 93$ resp. 100 mm^2 , $f_{pk} = 1'860 \text{ N/mm}^2$
- Litzen Ø 15 mm: $A_p = 140$ resp. 150 mm^2 , $f_{pk} = 1'770 \text{ N/mm}^2$

Verankerung im Baugrund

Die Verankerung der Litzen erfolgt in der Haftstrecke durch Verbund mit dem Füllgut, welches in der Regel auch die Verankerung im Baugrund herstellt. In den 1970er-Jahren sind teilweise auch Litzenanker in ein vorgängig injiziertes Stahlrohr (TMD, Tube à Manchette Durable) eingebaut worden (wie in **Kapitel 4.1.5** für Drahtanker beschrieben).

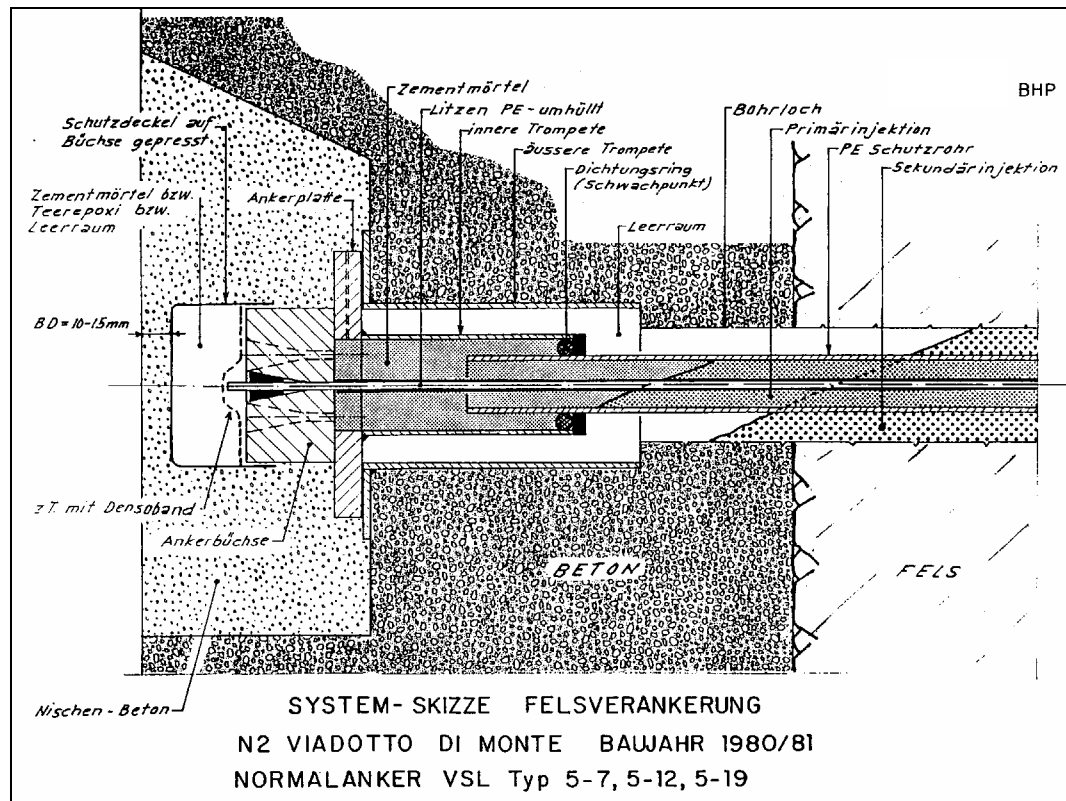


Bild 4.5 VSL Litzenanker mit "doppeltem Korrosionsschutz" um 1980 (noch ohne äussere Ankerkopfinjektion zwischen äusserer und innerer Trompete).

Kopfverankerung

Zu Beginn der Verwendung von Litzenankern wurden die Litzen, analog den Drahtankern, mit einem zentralen Keil verankert oder auf einer gewölbten Ankerbüchse einzeln gespannt und mit Keilen verankert. In der Schweiz hat sich aber rasch die flache konzentrierte Ankerbüchse durchgesetzt, in der die Litzen mit Keilen einzeln, aber jeweils alle gleichzeitig verankert werden.

Korrosionsschutz

Bis etwa 1973/77 sind Litzenanker auch auf der freien Länge mit zementösem Füllgut ausinjiziert worden. Die Litzen liegen dort in einem Sammelhüllrohr aus Blech oder PE, der eigentliche Korrosionsschutz dieser Vollverbundanker wird vom Zementstein gebildet. Ab und zu sind einzelne Anker zwecks nachträglicher Kontrollmöglichkeit der Ankerkraft auf der freien Länge mit einem plastischen Füllgut unbekannter Zusammensetzung verfüllt worden.

Etwa ab 1972 wurde die gefettete Monolithe eingeführt, also Litzen in Einzelhüllrohren aus PE, die mit Fett verfüllt sind. Auf der Verankerungslänge waren die Litzen blank. Je nach Verfahren wurde das Einzelhüllrohr entfernt und die Litze entfettet oder aber im Werk nur auf der freien Ankerlänge mit Einzelhüllrohr und Fett versehen. Der Zementstein bildete den einzigen Korrosionsschutz. Auf der freien Ankerlänge bildeten Fett, Einzelhüllrohr, der umgebende Zementstein und allenfalls zusätzlich ein Sammelhüllrohr aus PE den Korrosionsschutz.

Vereinzelt ab 1974, praktisch systematisch ab 1978 wurde die Verankerungslänge mit einem Kunststoffwellrohr versehen, das beim Übergang zur freien Ankerlänge mit einem Schrumpfschlauch mit dem glatten Sammelhüllrohr auf der freien Länge verbunden wurde. Dieses System wurde als "doppelter Korrosionsschutz" bezeichnet, weil so der Ankerstahl theoretisch auf der ganzen Länge einen mindestens zweifachen Schutz (Zementstein und eine resp. zwei Kunststoffhüllen) erhielt. Allerdings wurde erst ab etwa 1981 / 82 mit der Einführung des an der Ankerplatte angeschweissten inneren Ankerstutzens, der über das glatte Hüllrohr gestülpt und abgedichtet wurde, und der damit möglichen inneren und später auch der äusseren Ankerkopfinjektion (ab ca. 1983) die Idee des doppelten Korrosionsschutzes auch im wichtigen Übergangsbereich hinter der Ankerplatte umgesetzt.

1985 wurde das erfolgreiche System Litzenanker mit doppeltem Korrosionsschutz bei einer umfangreichen Verankerung in streustromgefährdetem Gebiet (Stützmauer Bahnhof Stadelhofen, Zürich) ernsthaft hinterfragt und mit elektrischen Widerstandsmessungen an eingebauten Ankern auf Dichtigkeit geprüft. Dabei zeigte sich, dass dieses theoretisch sichere System in der Praxis den harten Bedingungen auf der Baustelle noch nicht standhielt. Mit konstruktiven Verbesserungen und einer sorgfältigeren Handhabung wurde schliesslich erreicht, dass gegen 90% der Anker nach der Spannpote einen ausreichenden elektrischen Widerstand von $\geq 0.1 \text{ M}\Omega$ aufwiesen.

Um den Korrosionsschutz der Anker auch im gespannten Zustand, also auch langfristig überprüfen zu können, musste auch die Verbindung zwischen freier Ankerlänge und Ankerkopf sowie der Kontakt zwischen Ankerkopf und Bauwerk elektrisch dicht konstruiert werden. Dieser wichtige Schritt gelang erstmals 1992 bei der Verstärkung der Felssicherung beim Nordportal des Seelisbergtunnels der A2. Dabei kamen zwei Lösungen zur Ausführung: Bei der ersten Lösung wurde das glatte Hüllrohr im Werk mit Spiegelschweissung mit einem konischen Formstück aus PE verbunden, das in die Aussparung der Ankerplatte eingepasst war. Die Isolationsplatte unter der Ankerbüchse bestand aus druckfestem Cevolit und wurde durch die Ankerkraft an das Formstück aus PE gepresst. Bei dieser Lösung wurde die Ankerplatte somit im Werk vormontiert, das heisst sie funktionierte nur bei reinen Felsankern ohne Verrohrung der Bohrlöcher. Diese Konstruktion ist an rund 50 Ankern erfolgreich eingesetzt worden, wegen der Beschränkung auf unverrohrte Bohrlöcher ist sie aber später durch flexiblere Lösungen ersetzt worden. Die zweite Lösung basierte auf einer Verbindung des in die Ankerplatte eingepassten Formstückes mit dem Glatthüllrohr mittels elektrischer Schweissmuffe auf der Baustelle.

Mit diesen Prototypen war die Machbarkeit einer vollständigen elektrischen Isolation der Anker von Baugrund und Bauwerk erwiesen. Die 1995 erschienene Empfehlung SIA V 191 [SIA 1995] stellte deshalb folgerichtig diese Anforderung für alle permanenten Anker (**Bild 4.6**). Überdies verlangte sie eine erstmalige Prüfung der Ankersysteme.



Bild 4.6

Modell eines umfassend korrosionsgeschützten Ankerkopfes (Unterlagen VSL).

ASTRA und SBB haben daraufhin eine Expertengruppe Anker (EGA) gebildet, die diese Erstprüfung von Ankersystemen durchführte. Seit Sommer 1998, als drei Ankersysteme die erstmalige Prüfung bestanden hatten, liessen ASTRA und SBB nur noch erstgeprüfte Ankersysteme zur Ausführung von permanenten Verankerungen zu.

Die im Jahr 2003 in Kraft gesetzte Norm SIA 267 [SIA 2003b] übernahm die Anforderungen der Empfehlung SIA V 191 [SIA 1995]. Anstelle einer erstmaligen Prüfung verlangt sie jedoch für Ankersysteme eine technische Zulassung [EMPA 2004b].

Verbreitung und heutige Marktstellung

Zurzeit sind sieben Ankersysteme für permanente Verankerungen zugelassen, ein weiteres ist in Prüfung. Dabei handelt es sich durchwegs um Litzenanker. Dieser Umstand dokumentiert den Siegeszug der Litzenanker, die heute den Markt für permanente vorgespannte Anker unangefochten beherrschen.

4.2 Schäden in der Schweiz

4.2.1 Erfassung

Das Vorgehen zur Beschaffung der Informationen zu den Schadenfällen ist in **Kapitel 1.3.1** beschrieben.

Bereits im Rahmen des ersten Projektes [Hunkeler 1998] wurde von der Forschungsstelle eine Liste mit dokumentierten Schadenfällen an verankerten Bauwerken in der Schweiz erstellt. Diese Liste wurde während dieses Projektes laufend aktualisiert und umfasst gegenwärtig (Juni 2004) insgesamt 48 Objekte.

Wie bei den Spannsystemen wirkt sich der uneinheitliche und teilweise spärliche Informationsstand erschwerend auf die ausführliche und einheitliche Darstellung der Objekte aus. Der Umfang der Zustandsuntersuchungen bei den erfassten Objekten war sehr unterschiedlich. Die Zustandserfassung erfolgte entweder anlässlich eines festgestellten Ankerbruches oder einer von der Bauherrschaft erstmals seit Bauvollendung angeordneten Inspektion.

Der **Anhang 2** enthält die Beschreibung von 7 wichtigen, ausreichend dokumentierten Schadenfällen an Ankersystemen. Die ausgewählten Objekte stellen Fälle dar, die aus Sicht der Forschungsstelle als besonders aussagekräftig oder beispielhaft für bestimmte Schadensursachen oder Schadensmechanismen gelten können. 10 weitere Schadenfälle sind im ersten Bericht [Hunkeler 1998] beschrieben (siehe dazu die Erläuterungen im **Kapitel 1.5**). In der **Tabelle 4.1** sind diese 17 detailliert beschriebenen Schadenfälle zusammengestellt.

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

Tabelle 4.1 Übersicht über die 17 aufgearbeiteten Schadenfälle an Verankerungen in der Schweiz.

4.2.2 Übersicht über die erfassten Objekte

Die **Tabellen 4.2 bis 4.6** geben eine Übersicht über die 48 erfassten Objekte hinsichtlich des Baujahrs, der verwendeten Ankertypen, des Alters beim Schadeneintritt bzw. bei der Feststellung des Schadens, des Schadensausmasses und der getroffenen Massnahmen.

	Baujahr							
	1955 – 1959	1960 – 1964	1965 – 1969	1970 – 1974	1975 – 1979	1980 – 1984	1985 – 1989	1990 – 1995
Anzahl	1	0	6	13	13	9	2	1

Tabelle 4.2 Baujahr der erfassten Objekte. Anmerkung: Bei drei Objekten ist das Baujahr nicht bekannt.

	Verwendeter Ankertyp			
	Einstabanker	Mehrstabanker	Drahtanker	Litzenanker
Anzahl	18	3	8	22

Tabelle 4.3 Verwendete Ankertypen bei den erfassten Objekten. Anmerkung: Bei einzelnen Objekten wurden verschiedene Ankertypen eingesetzt.

	Alter bei Schadeneintritt			
	< 10 Jahre	10 – 20 Jahre	20 – 30 Jahre	> 30 Jahre
Anzahl	5	17	7	0

Tabelle 4.4 Alter der erfassten Objekte bei Schadeneintritt bzw. bei der Feststellung des Schadens.

	Schadenausmass		
	gravierende Schäden (mit Erfordernis von Ersatzmassnahmen)	vereinzelte Schäden (ohne Erfordernis von Ersatzmassnahmen)	keine Korrosions- schäden festgestellt
Anzahl	26	3	16

Tabelle 4.5 Schadenausmass am Spannstahl bei den erfassten Objekten. Anmerkung: Ein Bauwerk ist eingestürzt, bei drei weiteren bestand akute Einsturzgefahr.

Massnahme	Anzahl
Vollständiger Ersatz der Verankerung wegen Schäden	17
Teilersatz der Verankerung wegen Schäden	3
Vollständiger Ersatz der Verankerung aus Sicherheitsgründen (fehlende Überprüfbarkeit und Risiko eines plötzlichen Versagens)	4
Teilersatz bzw. Verstärkung der Verankerung aus Sicherheitsgründen (fehlende Überprüfbarkeit)	2
Instandsetzung der Verankerung	1
Verstärkung der Verankerung zur Reduktion der Verschiebungen bzw. der Kraftzunahmen (nicht wegen Korrosionsschäden)	3
Nur Kopfschutzerneuerung, Instrumentierung und Überwachungsplan	8

Tabelle 4.6 Getroffene Massnahmen bei 38 der 48 erfassten Objekte. Anmerkung: Bei 10 Objekten sind die getroffenen Massnahmen nicht bekannt.

4.2.3 Angewendete Untersuchungsmethoden

In **Tabelle 4.7** sind die Untersuchungsmethoden zusammengestellt, die - soweit bekannt - bei den 48 erfassten Objekten eingesetzt wurden. Die Tabelle ist wegen fehlenden Informationen teilweise unvollständig. Sie soll nur eine Übersicht über die tatsächlich angewendeten Untersuchungsmethoden und deren ungefähre Häufigkeit geben. Über die Zweckmässigkeit einer bestimmten Untersuchungsmethode ist im Einzelfall zu entscheiden.

Untersuchungsmethode	Vollverbund- anker (11 Objekte)	Freispiel- anker (37 Objekte)
Visuelle Inspektion des verankerten Bauwerkes	7	26
Inspektion der Ankerköpfe (je nach Fall inkl. Freispitzen)	3	25
dito inkl. Ausbau eines Ankerkopfes	4	-
Abheben der Ankerköpfe (Ermitteln der vorhandenen Ankerkraft)	1	23
Spezielle Spannproben (gemäss ASTRA-Ankerrichtlinie)	-	10
Nachrechnung der Verankerung	6	11
dito unter Berücksichtigung von Verschiebungsmessungen	1	8
Umfassende Risikobeurteilung	9	22
Endoskopie (optische Inspektion des Spannstahles hinter dem Ankerkopf)	1	4
Metallurgische Gefügeuntersuchung (fraktografische und metallografische Untersuchung)	-	20
Chemische Analyse von Korrosionsprodukten und Ablagerungen	-	20
Chemische Analyse von Wasser im Ankerbereich	-	6
Untersuchung der Korrosionsschutzmasse	-	2
Mechanische Spannstahlprüfung (Zug und Biegung)	-	11
Sondierschacht hinter Bauwerk und öffnen des Ankers	2	3
Chloridgehalt des Betons im Ankerkopfbereich	2	5
Belastungsversuch des Bauwerkes	1	-

Tabelle 4.7 Angewendete Untersuchungsmethoden bei den 48 erfassten Objekten.

4.2.4 Korrosionsschäden und Korrosionsarten

Auf Grund der Zielsetzung des Projektes wurde besonderes Gewicht auf die Art der festgestellten Korrosionserscheinungen gelegt. In **Kapitel 1.2** sind die möglichen Korrosionserscheinungen erläutert.

Bei den 48 erfassten Objekten konnten die Korrosionsarten am Ankersystem nicht immer sicher identifiziert werden. Bei einigen Objekten traten gleichzeitig mehrere unterschiedliche Korrosionsarten auf. Eine genaue Abgrenzung oder Unterscheidung der verschiedenen Korrosionsarten wurde von den Personen, die die Objekte untersucht haben, sehr unterschiedlich durchgeführt. Manchmal wurden die gemachten Beobachtungen unklar beschrieben und/oder unvollständig dokumentiert. Eine präzise Differenzierung war deshalb auf Grund der Angaben in den Untersuchungsberichten oftmals schwierig, d.h. die Korrosionsart war nicht immer eindeutig zu bestimmen.

Vollverbundanker

Nur an vier der 11 erfassten Objekte sind Korrosionsschäden an tragenden Elementen (Spannstahl und Spannverankerung bzw. Ankerkopf) festgestellt worden. Dabei handelte es sich um einen mehr oder weniger gleichmässigen bis muldenförmigen Korrosionsabtrag (anodische Auflösung) oder um wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion (**FR-05** und Mauer Nr. 46 an der N9 im Kt. Waadt, siehe dazu **VD-10**) im Bereich direkt hinter dem Ankerkopf (bis etwa 1.5 m) und am Ankerkopf selber. Weitere, für die Tragsicherheit unbedeutende Korrosionsschäden sind an Ankerplatten und an Schutzhauben beobachtet worden.

Über Schäden im hinteren Ankerbereich, insbesondere im Übergangsbereich von der ursprünglichen freien Länge zur Verankerungslänge liegen keine Informationen vor.

Freispielanker ohne "doppelten Korrosionsschutz"

Bei diesen Freispielankern der ersten Generation sind hauptsächlich Sprödbrüche an den Zuggliedern (wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion SRK) in der Regel ausgehend von örtlichen Korrosionsnarben oder Lochfrassstellen eingetreten (z.B. **VD-10**). Die Bruchstellen lagen mehrheitlich bis etwa 1.5 m hinter dem Ankerkopf, in mehreren Fällen sind jedoch auch auf der übrigen freien Länge und besonders im Übergangsbereich l_{fr} / l_v Brüche aufgetreten. Eher selten sind Brüche infolge des mehr oder weniger gleichmässigen Korrosionsabtrages hinter dem Ankerkopf oder beim Übergang l_{fr} / l_v registriert worden.

Zu beachten ist, dass die Verbreitung von Korrosionsschäden bei den erfassten Objekten sehr stark variiert. Bei einigen Objekten ist trotz systematischer oder zumindest repräsentativer Überprüfung kein einziger Schaden registriert worden, bei weiteren Objekten sind Drahtbrüche in absolut marginaler, für das Bauwerk unbedeutender Anzahl beobachtet worden (z.B. 5 Drahtbrüche an einem 32-drähtigen Anker von insgesamt 230 überprüften Ankern). Bei anderen Objekten hingegen wurden praktisch systematisch Brüche an Zuggliedern festgestellt, was zunehmend weitere Brüche erwarten liess.

Neben den Schäden an Zuggliedern sind auch bei diesen Ankern mehr oder weniger gleichmässige Korrosionsangriffe an Ankerköpfen, Ankerplatten und Schutzhauben beobachtet worden. Auch die Verbreitung dieser Schäden variierte je nach Objekt zwischen 0 und 100%.

Freispielanker mit "doppeltem Korrosionsschutz"

Nur eines der erfassten Objekte (**TI-01**) weist Anker mit so genanntem "doppeltem Korrosionsschutz" auf. Wegen der langen Bauzeit von 1979 bis 1983 ist zu vermuten, dass dies nur für einen Teil der eingebauten Anker zutrifft. Überdies entspricht der damalige "doppelte Korrosionsschutz" noch nicht dem Stand um 1985 (keine äussere Ankerkopfinjektion). Bei der Überprüfung eines Teils der 193 Litzenanker sind zwei Drahtbrüche und ein Litzenbruch registriert worden (Sprödbrüche infolge Spannungsrisskorrosion ausgehend von Muldenfrass).

Weitere Schäden an Ankern mit "doppeltem Korrosionsschutz" sind nicht bekannt.

4.2.5 Ursachen für Schäden

Vollverbundanker

Die Ursachen für die an den Vollverbundankern festgestellten Schäden sind:

- Unvollständige Verfüllung (Primär- und Sekundär- bzw. Füllinjektion) im Bereich hinter dem Ankerkopf. Während ein vollständiges und dichtes Füllgut bei vertikalen (z.B. **GR-24** und **OW-05**) und bei schräg steigenden (z.B. **SZ-06**) Ankern gut zu erreichen ist, ist bei schräg

fallenden Ankern eine vollständige Verfüllung mit Füllgut im Kopfbereich hinter der Ankerplatte nur schwierig realisierbar (**Bild 4.7**).

- Ungenügender Ankerkopfschutz: z.B. poröser, schlecht haftender Nischenbeton oder nur ein Anstrich von mangelnder Dauerhaftigkeit ohne Unterhalt / Erneuerung (**Bilder 4.8 und 4.9**).

Bei den erfassten Objekten mit Schäden spielten Chloride keine Rolle. Treten die oben beschriebenen Mängel jedoch in Bereichen mit Eintrag von tausalzhaltigem Wasser auf, potenzieren sich die Schadensfolgen (z.B. schlechter Nischenbeton im Spritzwasserbereich oder unvollständige Verfüllung hinter dem Ankerkopf bei talseitig einer Strasse stehender Stützmauer).



Bild 4.7

Freigespitzter, gut ausinjizierter Ankerkopf eines vertikalen Vollverbundankers (BBRV).



Bild 4.8

Poröser, teils heraus bröckelnder, wasserführender Nischenbeton bei zwei Vollverbundankern (NW-01).



Bild 4.9

Ungenügender Ankerkopfschutz mit gravierenden Korrosionsschäden an Litzen-Vollverbundanker mit Zentralkeilverankerung (VSL 1968).

Freispielanker ohne "doppelten Korrosionsschutz"

Die Hauptursache für die eingetretenen Schäden am Spannstahl ist die fehlende Abdichtung zwischen dem Ankerkopf und dem Hüllrohr des Ankers. Bei schräg fallenden Anker ist die Primärinjektion aus zementösem Füllgut zuoberst immer unvollständig. Weil überdies das plastische Füllgut der dort aufgeschnittenen Monolitzen oft Lücken aufweist oder weg geflossen ist, findet das hinter einer Mauer fast immer vorhandene Sickerwasser – das zudem noch häufig chloridhaltig ist – den Weg zum Spannstahl (**Bild 4.10 bis 4.12**).



Bild 4.10

Hinter dem Ankerkopf gebrochener Litzenanker infolge fehlender Abdichtung und chloridhaltigem Sickerwasser (VSL 1979, VD-10).



a)



b)



c)

Bild 4.11

a) Felssicherung Dangeren über der A2 bei der Überprüfung der Kontrollanker, b) Kontrollanker vor dem Öffnen und c) infolge Korrosion gerissene Litzen (freie Länge ungenügend mit Fett geschützt).



Bild 4.12 Wasserlauf aus dem Ankerkopfbereich bzw. aus der Ankerhaube und defekte Kunststoffdeckel in der Ankerhaube (**OW-01**).

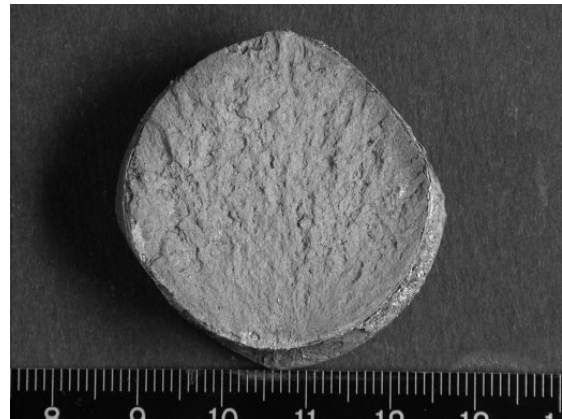
Für einzelne Objekte wesentliche weitere Ursachen waren:

- Unvollständige Primäinjektion im obersten Bereich der Verankerungslänge, sei dies durch nicht erfolgte oder ungenügende Bohrlochkonsolidierung (**Bilder 4.13**) oder durch Anordnung der Verankerungslänge in zwei verschiedenen Baugrundarten (**SG-01**, [Matt 1989a]). Bei diesem in der Schweiz spektakulärsten Anker-Schadenfall mit Einsturz des Bauwerkes ist das zementöse Füllgut in einer auf dem Molassefels liegenden Kiessandschicht weggeflossen. Der vorderste Teil der Verankerungslänge lag somit ohne jeglichen Schutz im feuchten Baugrund (**Bilder 4.14 bis 4.16**). Weitere Erläuterungen dazu sind in [Matt 1989a] zu finden.
- Vorschädigung des Spannstahles durch unsachgemässe Lagerhaltung. Ankerstangen sind in den Jahren ca. 1978 bis 1982 vor dem Einbau ungeschützt im Freien, zum Teil sogar neben Strassen mit Tausalzeinsatz gelagert worden und wiesen deshalb beim Einbau bereits Korrosionsnarben auf, was verbreitet innert kurzer Zeit zu Sprödbrüchen infolge Spannungsrisskorrosion führte (**SG-08**, vermutlich auch **ZG-01**, **Bild 4.17**).
- Ungenügender Korrosionsschutz oder Einsatz von ungeeigneten Korrosionsschutzmassen auf der freien Ankerlänge. In den 1960er-Jahren sind zum Teil die Spanndrähte lediglich mit einem Bitumen- oder Kunstharzanstrich versehen und die Stangen von Einstabankern mit Isolierband umwickelt worden (**ZH-03**). Die verwendeten Korrosionsschutzmassen wiesen teilweise eine ungenügende Korrosionsschutzwirkung auf (Kontrollanker in **FR-05**, **VD-10**).
- Einsatz von Stählen für Stabanker, die besonders empfindlich sind auf Spannungsrisskorrosion (**ZH-04** und **ZG-01**).

- Einsatz von "unausgegorenen" Sonderlösungen mit materialtechnischen und konstruktiven Mängeln. Dies betrifft insbesondere drei Objekte mit Mehrstabankern (**VS-05**, **OW-04** und **ZH-22**).
- Konstruktionsmängel am Ankersystem. An der Stützwand Portal Süd des Borntunnels sind z.B. an den nicht schweisbaren Muffen der Stabanker zwischen l_{fr} und l_v Blechhülsen für das Hüllrohr angeschweisst worden, was zu Längsrissen an den Muffen führte (**SO-01**, **Bild 4.18**).

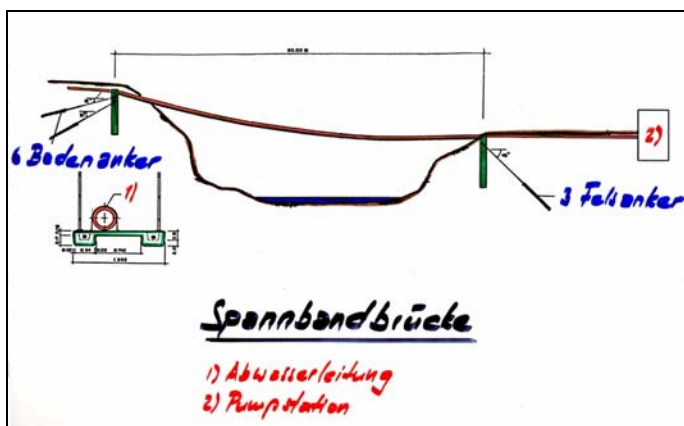


a)

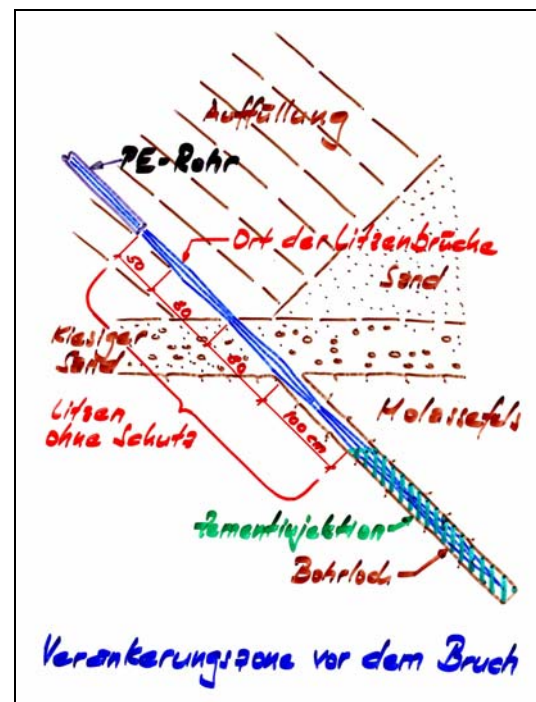


b)

Bild 4.13 a) Weggesprengter Mörtelvorsatz infolge Sprödbbruch eines Stabankers im vordersten Bereich der Verankerungslänge, b) Bruchfläche des Ankers. Sprödbbruch ausgehend von Korrosionsnarbe (unten) (**SG-10**).



a)



b)

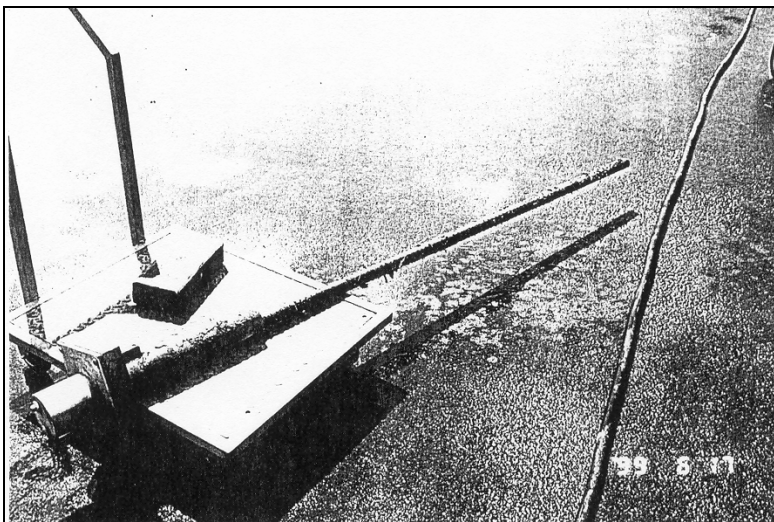
Bild 4.14 Konstruktion a) der Spannbandbrücke zur Überführung einer Werkleitung in Dietfurt und b) der Permanentanker (Baujahr: 1976) (**SG-01**). Unterlagen von P. Matt.

**Bild 4.15**

Brücke in Dietfurt nach dem Einsturz 1981 wegen des Versagens der drei permanenten Felsanker (SG-01). Bild P. Matt.

**Bild 4.16**

Korrosion an den Spanndrähten der Permanentanker der Brücke in Dietfurt (SG-01). Unterlagen von P. Matt.

**Bild 4.17**

Gebrochener Einstabanker aus spannungsrisssensiblen Stahl 1080/1230. Sprödbrechung vermutlich infolge Vorschädigung (ZG-01).

Abb. 4: Ausgebauter gebrochener Ankerstab (Länge ca. 2.25m)

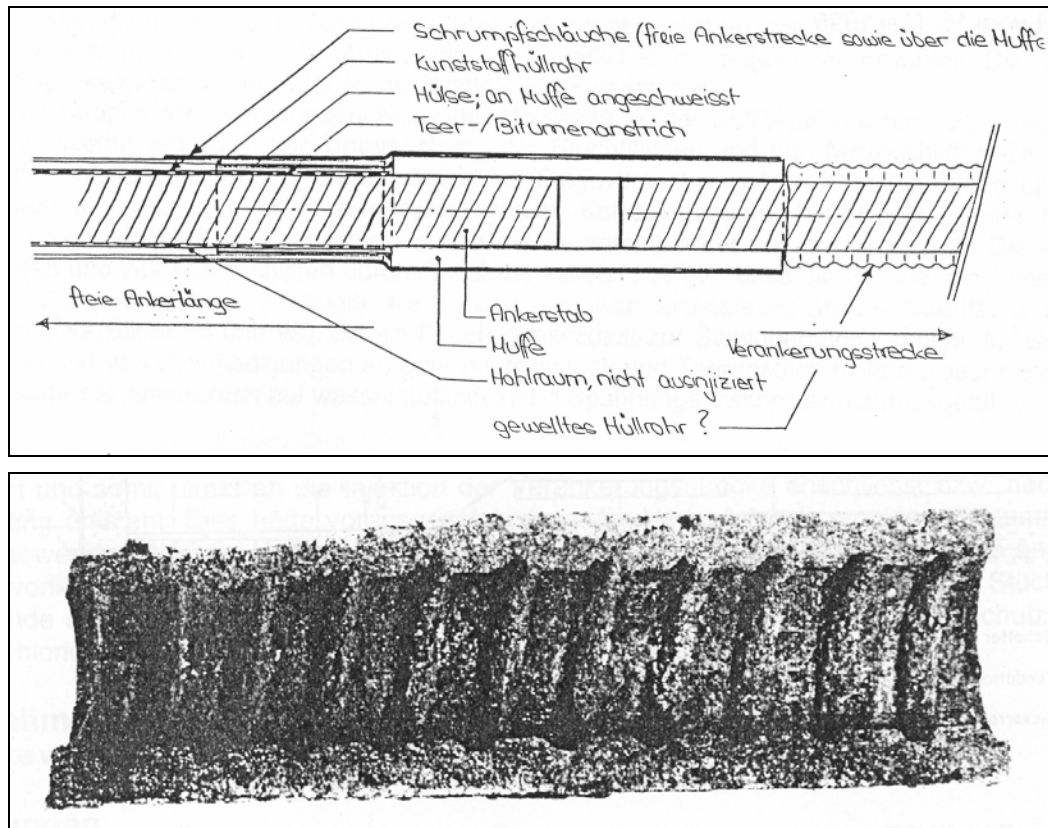


Bild 4.18 Verbindungsmuffe (schematisch) und Ansicht der Rissfläche der längs gebrochenen Verbindungsmuffe, (SO-01).

Freispielanker mit "doppelten Korrosionsschutz"

Wie im **Kap. 4.2.4** erwähnt, liegen über Schäden an diesem Ankertyp keine aussagekräftigen Informationen vor. Diese Ankergeneration ist allerdings erst maximal 20 Jahre alt. Zukünftige Schäden an Ankern mit dem so genannten "doppelten Korrosionsschutz" können aber aus folgenden Gründen nicht ausgeschlossen werden:

- Wegen der fehlenden elektrischen Isolation zwischen Anker und Baugrund bzw. Tragwerk können Schäden infolge Streustrombeeinflussung oder Makroelementbildung zwischen Anker und Tragwerksbewehrung auftreten.
- Durch die Versuche bei der Entwicklung des umfassenden Korrosionsschutzes (elektrische Isolation des Ankers von Bauwerk und Baugrund) ist erwiesen, dass die theoretisch wasserdichte Verbindung der Kunststoffhüllrohre im Bereich I_{fr} / I_v in der Praxis oft Schäden aufweist und dass die wasserdichte Abdichtung zwischen Ankerkopf und Hüllrohr oft nicht gelungen ist.

Abgesehen von speziell zu untersuchenden Fällen mit starker Streustrombelastung dürften Schäden an Ankern mit "doppeltem Korrosionsschutz" nicht systematisch, sondern auf einzelne Anker beschränkt auftreten (Ausführungsmängel).

4.3 Schäden im Ausland

Die nachfolgenden Ausführungen über Korrosionsschäden an Ankersystemen im Ausland basieren auf einer breiten Literaturrecherche und persönlichen Kontakten. Sie sollen dazu dienen, aus den gemachten Erfahrungen und Erkenntnissen die richtigen Lehren zu ziehen und Unterschiede zur Situation in der Schweiz zu erkennen. Es muss betont werden, dass in einzelnen Fällen die Folgerungen aus den Schadenfällen sich nicht mit der Meinung der Autoren dieses Berichts decken.

Insgesamt ist die Anzahl der Publikation über Schadenfälle an Ankern im Vergleich zu jener über Schäden an Spannsystemen sehr gering. Eine der ersten systematischen Darstellungen über Schäden an Temporär- und Permanentankern wurde von Nürnberger [Nürnberger 1980] verfasst. Die weltweiten Erfahrungen und Erkenntnisse bis 1986 wurden in einem Sachstandsbericht der FIP (Fédération internationale de la précontrainte) publiziert [FIP 1986]. An einer Konferenz 1997 – es war seit 1974 erst die zweite internationale Tagung über Anker – wurden verschiedene neuere Entwicklungen bei der Planung und Konstruktion sowie die Dauerhaftigkeit von Ankern diskutiert [ICE 1997]. Dabei wurde auch auf die europäische Vornorm (prEN 1537:1996) eingegangen [Merrifield 1997]. Diese ist mittlerweile als EN verfügbar [CEN 1999].

Nürnberger beschrieb in seiner Publikation insgesamt 9 Fälle mit Schäden an Ankern [Nürnberger 1980]. Bei den temporären Ankern wurden die Spannstähle oft ungeschützt verlegt. Von den Schäden waren insbesondere Anker der Rückverankerung von Spundwänden oder Stützmauern betroffen. Bei den permanenten Ankern traten die Schäden in drei Fällen bereits innerhalb eines Jahres, bei zwei Fällen erst nach mehreren Jahren auf. Bei den meisten Brüchen wurde ein stark ausgeprägter Lochfrass an der Spannstahloberfläche beobachtet. Die Brüche wurden zumeist durch Risskorrosion ausgelöst. In sechs Fällen waren Spannglieder aus Drahtbündeln aus vergütetem Stahl und in drei Fällen warm gewalzte Stabstähle verwendet worden. Bei allen Schäden waren die Anker mehr oder weniger dem Zutritt von aggressiven Wässern ausgesetzt oder befanden sich in Böden mit aggressiven Bestandteilen. Für eine solche Beanspruchung war der Korrosionsschutz der Anker (z.B. Bitumenbinde, Bitumen- oder Lackanstrich, örtlich kein Füllgut) nicht ausreichend.

In den Berichten des deutschen Bundesministers für Verkehr [BV 1982, 1990, 1994] ist nur ein einziger Schadenfall erläutert. Dabei handelt es sich nicht um einen Korrosionsschaden [BV 1990, Kennziffer S21 01 01]. Probleme bereiteten vielmehr grössere Gebirgsbewegungen.

An temporären Ankern (gemäss DIN 4125, Teil 1: Gebrauchsdauer <2 Jahre) mit Stahlzuggliedern aus St 1080/1230 traten bei mehreren Anwendungen in Deutschland verzögerte Stahlbrüche auf [Schardin 1989]. Die Schadenfälle (total ca. 20 bis im Jahre 1989) waren vorwiegend an Ankern beobachtet worden, die im Übergangsbereich Ankerkopf/freie Länge keinen normgemässen Korrosionsschutz aufwiesen. Auch die weniger häufigen Brüche auf der freien Länge waren auf einen mangelhaften Korrosionsschutz zurückzuführen. Die Ursache der Brüche war wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion, die bereits durch die Anwesenheit von Wasser und damit leichter Korrosion ausgelöst werden kann. Beim Spannstahl St 835/1030 traten keine derartigen Schäden auf. Die Schäden führten zu einer verbesserten Abdichtung im Bereich Ankerkopf/freie Länge.

In einer neueren Publikation werden die Schadensmöglichkeiten bei Ankern und die heutigen Schutzmassnahmen vorgestellt [Wichter 2000]. In einem Bericht sind die Ergebnisse der hauptsächlich visuellen Kontrollen von 15 deutschen Objekten (Alter: 15 bis 40 Jahre) zusammengefasst [Wichter 2003]. Abhebeversuche oder andere Untersuchungen konnten nur in Einzelfällen durchgeführt werden. Die Mehrzahl dieser Objekte befindet sich in Süddeutschland. Insgesamt sind gemäss dieser Publikation in Deutschland etwa 500'000 Daueranker installiert. Für Daueranker ist eine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik erforderlich. Bei mehreren Objekten wiesen die Anker eine ungenügende Dauerhaftigkeit auf. Oft wurden bei einem Objekt mehrere der nachfolgend aufgeführten Mängel gefunden (**Bild 4.19**):

- geringfügige Korrosionsschäden im Bereich des Ankerkopfes (Grundplatte, Abdeckhaube, Spannstahl)
- ungenügende oder fehlende Befestigung der Abdeckhauben
- korrodierte Befestigungselemente der Abdeckhauben
- ungenügende Beständigkeit der Korrosionsschutzbeschichtung
- Wasseraustritt aus den Ankerköpfen
- unterschiedliche Qualität der Korrosionsschutzpaste in den Abdeckhauben (teilweise wegen der Sonneneinstrahlung ausgeflossen)
- nicht vollständig verfüllte Abdeckhauben
- starker Bewuchs der Ankernischen
- Ausfall der fest installierten Kraftmessdosen.

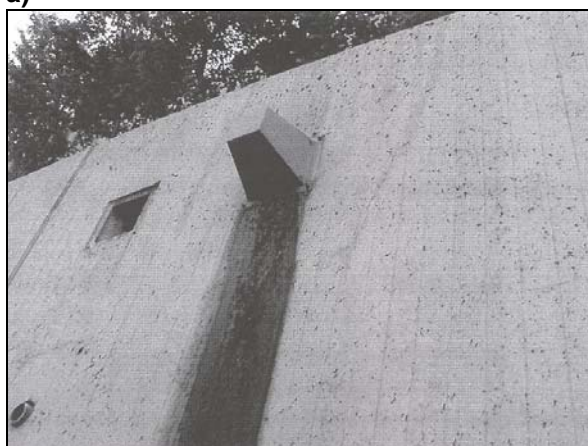
Nur in einem Fall kam es bisher zu einem grösseren Schaden wegen Korrosion. Dieser trat nur wenige Monate nach dem Einbau 1988 ein und wurde auf die Beschädigung des Korrosionsschutzes während des Einbaus der Einstabanker (Stump Duplex Ø 32 mm) zurückgeführt. Bei einem Objekt gab es wegen Setzungen und Rutschungen Probleme mit zu hohen Ankerkräften. Bei einem anderen Objekt wies beim Abhebeversuch keiner der geprüften Anker die ursprüngliche Vorspannkraft mehr auf. Die Ursache hierfür konnte noch nicht ermittelt werden.



a)



b)



c)

Bild 4.19

Zustand von Ankerköpfen von Dauerankern verschiedener deutscher Objekte; a) Bewuchs, b) aus der Ankerhaube ausgelaufene Korrosionsschutzpaste und c) Wasseraustritt aus einem Ankerkopf [Wichter 2003].

In einem abschliessenden Kapitel werden in [Wichter 2003] die Beobachtungen aus der Praxis zusammengefasst und betont, dass die Schäden an Ankern praktisch immer durch Fehler vor und beim Einbau verursacht werden, wofür insbesondere das Fehlen von fachkundigem Baustellenpersonal verantwortlich gemacht wird. Auch Beschädigungen bereits fertig gestellter Verankerungen (z.B. durch Fahrzeuge) werden nicht allzu selten beobachtet. Beschädigungen im Bereich Ankerkopf/Übergang zur freien Ankerlänge führen gemäss [Wichter 2003] praktisch

immer zum Bruch des Ankers durch Spannungsrisskorrosion, wobei bei Einstabankern die Gefahr besteht, dass diese herausgeschleudert werden. Auch die Muffen an Koppelstellen von Einstabankern werden als mögliche Schwachstellen betrachtet (zu geringe Zahl von eingeschaubten Gewindegängen, ungenügender Korrosionsschutz).

Nach Wichter [Wichter 2003] haben sich verzinkte Bauteile besser bewährt als solche mit Beschichtungen. Ebenso scheitert nach seinen Untersuchungen die Verfüllung der Ankerhauben mit flüssiger Korrosionsschutzpaste in der Praxis oft an ungenügend dimensionierten und falsch positionierten Einfüllmöglichkeiten.

Nach Meiniger sind die in Deutschland bekannt gewordenen Schäden an Permanentankern nicht auf systembedingte Mängel, sondern durch unsachgemässe Ausführung oder durch Fehleinschätzung des Gesamtsystems verursacht worden [Meiniger 2002]. Neben einigen allgemeinen Hinweisen zu Schwachstellen beim Korrosionsschutz (Ankerkopfbereich, Muffen bzw. Verschraubungen bei Stabankern) werden einige Schadenfälle kurz angesprochen. Bei verschiedenen Fällen trat (wasserstoffinduzierte) Spannungsrisskorrosion auf. Meiniger beschreibt den derzeitigen Stand auf Ankerbaustellen so:

Gegenüber dem Zustand in den 70-iger und 80-iger Jahren, als Daueranker in der Regel von Firmen eingebaut wurden, die gleichzeitig Inhaber der Zulassungen waren und bei denen der Ankereinbau von Personal durchgeführt und überwacht wurde, die zum Teil an der Entwicklung der Dauerankersysteme beteiligt waren, vollzog sich am Beginn der 90-iger Jahre bis heute ein gravierender Wandel: Aus Wirtschaftlichkeitsgründen werden heute Daueranker gerade bei kleineren Baustellen zunehmend von kleineren Subunternehmern eingebaut, die die vorgefertigten Daueranker bei Ankerlieferanten (gleichzeitig Zulassungsinhaber) beziehen.

Meiniger ist überzeugt, dass unter diesen Umständen die Qualitätssicherung auf der Baustelle, insbesondere für die den Korrosionsschutz betreffenden Arbeiten, zunehmend an Bedeutung gewinnt. Er erachtet den in der Schweiz eingeschlagenen Weg, die Wirksamkeit des Korrosionsschutzes durch elektrische Widerstandsmessung am eingebauten Anker abschliessend zu überprüfen, als wirksame „erzieherische“ Massnahme [Meiniger 2002].

Die Arbeitsgruppe „Ground Anchorages“ der FIP erfasste 1986 weltweit 35 Schadenfälle, wovon 24 Permanentanker betrafen [FIP 1986]. Die Arbeitsgruppe stellte damals fest, dass Schadenfälle nur selten gut dokumentiert sind und den Ursachen nachgegangen wird. Nur bei einem der erfassten Schäden führte die Korrosion zum Kollaps des Bauwerkes (Brücke in Dietfurt, St. Gallen, **SG-01**). Bei den in [FIP 1986] beschriebenen Fällen waren

- die Schäden bei 19 Fällen innerhalb von 18 Monaten eingetreten.
- als Materialien Stäbe (9 Fälle), Drähte (19 Fälle) und Litzen (8 Fälle) verwendet worden.
- der Bruch im Ankerkopfbereich (<1m) (19 Fälle), in der freien Länge (21 Fälle) und im Verankerungsbereich (2 Fälle) eingetreten.
- die Schäden in den überwiegenden Fällen durch unzureichenden, fehlenden oder zu wenig dauerhaften Korrosionsschutz verursacht worden. In einigen Fällen kamen weitere ungünstige Faktoren hinzu (z.B. Überspannen der Anker, unzweckmässig lange Lagerung auf der Baustelle).

In einer südafrikanischen Untersuchung wurden 1990 acht Bauwerke mit Ankern (Baujahr 1975 bis 1989) untersucht [Parry 1997]. Nur bei einem einzelnen Objekt wurden grössere Schäden festgestellt. Alle Anker wiesen starke Korrosionsangriffe an den Ankerplatten auf und viele Spanndrähte waren direkt hinter der Ankerplatte durchgerostet. Die Ursache hierfür waren mehrere grobe Fehler beim Korrosionsschutz und eine nicht vorschriftsgemässe Abdeckung des Ankerkopfes.

In [Weerasinghe 1997] werden die Ergebnisse der eingehenden Überprüfung von Ankern (12 7-drähtige Litzen Ø 15.2 mm) einer in den frühen 1970er-Jahren erbauten Anlegestelle für Unter-

seeboote in Plymouth/UK vorgestellt (siehe dazu auch den Diskussionsteil in [ICE 1997]). Von den ursprünglich 331 Anker waren zum Zeitpunkt der Überprüfung noch etwa 222 vorhanden. Nach 22 Betriebsjahren wurden leichter bis mittlerer flächiger Korrosionsabtrag an der Vorderseite der Anker und ungleichmässige Anrostungen mit einer Tiefe bis maximal 1 bis 2 mm an den Litzen direkt hinter dem Ankerkopf gefunden. Zudem waren zwei Drähte offenbar wegen Spannungsrisskorrosion direkt hinter dem Ankerkopf gebrochen. Weitere acht Drähte von zwei Anker waren ohne Spannung und vier Drähte brachen während der Abhebeversuche. Diese Korrosionsschäden wurden auf einen ungenügenden Korrosionsschutz im Bereich des Ankerkopfes (fehlendes Hüllrohr auf einer Länge von 5 bis 210 mm und mangelhafte Verpressung) sowie auf die Anwesenheit von Chloriden und sulfatreduzierenden Bakterien zurückgeführt. Die ausgebauten Teile der freien Ankerlänge zeigten demgegenüber keinerlei Korrosion. Der gute Zustand der Spanndrähte auf der freien Länge wurde auf den guten Korrosionsschutz zurückgeführt (PE-Hüllrohr, Fett). Die Verankerungsstrecke war – wie damals üblich – ohne speziellen Korrosionsschutz. Die gemessenen Ankerkräfte lagen deutlich unter den ursprünglichen Werten, was eher auf den Verlust an Vorspannung als auf den Einfluss der Korrosion zurückgeführt werden konnte.

Auch bei einem anderen Bauwerk führten vermutlich Chloride und sulfatreduzierende Bakterien zu Korrosion an Auftriebsankern (Stab- und Litzenanker mit doppeltem Korrosionsschutz) einer Unterführung in Kuwait. Die Ankerköpfe waren mit einem Epoxidharz beschichtet und der Bereich hinter dem Ankerkopf mit Fett verfüllt. Das Bauwerk konnte wegen der Invasion 1990 nicht fertig erstellt werden und wurde mit Meerwasser überflutet. Nach der etwa 18 Monate dauernden Überflutung mussten die Anker überprüft werden [Jones 1997] (siehe dazu auch den Diskussionsteil in [ICE 1997]). Zur besseren Beurteilung wurden mehrere Anker überbohrt und ausgebaut. Bei den Stabankern (\varnothing 32 und 36 mm) mit zementösem Füllgut traten Korrosionsangriffe nur im Bereich des Ankerkopfes auf und waren weniger als 0.25 mm tief. Demgegenüber wurden bei den Litzenankern viele Korrosionsangriffe an den Litzen bis zu einer Länge von 1.5 m (Bereich des Ankerkopfes und der freien Ankerlänge) gefunden. Die Korrosionsangriffe traten verstärkt bei den Kontaktstellen zwischen den einzelnen Drähten und zwischen den Drähten und dem PE-Hüllrohr auf. Die Angriffe waren i.a. 0.15 mm, maximal bis 0.25 mm tief. Beim Öffnen der ausgebohrten Litzenanker wurde ein schwacher H_2S -Geruch festgestellt, was bei den Stabankern nicht der Fall war. Daraus wurde geschlossen, dass das bei den Litzenankern verwendete Fett der Nährboden für sulfatreduzierende Bakterien bildete. Die anschließenden mechanischen Prüfungen zeigten, dass über etwa 0.5 mm tiefe Kerben in den Litzen, die durch die Keile im Ankerkopf verursacht wurden, zu Spannungsrisskorrosion führen können. Dies zeigte sich jedoch nur im langsamen Zugversuch und bei Standzeitversuchen, nicht jedoch im Zugversuch mit den üblichen Belastungsgeschwindigkeiten.

Die Konstruktion und das Teilversagen einer 21 Jahre alten verankerten Hafenanlage (Baujahr 1968/69) werden in [Barley 2004] erläutert. Das Versagen der Anker wurde neben dem Korrosionsangriff im Ankerkopfbereich evtl. auch durch Überbelastung und durch den Ausfall anderer Komponenten der Konstruktion verursacht.

In den USA gibt es gemäss [Breen 2004] keine Berichte über Schäden an Boden- und Felsankern.

Gemäss [Cornut 2004] kam es bei den Felsankern, die beim Zardézas-Damm in Algerien installiert waren, zu gravierenden Korrosionsschäden. Diese Schwergewichtsmauer wurde in den Jahren 1927 bis 1945 gebaut. Wegen der Verschlammung des Stausees ergab sich die Notwendigkeit, die Mauer um 35% bzw. 12.70 m zu erhöhen. Zur Gewährleistung der Stabilität wurden in den Jahren 1970 bis 1974 insgesamt 111 Felsanker von 60 bis 90 m Länge und einer Bruchkraft $P_{tk} = 8'650$ kN eingebaut. In der freien Ankerlänge war der Spannstahl durch ein wasserhaltiges Reaktionsharz aus Acrylamid geschützt sowie im Bereich der Spannverankerung durch Fett und Schutzhauben [Lafitte 1978].

Anlässlich einer Kontrolle im Jahr 1978 wurde festgestellt, dass es bei 14 Ankern zu einem totalen oder partiellen Versagen der Litzen durch Korrosion gekommen war. Bei weiteren Kontrollen in den Jahren 1984 bis 1988 war nur noch 57 bis 80% der ursprünglich installierten Spannkraft vorhanden. In der Folge musste der Wasserspiegel gesenkt und die Verschlammung des Stausees durch Ausbaggern eliminiert werden. Gemäss den vorliegenden Unterlagen wurden jedoch zur Kompensation keine neuen Anker eingebaut. Zu den Ursachen der Korrosion steht in [Chadi 1994] Folgendes (Zitat):

« Les ruptures des câbles se sont produites pratiquement toutes au voisinage immédiat des têtes d'ancrage.

Les raisons probables de ces ruptures sont les suivantes:

- La résine injectée entre les câbles et l'enveloppe du forage n'a pas fait de polymérisation et est restée liquide; dès lors, l'hydrogène sulfureux (H_2S) qui se dégage des eaux du sous-sol a pu remonter le long des tirants et s'accumuler sous les têtes d'ancrage.
- La zone située immédiatement sous les têtes aurait été dégarnie de la résine sur une longueur de quelques centimètres par l'intrusion de H_2S vraisemblablement.
- Les torons sous tension exposés à H_2S ont été rapidement attaqués par la rouille. »

Inwieweit diese Begründungen den Tatsachen entsprechen, kann nicht beurteilt werden. Immerhin sind die Brüche in den bekannterweise kritischen Bereichen unterhalb der Spannverankerungen aufgetreten. Die festgestellten Hohlräume wurden mit einem Reaktionsharz verfüllt.

4.4 Erkenntnisse und Folgerungen

4.4.1 Einleitung

In den folgenden Abschnitten sollen die Erkenntnisse aus den in- und ausländischen Schäden zusammenfassend dargestellt werden.

Zunächst kann festgehalten werden, dass sich der Einsatz von vorgespannten Ankern insgesamt gut bewährt hat. Weltweit ist nur eine sehr geringe Anzahl von verankerten Bauwerken eingestürzt. Die wichtigsten Ursachen für Einstürze waren:

- ungenügender Korrosionsschutz
- Eintrag von evtl. schadstoffhaltigem Wasser
- spannungsrissskorrosionsempfindlicher Spannstahl

Bei verschiedenen Verankerungen sind erhebliche Korrosionsschäden am Ankersystem aufgetreten, ohne dass dies zu einem katastrophalen Versagen geführt hätte. Meist wurden diese rechtzeitig erkannt und konnten mit mehr oder weniger grossem Aufwand behoben werden. In den meisten Fällen wurde dies durch Ersatzanker erreicht.

Die Erfahrungen mit Ankern im In- und Ausland führten in der Schweiz zu einer stetigen Verbesserung der Ankersysteme (**Kapitel 4.1**). Über Jahre hinweg sind die Ingenieure und Bauherren laufend über neue Erkenntnisse und Entwicklungen informiert und vertraut gemacht worden [SIA 1978, 1989a, von Matt 1987, 1989, 1994, 1997, 1998, 2002, Hunkeler 1987, 1988, 1998, Steiger 1987, Matt 1989a, Kuhn 1991, TFB 1998, 1999, 2005]. Die Erfahrungen beim Bau des Bahnhofs Stadelhofen in Zürich, wo wegen der Gefährdung durch Streuströme erstmals elektrisch isolierte Permanentanker eingesetzt wurden, waren ebenfalls von grosser Bedeutung [Hunkeler 1987].

Der SIA hat mit seiner 1989 durchgeführten Tagung zum Thema Anker und Spannkabel [SIA 1989a] wesentlich zu einer weiteren Sensibilisierung der Fachleute und damit zu einem verstärkten Qualitätsbewusstsein beigetragen. Da sich aber die dringend nötige Überarbeitung der

Ankernorm 1977 des SIA [SIA 1977] verzögerte, hat das Amt für Strassenbau (ASB, heute ASTRA) die neuen Erkenntnisse in den Ankerrichtlinien 1993 [ASTRA 1993] umgesetzt. Diese Richtlinien waren dann die massgebende Grundlage für die Erarbeitung der Empfehlung SIA V 191 „Vorgespannte Boden- und Felsanker“ von 1995 [SIA 1995]. Diese Empfehlung ermöglichte eine Vereinfachung der ASTRA-Richtlinie [ASTRA 1999] und ging schliesslich praktisch unverändert in die heute gültige Normengeneration des SIA ein [SIA 2003b].

Über die Schadenhäufigkeit bei Anker in der Schweiz gibt es nach den Kenntnissen der Forschungsstelle keine Untersuchungen.

4.4.2 Schwachstellen und Korrosionsarten bei früheren Ankersystemen

Erkenntnisse über Schäden liegen hauptsächlich für frühere Ankersysteme vor. Als frühere Ankersysteme sind alle in der Schweiz eingebauten vorgespannten Anker gemeint, die noch keinen umfassenden Korrosionsschutz gemäss Empfehlung SIA V 191 [SIA 1995] aufweisen.

Vollverbundanker

Vollverbundanker, die während ihrer Nutzungsdauer nie höher als ihre ursprüngliche Vorspannkraft beansprucht werden, sind auf ihrer "freien" Länge durch das äussere und innere rissfreie zementöse Füllgut recht gut geschützt. Ihre Schwachstellen liegen beim Beginn der Verankerungslänge, wo das Füllgut wegen der Krafteinleitung zwangsläufig Risse aufweist, sowie im Ankerkopfbereich, wo die Sekundärinjektion Hohlstellen aufweisen kann (Absetzmass). Überdies kann der Ankerkopf bei einem ungeeigneten Nischenbeton (mangelhafter Verbund, Schwindrisse, hohe Porosität) gefährdet sein (**Bild 4.20**).

Werden Vollverbundanker während der Nutzungsdauer höher beansprucht als ihre ursprüngliche Vorspannkraft, sind sie auf ihrer ganzen "freien" Länge stark gefährdet. Denn hier bilden sich Risse im Füllgut verbunden mit einer Erhöhung der Stahlspannung. Zudem bietet das zu Beginn verwendete Blechhüllrohr keinen langfristigen Schutz gegen Korrosion. Besser geschützt sind Vollverbundanker, die auf der "freien" Länge ein PE-Hüllrohr aufweisen.

Über Schäden an Vollverbundankern liegen sehr wenige Informationen vor, denn der Bruch eines Ankers ist nicht erkennbar (solange ein Bauwerk nicht versagt) und die Anker sind nicht überprüfbar. Einzig im Kopfbereich ist eine bedingt aussagekräftige Überprüfung möglich (Beispiel: Steinschlaggalerie Axenstrasse, **SZ-06**).

Interessant ist der Umstand, dass bisher bei Vollverbundankern nur in Ausnahmefällen Sprödbrüche infolge Spannungsrisskorrosion festgestellt wurden (**FR-05** und Mauer Nr. 46 an der N9 im Kt. Waadt, siehe dazu **VD-10**). Wegen der geringen Anzahl von Informationen über Schäden an Vollverbundankern darf daraus noch nicht der Schluss gezogen werden, dass bei Vollverbundankern Spannungsrisskorrosion nicht auftritt. Immerhin scheint doch das Risiko von Sprödbrüchen bei Vollverbundankern eher gering zu sein. Dies kann für die Einschätzung der Versagensart eines verankerten Bauwerkes von erheblicher Bedeutung sein.

Die Beurteilung eines mit Vollverbundankern gesicherten Bauwerkes ist sehr anspruchsvoll. Sind die Anker für die Tragsicherheit erforderlich, muss meist mangels Überprüfbarkeit ein teilweiser oder vollständiger Ersatz angeordnet werden. Nur in speziellen Fällen kann der Verzicht auf einen prophylaktischen Ersatz verantwortet werden (Beispiel: A8, Überführung Kernstrasse Sarnen (**OW-05**), wo mit einer Kopfspektion und einer Belastungsprobe der Brücke die Funktionstüchtigkeit der Verankerung nachgewiesen werden konnte).

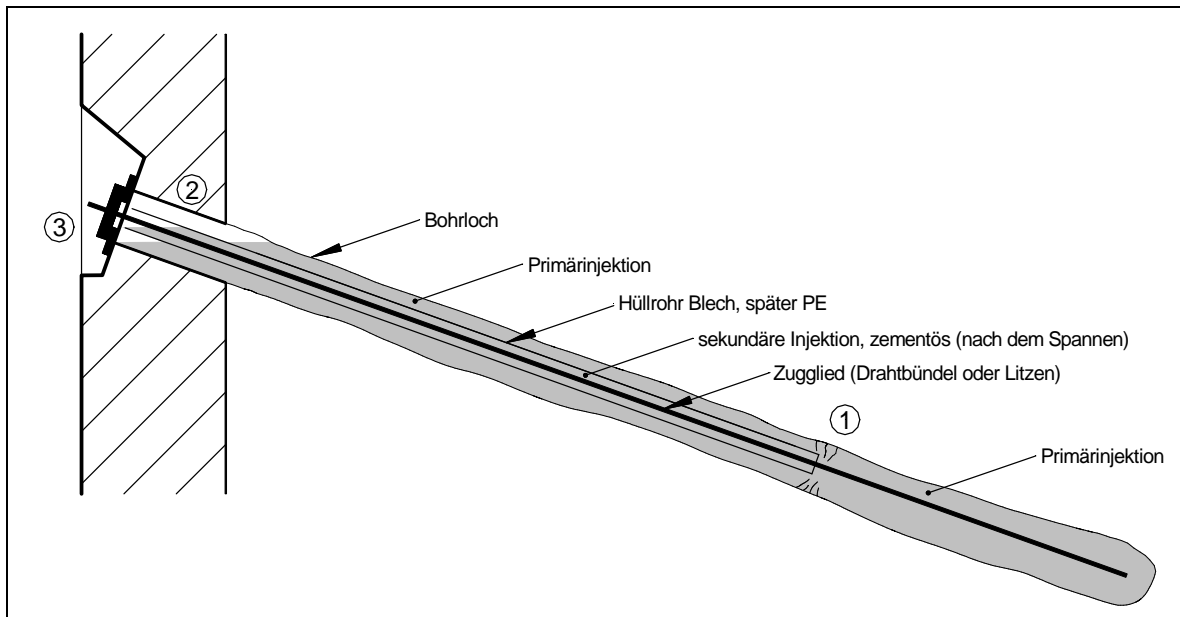


Bild 4.20 Vollverbundanker mit Schwachstellen, wo Wasser zum Spannstahl vordringen kann.

- ① Risse im zementösen Füllgut (Krafteinleitung)
- ② Unvollständige Primär- und Sekundärinjektion im Kopfbereich
- ③ Poröser, gerissener und/oder schlecht haftender Nischenbeton
- ① - ② Bei Anker mit nachträglicher Kraftzunahme können auch Risse im Bereich der ursprünglichen freien Länge auftreten, was bei Hüllrohren aus Blech zu Schäden führen kann.

Freispielanker ohne "doppelten Korrosionsschutz"

Diese Anker weisen auf der Verankerungslänge noch kein Kunststoffwellrohr auf und sind zwischen Ankerplatte und Hüllrohr nicht abgedichtet (kein innerer Ankerstutzen und keine innere und äussere Kopfinjektion). Die Schwachstellen liegen auch bei diesen Anker im Krafteinleitungsbereich beim Beginn der Verankerungslänge (Risse im Füllgut) sowie im Kopfbereich (unvollständige Verfüllung hinter der Ankerplatte, Wegfliessens des plastischen Füllguts, ungenügender resp. nicht erneuerter äusserer Ankerkopfschutz) (**Bild 4.21**).

Auf der eigentlichen freien Länge sind bei Draht- und Litzenankern nur in Einzelfällen Schäden eingetreten. Dies gilt im Besonderen für Litzenanker seit der Einführung der Monolithe.

Bei Stabankern hingegen, die bis etwa 1978 zwischen Kunststoffhüllrohr und dem mit Isolierband, später mit Schrumpfschlauch geschützten Stab einen nicht verfüllten und oben nicht abgedichteten, also feuchten Hohlraum aufwiesen, besteht eine starke Gefährdung am unteren Ende der freien Länge sowie generell auf der ganzen freien Länge (Fehlstellen beim Isolierband, Stösse der Schrumpfschläuche). Die etwa 1978 bis 1982 eingebauten Stabanker mit fettverfülltem PE-Schlauch sind auf der freien Länge theoretisch besser geschützt. Weil der PE-Schlauch sehr verletzlich war und oben im Betriebszustand nicht abgedichtet wurde, kann von oben oder an Leckstellen Wasser Zutritt zum Stahl finden. Darum ist auch bei diesem System die freie Ankerlänge als gefährdet zu betrachten. Bei Stabankern wurde überdies häufig zwischen freier Länge und Verankerungslänge eine Kupplung angeordnet. Auch diese ist als Schwachstelle zu betrachten, weil der Korrosionsschutz im Kupplungsbereich besonders verletzlich ist.

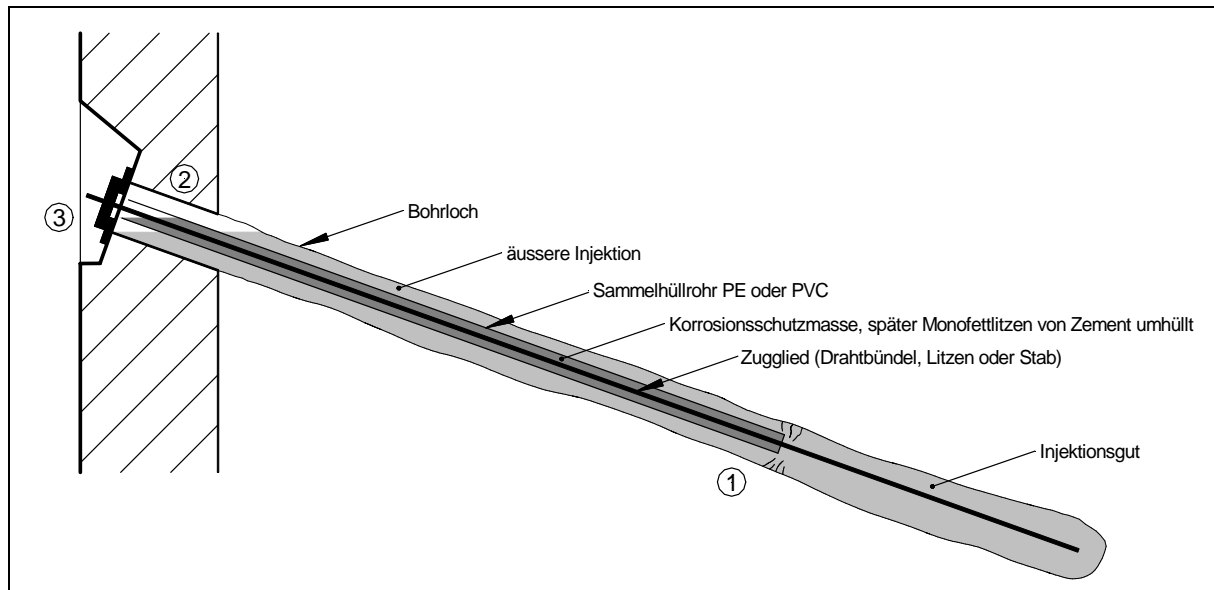


Bild 4.21 Freispielanker ohne "doppelten Korrosionsschutz" (bis etwa 1981/83) mit Schwachstellen, wo Wasser zum Spannstahl vordringen kann.

- ① Risse im zementösen Füllgut (Krafteinleitung).
- ② Unvollständige äussere Verfüllung im Kopfbereich, unvollständige innere Injektion oder weggeflossenes plastisches Füllgut (Korrosionsschutzmasse).
- ③ Fehlende Schutzhaube, poröser, gerissener und/oder schlecht haftender Nischenbeton.

Die zahlreichen bei dieser Ankergeneration eingetretenen Schäden am Spannstahl sind überwiegend Sprödbrüche infolge wasserstoffinduzierter Spannungsrisskorrosion ausgehend von Korrosionsnarben oder Lochfrassstellen (**Bild 4.22**). Eher selten sind Brüche infolge von mehr oder weniger gleichmässigen Korrosionsangriffen (anodische Auflösung) registriert worden. Weil in dieser Zeit sehr viele verschiedene Ankersysteme mit immer wieder wechselnden Korrosionsschutzmassnahmen und -materialien eingebaut wurden, sind auch mehrere Schadenfälle auf materialtechnische und konstruktive Mängel zurückzuführen, die meist auch zu Sprödbrüchen führten. Zu beachten ist, dass Sprödbrüche auf einem Spannungsniveau eintreten können, das weit unter der ursprünglichen Zugfestigkeit, nämlich im Bereich der Gebrauchsspannung liegt. Die Brüche treten oft spontan, ohne nennenswerte Spannungsänderung auf.

Es ist somit festzustellen, dass der Wechsel von Vollverbundankern zu den ersten Freispielankern bezüglich Dauerhaftigkeit und Risiko generell eher ein Rückschritt war. Dieser negativen Einschätzung ist jedoch einschränkend anzufügen, dass sie nicht für alle Verankerungen aus dieser Zeit zutrifft. Neben Verankerungen mit verbreiteten Schäden bestehen auch mehrere Verankerungen, deren systematische Überprüfung keine oder nur sehr geringfügige Schäden ergab.

Hinweis zu Vorschädigungen: Ankerstangen, besonders jene mit hoher Festigkeit (St 1080 / 1230 N/mm²), sind besonders empfindlich auf Wasserstoffversprödung. Diese spielt sich oft sehr rasch ab, wenn Wasser Zutritt zu Korrosionsnarben findet. Weil Ankerstangen vor dem Einsatz nicht selten bei Ankerfirmen eine gewisse Zeit im Freien gelagert wurden, ist bei Stabankern immer auch damit zu rechnen, dass sie beim Einbau bereits Vorschädigungen aufwiesen. Bei solchen Ankern können Sprödbrüche an jeder beliebigen Stelle auftreten. Dieses Problem ist erst um 1982 erkannt worden. Auch Drähte und Litzen sind empfindlich auf Wasserstoffversprödung. Weil Drähte und Litzen gerollt angeliefert werden, ist anzunehmen, dass sie in der Regel im Werk wettergeschützt gelagert wurden. Jedenfalls ist über Sprödbrüche von Draht- oder Litzenankern infolge von Vorschädigungen nichts bekannt.



Bild 4.22

Sprödbrüche von Drähten eines 1978 eingebauten Litzenankers. Der Bruch erfolgte 1990 auf einem Spannungsniveau von $0.50 f_{tk}$ bei einer Spannungsänderung von weniger als $0.01 f_{tk}$ (Abheben des Ankerkopfes). Am linken Draht fand vorgängig Korrosion statt. Am rechten Draht ging der Bruch von einem Querriss aus (Spannungsrissskorrosion).

Anker mit "doppeltem Korrosionsschutz"

Mit der Einführung des Kunststoffwellrohres auf der Verankerungslänge wurde der Schutz der Zugglieder im Kräfteinleitungsbereich entscheidend verbessert. Gleichzeitig sind bei den Stab- und Litzenankern - Drahtanker haben diese Entwicklung nur noch ansatzweise mitgemacht - wesentliche konstruktive Verbesserungen im Kopfbereich vorgenommen worden (innerer Ankerstutzen mit Abdichtung zum Hüllrohr, innere und äussere Ankerkopfinjektion, systematische Anordnung von Schutzhauben) (**Bild 4.23**).

Bei den Litzenankern verblieb allerdings die verletzliche Verbindung zwischen Well- und Glattrohr als Schwachstelle, die zu einzelnen Schäden infolge eines mehr oder weniger gleichmässigen Korrosionsabtrages geführt hat. Bei Stabankern mit durchgehendem, vorinjiziertem Ripprohr müssen nur noch die Stossstellen der Ripprohre als potenzielle Schwachstellen betrachtet werden. Konkrete Schäden sind den Autoren dieses Berichts allerdings nicht bekannt.

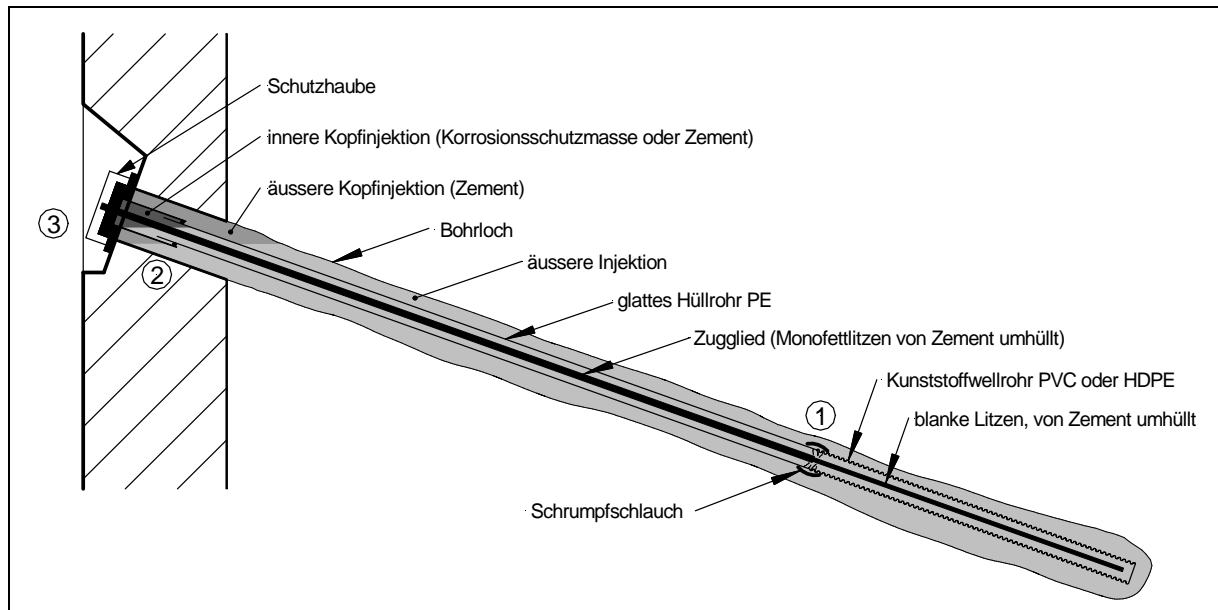


Bild 4.23 Freispielanker mit "doppeltem Korrosionsschutz" (ab ca. 1983 bis 1995) mit Schwachstellen, wo in Einzelfällen (Ausführungsmängel) Wasser zum Spannstahl vordringen kann.

- ① Verbindung Hüllrohre I_{fr} - I_v häufig verletzt beim Transport, Einbau oder Spannen. An dieser Stelle weist das innere Füllgut überdies Risse auf (Krafteinleitung).
- ② Abdichtung innerer Ankerstützen - Hüllrohr nicht immer erfolgreich ausgeführt. Äussere Kopfinjektion nicht immer vollständig gelungen: plastisches Füllgut (Korrosionsschutzmasse) kann wegfließen.
- ③ Poröser, gerissener und/oder schlecht haftender Nischenbeton.

4.4.3 Plastisches Füllgut

Die Einführung der Freispielanker bedingte mit Ausnahme einzelner im **Kapitel 4.1.4** beschriebener Systeme für Einstabanker den Einsatz von plastischem Füllgut als Korrosionsschutzmasse im Bereich der freien Ankerlänge. Bei Kontroll- und Messankern war dies in der Regel auch im Ankerkopfbereich der Fall.

Freie Ankerlänge

Mangels Normen mit technischen Anforderungen haben die Ankerfirmen im Lauf der Entwicklung verschiedenste auf dem Markt erhältliche Produkte eingesetzt; massgebend für die Auswahl war wohl in der Regel der Preis und die Verarbeitbarkeit. Mehrheitlich sind Bitumen, Teer, epoxy sowie Fette und Wachse verwendet worden. Erst mit der erstmaligen Prüfung der Ankersysteme gemäss Empfehlung SIA V 191 [SIA 1995] sind von der Expertengruppe Anker (EGA) im Leitfaden für die Prüfung der Ankersysteme technische Anforderungen und Prüfungen für plastische Füllgüter formuliert worden. Bei älteren Verankerungen sind in der Regel die Zusammensetzung und die Eigenschaften des plastischen Füllguts (Korrosionsschutzmasse) nicht bekannt. Aufgrund von Untersuchungen von Schadenfällen ist aktenkundig, dass neben gut geeigneten Produkten teilweise auch ungeeignete oder gar für den Spannstahl schädliche Produkte eingesetzt worden sind.

Ankerkopf

Für den Schutz von nicht einbetonierten Ankerköpfen sind von den Ankerfirmen im Lauf der Zeit sehr verschiedene Materialien eingesetzt worden. Für die innere Ankerkopfinjektion, die erst mit der Entwicklung des so genannten doppelten Korrosionsschutzes eingeführt wurde, wurde in der Regel die gleiche Masse wie auf der freien Ankerlänge verwendet. Einzelne Firmen haben jedoch für diese nach dem Spannen ausgeführte Injektion ein anderes Produkt oder auch ein zementöses Füllgut verwendet. Letzteres ist zwar in punkto Korrosionsschutz vertretbar, für

Kontrollanker aber sehr problematisch, weil der Zementstein bei einer späteren Ankerprüfung zerstört wird und erst noch das Prüfergebnis wegen der Umlenkungs- und Reibungskräfte massiv verfälschen kann.

Beim äusseren Ankerkopfschutz ist zunächst zwischen Stab- und Litzen- bzw. Drahtankern zu unterscheiden. Bis zur Einführung des so genannten doppelten Korrosionsschutzes um 1985 wurden Stabankerköpfe selten mit einer Schutzhaube versehen, sondern nur mit einem Teeranstrich oder einem Schrumpfschlauch "geschützt". Je nach Exposition hatte der Anstrich eine Nutzungsdauer von etwa 5 bis 10 Jahren, er ist in der Praxis aber kaum je erneuert worden. Ab etwa 1985 wurden die Stabankerköpfe konsequent mit einer Schutzhaube geschützt, die mit einem Fett oder Wachs verfüllt wurde (häufig Densojet oder Visojet).

Draht- und Litzenankerköpfe sind schon ab etwa 1970 mit Schutzhauben versehen worden, wenn sie nicht einbetoniert wurden. Zu Beginn wurden die Hauben mit einem Produkt auf Teer- oder Bitumenbasis verfüllt. Weil Ankerköpfe grossen Temperaturschwankungen unterliegen (Sonneneinstrahlung), sind die schwarzen Schutzmassen oft aus den Injektionsöffnungen oder durch die Haubenabdichtung heraus gequollen und haben das Bauwerk verunstaltet. Deshalb ging man gegen Ende der 1970er-Jahre dazu über, die Hauben mit PU-Schaum auszuschaäumen. Der Schaum hat sich jedoch mit Kondenswasser voll gesogen, versprödete nach einigen Jahren und wurde mürbe. Als langfristiger Korrosionsschutz hat er sich nicht bewährt. Ab etwa 1980/82 wurden die Schutzhauben von Draht- und Litzenankern mit Fetten oder Wachsen verfüllt (oft Denso- oder Nontribos-Produkte). Diese Produkte quollen zwar teilweise auch aus den Schutzhauben, verunstalteten das Bauwerk wegen ihrer helleren Farbe aber weniger als Teer oder Bitumen. Zu Beginn der 1990er-Jahre ist die vollständige Verfüllung der Schutzhauben in der Schweiz immer stärker hinterfragt worden. Wegen den grossen Temperaturschwankungen bilden sich nämlich mit der Zeit Hohlräume, die sich mit Kondenswasser füllen. Überdies müssen bei Ankerkontrollen grosse Mengen von Korrosionsschutzmassen entsorgt und wieder eingefüllt werden. Deshalb werden heute bei nicht einbetonierten Ankerköpfen die Schutzhauben nicht mehr verfüllt. Der Ankerkopf wird mit einer geeigneten Schutzmasse bestrichen und die Haube mit einem kleinen Loch gegen Kondenswasseransammlung entlüftet.

4.4.4 Ankerprüfungen

Bedeutung von Ankerprüfungen

Die Tragfähigkeit von Ankern lässt sich nur mit Prüfungen an eingebauten Ankern ermitteln. Zwar haben zahlreiche Fachleute mit theoretischen und empirischen Ansätzen versucht, die Tragfähigkeit von Ankern zu berechnen. Diese Bemühungen sind jedoch alle gescheitert. Deshalb kommt den Ankerprüfungen für die Bemessung der Anker und den Nachweis ihrer Tragfähigkeit eine herausragende Bedeutung zu.

Ankerprüfungen vor 1977

In der Anfangszeit der Ankertechnik war die Prüfung der Anker Sache der Ankerfirmen. Nur in Einzelfällen haben sich besonders engagierte Projektverfasser oder Bauleiter der Prüfung der Anker angenommen. Da noch keine Norm existierte, waren weder Prüfkräfte, Prüfdauer und Prüfkriterien noch die Messgenauigkeit für die Kräfte und Verschiebungen geregelt. Dank des Umstandes, dass bei vorgespannten Ankern bei jedem Anker die Spannvorrichtung montiert werden musste, hatte sich immerhin die Praxis herausgebildet, dass jeder einzelne Anker irgendwie geprüft wurde. Meist hat sich die Prüfung auf ein kurzes "Überspannen" der Anker beschränkt. Die Prüfkraft betrug je nach Fall und Firma etwa 110 bis 130% der Festsetzkraft. Kam der Anker dabei nicht ins "Gleiten", galt seine Tragfähigkeit als erwiesen. Die Beurteilung der Ankertragfähigkeit war somit eigentlich dem einzelnen Spannmeister überlassen.

Ankerprüfungen gemäss Norm SIA 191 (1977)

Im Jahr 1977 ist in der Schweiz die erste Ankernorm erschienen [SIA 1997]. Sie regelte die Ankerprüfungen und führte vier Prüfkriterien ein. Diese Prüfkriterien waren allerdings für eine korrekte Beurteilung des Tragverhaltens der Anker aus heutiger Sicht ungenügend oder gar falsch: Die Bedingung 1 regelte die zulässige Verschiebungszunahme auf der Prüfkraft in Prozent der freien Ankerlänge! Ein 30 m langer Anker durfte somit dreimal stärker kriechen als ein 10 m langer Anker. Die Bedingung 2 regelte das Neigungsverhältnis zwischen der Entlastungs- und der Wiederbelastungsgerade. Diese war derart vage formuliert, dass sie ein schon deutlich über seine Grenzkraft belasteter Anker noch spielend erfüllte. Die Bedingung 3 für die wirksame freie Ankerlänge konnte mit einer nicht eingegrenzten Reibungskraft fast immer leicht eingehalten werden. Die Bedingung 4 für die bleibende Verschiebung blieb mangels präziser Regelung praktisch generell unbeachtet.

Weil die Norm von 1977 für permanente Anker hohe Prüfkraft (140% der Festsetzkraft) und eine minimale Beobachtungszeit von 5 Minuten forderte und erstaunlicherweise für den Erd- druck generell einen Lastfaktor von 1.3 auf Gebrauchsniveau einführte, bewirkte sie trotz der ungenügenden Prüfkriterien, dass die grosse Mehrheit der nach ihr bemessenen und geprüften permanenten Verankerungen aus heutiger Sicht eine angemessene Tragsicherheit aufweist. Über die Tragsicherheit der einzelnen so geprüften Anker ist hingegen keine sichere Aussage möglich. Weist ein Anker auffällige Kraftverluste auf, kann deshalb nicht sicher beurteilt werden, ob er kriecht oder Korrosionsschäden aufweist. Ein wesentliches Verdienst dieser Norm ist, dass sie endlich die sehr erwünschte Vereinheitlichung der Begriffe und der Baupraxis brachte.

Ankerprüfungen gemäss Empfehlung SIA V 191 (1995) und Norm SIA 267 (2003)

In der im Jahr 1995 erschienenen Empfehlung SIA V 191 [SIA 1995] sind die Mängel der Norm von 1977 [SIA 1977] konsequent eliminiert worden. Insbesondere führte sie echte Kriechkriterien ein, was eine klare Aussage über die Tragfähigkeit jedes einzelnen Ankers erlaubte. Überdies forderte sie für permanente Anker die zusätzliche Prüfung des Korrosionsschutzes mit der elektrischen Widerstandsmessung. Die Norm SIA 267 (2003) [SIA 2003b] übernahm die Regelung der Ankerprüfungen der Empfehlung SIA V 191 unverändert.

Zu beachten ist, dass verschiedene permanente Verankerungen in der Schweiz schon vor Erscheinen der Empfehlung SIA V 191 [SIA 1995] nicht mehr gemäss der Norm von 1977 [SIA 1977], sondern mit echten Kriechkriterien geprüft worden sind. Die Mängel der Norm von 1977 sind nämlich von einzelnen Firmen und Projektverfassern schon in den 1980er-Jahren erkannt worden. Sie wendeten deshalb die DIN 4125 (Teil 2) [DIN 1976] an, die schon 1976 echte Kriechkriterien eingeführt hatte. Als die dringend nötige Revision der Norm SIA 191 (1977) sich immer weiter verzögerte, hat das Bundesamt für Strassen (ASTRA, damals ASB) die Anker- richtlinien 1993 [ASTRA 1993] herausgegeben, die die Empfehlung SIA V 191 weitgehend vor- wegnahm und auch bereits die elektrische Widerstandsmessung zur Prüfung des Korrosions- schutzes - allerdings erst am nicht gespannten Anker - einführte.

4.4.5 Überwachung von verankerten Bauwerken

Parallel mit der Entwicklung der Ankertechnik und mit dem steigenden Bewusstsein für die Bauwerkserhaltung im Allgemeinen haben sich Bedeutung, Methoden und Anwendungspraxis für die Überwachung von verankerten Bauwerken in den letzten 50 Jahren stark gewandelt.

Eine direkte Überwachung der Anker(kräfte) wurde erst mit der Einführung der Freispielanker (je nach System zwischen 1968 und 1977) überhaupt möglich. Aber auch eine indirekte Über- wachung von Verankerungen beschränkte sich bis etwa 1975 im besten Fall auf die Anordnung einiger geodätischer Messpunkte. Folgemessungen fanden - wenn überhaupt - nur sporadisch statt. Ihre Auswertung bestand in der Regel in unübersichtlichen Tabellen ohne konkrete Aus- sagekraft.

Gegen Ende der 1970er-Jahre wurde von einzelnen Fachleuten die Wichtigkeit der Überwachung von permanent verankerten Bauwerken erkannt. Gleichzeitig wurden die technischen Möglichkeiten für ihre Überwachung markant verbessert:

- Es wurden hydraulische, mechanische und elektrische Kraftmessdosen entwickelt, die zum Teil eine hohe Messgenauigkeit und Langzeitstabilität aufwiesen (Im Gegensatz zu den ersten hydraulischen Manometern, die anstelle von Ankerkraftänderungen eher Temperaturschwankungen gemessen haben!).
- Es wurden zunächst mechanische, später auch elektrische Extensometer entwickelt, mit denen erstmals auch differenzielle Verschiebungen im Baugrund erfasst werden konnten.
- 1975 wurden hochpräzise, in Amerika entwickelte Inklinometer in der Schweiz eingeführt, welche eine kontinuierliche Erfassung der Baugrundverschiebungen ermöglichten (durchgehendes Verschiebungsprofil).

Bis gegen Ende der 1980er-Jahre wurden diese wertvollen technischen Überwachungsmöglichkeiten jedoch nur in Ausnahmefällen von besonders interessierten Fachleuten eingesetzt, obwohl schon die Norm SIA 191 von 1977 [SIA 1977] für permanente Verankerungen "Verschiebungsmessungen am Bauwerk und Dauerkontrollen der Anker" forderte. Erst mit der Einführung des Überwachungsplanes mit der Normengeneration von 1989 (Norm SIA 160 [SIA 1989c] und Norm 162 [SIA 1989c]), mit den ASB-Ankerrichtlinien 1993 [ASTRA 1993] und schliesslich mit Empfehlung SIA V 191 [SIA 1995], die für alle verankerten Bauwerke eine Überwachung forderten, wurde die Anordnung von Überwachungseinrichtungen (Mess- und Kontrollanker, Inklinometer und/oder Extensometer und geodätische Messpunkte) bei verankerten Bauwerken zum Stand der Technik. Die ASB-Ankerrichtlinien 1993 forderten auch erstmals, dass Kraftmessdosen ersetzbar sein müssen, was bei verschiedenen Systemen Konstruktionsänderungen erforderte. Der Einsatz von elektrischen Überwachungseinrichtungen (Kraftmessdosen und Extensometer) ermöglicht überdies eine Fernablesung der Daten über Messkabel und sogar eine automatische Datenerfassung und -übermittlung ins Büro. Kombiniert mit Meldewerten und einer Alarmanlage kann dies zur Überwachung heikler Bauzustände wertvoll sein.

Parallel zu dieser Entwicklung hat sich auch die Bedeutung der Überwachung von verankerten Bauwerken entscheidend gewandelt. Zu Beginn wurden Überwachungsmassnahmen primär mit dem Ziel angeordnet, die langfristige Tragfähigkeit der Anker zu überwachen bzw. nachzuweisen. Mit den Erkenntnissen über das langfristige Tragverhalten von Ankern (Kriechgesetz) und ihrer Umsetzung bei der Ankerprüfung [ASTRA 1993, SIA 1995] ist dieses Überwachungsziel praktisch bedeutungslos geworden. Es kann nur noch in Ausnahmefällen, zum Beispiel bei sulfathaltigem Bergwasser, das den Zementstein angreift, von Interesse sein.

Bei mit echten Kriechkriterien geprüften Verankerungen besteht das Überwachungsziel vielmehr in der frühzeitigen Erfassung von Korrosionsschäden und - besonders bei Rutschhang- und Felssicherungen - in der Beurteilung, ob die eingesetzten Ankerkräfte ausreichen (Beobachtungsmethode). Mit der Einführung des umfassenden Korrosionsschutzes, dessen Wirksamkeit mit der elektrischen Widerstandsmessung I überprüft werden kann, steht überdies ein zusätzliches Überwachungsmittel zur Verfügung.

Ein nach den aktuellen Normen erstelltes verankertes Bauwerk, das an repräsentativen Stellen mit geeigneten Überwachungseinrichtungen ausgestattet ist, erfordert demzufolge einen viel geringeren Überwachungsaufwand als ein älteres verankertes Bauwerk.

4.4.6 Gefährdung von heute in der Schweiz zugelassenen Ankersystemen

Mit der Entwicklung des umfassenden Korrosionsschutzes, dessen Wirksamkeit an jedem fertig gespannten Anker mit der elektrischen Widerstandsmessung I überprüft wird, sind alle im **Kapitel 4.4.2** beschriebenen Schwachstellen überprüfbar behoben worden. Gleichzeitig wird durch die elektrische Isolation der Anker von Baugrund und Bauwerk die Gefährdung der Anker durch Streuströme oder Makroelementbildung zwischen Ankerstahl und Tragwerksbewehrung verhindert. Die im Anker eingebauten Materialien werden bei der Zulassung auf ihre Eignung und gegenseitige Verträglichkeit überprüft. Ihre Qualität wird durch Eigen- und Fremdüberwachung sichergestellt. Durch den Überwachungs- und Unterhaltsplan wird die periodische Inspektion der Ankerköpfe und die gegebenenfalls nötige Erneuerung des äusseren Ankerkopfschutzes gewährleistet.

Wenn die Anker bei der Abnahme die normgemässen Anforderungen, insbesondere jene an den Korrosionsschutz, erfüllen, sind nur noch folgende Gefährdungen denkbar:

- Vorschädigungen des Spannstahles durch unsachgemässe Lagerhaltung. Dieser Gefährdung müssen die Ankerfirmen und ihre Fremdüberwachung die nötige Beachtung schenken.
- Eindringen von saurem Regenwasser in die Monolitzen auf der Baustelle in der Zeit zwischen dem Ankereinbau und dem Anbringen des definitiven Ankerkopfschutzes (innere und äussere Ankerkopfinjektion, äusserer Ankerkopfschutz inkl. Schutzhaube). Dieser Gefährdung, die zu Spannungsrisskorrosion am Spannstahl führen kann, ist durch die Ankerfirmen und die Bauleitung durch einen konsequenten Schutz der Litzen in jeder Bauphase noch vermehrt zu begegnen. Zu beachten ist, dass im Anker eingeschlossenes Wasser durch die elektrische Widerstandsmessung nicht erkannt wird.
- Schädigung der Kunststoffumhüllung durch besonders aggressive Chemikalien im Baugrund. Nach heutigem Kenntnisstand ist eine solche Schädigung nur in Ausnahmefällen, z.B. in der Umgebung von Sondermülldeponien möglich.

4.5 Überprüfung von verankerten Bauwerken und Massnahmen zur Instandsetzung

4.5.1 Überprüfung bestehender Verankerungen

Zur Beurteilung der Tragsicherheit und der Funktionstüchtigkeit und Intaktheit von bestehenden Verankerungen sind in der Regel die Ermittlung der vorhandenen Ankerkraft und die Durchführung einer speziellen Spannprobe erforderlich. Die Möglichkeiten und das zweckmässige Vorgehen bei der Prüfung von bestehenden Verankerungen sind sehr stark von den technischen Gegebenheiten abhängig. Die ASTRA-Richtlinie 1999 "Boden- und Felsanker" [ASTRA 1999] enthält dazu konkrete und detaillierte Angaben.

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.

Generell lässt sich sagen, dass bei Vollverbundankern in der Regel keine aussagekräftige Prüfung möglich ist, bei Freispielankern aus den 1970er- und 1980er-Jahren umfangreiche Prüfungen erforderlich sind, bei modernen, umfassend korrosionsgeschützten Ankern hingegen sogar auf Prüfungen verzichtet werden kann, wenn die Überwachungseinrichtungen ausreichend konzipiert sind (**Kapitel 4.4.5**).

In die Überprüfung von Verankerungen sind überdies immer auch weitere mögliche Gefährdungsbilder einzubeziehen wie z.B. die Problematik des höher steigenden Permafrostbereichs bei Seilbahnen im Hochgebirge, sekundäre Schäden wegen der Alkali-Aggregat-Reaktion des Betons (**Bild 4.24**) oder seit der Erstellung erfolgte Nutzungsänderungen oder bauliche Eingriffe.

Weiter ist zu beachten, dass im Falle von Spannstahlbrüchen Personen (Verkehrsteilnehmer) oder Sachen (Bahn, Bauten etc.) durch wegfliegende Ankerteile gefährdet werden können. Solche Risiken sind durch entsprechende Massnahmen am oder vor dem Ankerkopf zu eliminieren.



Bild 4.24 Risse im Beton einer Verankerung wegen der Alkali-Aggregat-Reaktion und dadurch Wassereintrag in den Ankerkopfbereich und Korrosion am Ankersystem.

4.5.2 Instandsetzung von Verankerungen

Abgesehen von der Erneuerung bzw. Verbesserung des äusseren Ankerkopfschutzes, besteht in aller Regel keine Möglichkeit zur Instandsetzung einzelner Anker. Dies gilt auch - zumindest aus Gründen der Wirtschaftlichkeit - wenn die Schäden auf den Ankerkopf und den unmittelbaren Bereich dahinter konzentriert sind.

Das einzige Objekt, bei dem rund 150 Anker im Kopfbereich instand gesetzt worden sind, muss als Spezialfall und Ausnahme von der Regel betrachtet werden (Seelisbergtunnel Norportal, **NW-01**). Diese Massnahme erwies sich nur deshalb als wirtschaftlich, weil es sich um eine reine Felssicherung handelte (Krafteinleitung direkt in den Fels und nicht über ein Tragwerk) und weil gleichzeitig eine Verstärkung vorgenommen wurde, so dass die Sicherheit im Bauzustand durch die Zusatzanker gewährleistet werden konnte.

Die Instandsetzung von bestehenden Verankerungen kann im Normalfall nur mit Ersatzmassnahmen erfolgen. Weil meist keine Reservestandorte für Ersatzanker zur Verfügung stehen, erfordern Ersatzmassnahmen in der Regel zusätzliche Betonkonstruktionen zur Platzierung von Ersatzankern oder aber einen grundlegenden Umbau des Bauwerkes (Ersatz der Anker durch Gewicht oder andere Widerstandselemente wie z.B. Bohrpfähle). Aufgrund der bisherigen Erfahrungen erweist sich die Anordnung von (umfassend korrosionsgeschützten) Ersatzankern auf zusätzlichen Betonkonstruktionen meist als die wirtschaftlichste, sicherste und am schnellsten realisierbare Lösung.

Als typisches Beispiel für einen Ankerersatz kann der Felsanschnitt der A1 am Born angeführt werden (**SO-01**). Die 56 in den Jahren 1969/1970 eingebauten BBRV-Anker wurden im Winter 1998/1999 aus Sicherheitsgründen ersetzt [Rieder 2003]. Einerseits bestanden bei diesen nicht überprüfbaren Vollverbundankern Zweifel an der Verlässlichkeit des Korrosionsschutzes und andererseits konnte für den möglichen hohen Wasserdruck nach starken Regenfällen keine genügende Tragsicherheit nachgewiesen werden.