

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 33-34

**Artikel:** Permanentanker: Korrosionsschutz und Dauerhaftigkeit: Gefährdung, Schwachstellen, Erfahrungen, Massnahmen  
**Autor:** Steiger, A. / Hagmann, A.J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76679>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 24.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Permanentanker sind infolge ihrer hohen, konzentrierten Belastung oft äusserst sicherheitsrelevante Elemente eines Bauwerkes. Ihre Anwendung ist seit 1977 in der Norm SIA 191 «Boden- und Felsanker» geregelt. Neueste Erfahrungen konnten bei der Realisierung der Bauwerke für die Zürcher S-Bahn gewonnen werden. Nachdem sich U. von Matt und R. Bressan in ihrem Artikel «Boden- und Felsanker» (Schweizer Ingenieur und Architekt 7/87) eingehend mit den Aspekten der Bemessung, Ausführung und Prüfung auseinandergesetzt haben, folgen im vorliegenden Heft zwei weitere Beiträge zum Thema Permanentanker, wobei Dauerhaftigkeit und Korrosionsschutz, insbesondere Streustromschutzmassnahmen im Vordergrund stehen.

(Red.)

## Permanentanker: Korrosionsschutz und Dauerhaftigkeit

### Gefährdung, Schwachstellen, Erfahrungen, Massnahmen

A. Steiger und A. J. Hagmann, Zürich

Die Anwendung von Permanentankern ist heute sowohl im innerstädtischen Tiefbau wie auch beim Bau und der Sicherung von Verkehrswegen weit verbreitet. Die Sicherheit dieser Bauwerke ist dabei oft unmittelbar von der Zuverlässigkeit und Dauerhaftigkeit der Permanentanker abhängig. Entwurf, Dimensionierung und Ausführung basieren in der Schweiz auf der seit 1977 gültigen Norm SIA 191 «Boden- und Felsanker». Neuere Erkenntnisse zeigen, dass zusätzliche Massnahmen und Kontrollen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Permanentankern erforderlich sind.

#### Einleitung

Permanentanker werden seit rund 30 Jahren angewendet. Anfänglich waren es wenige Spezialfirmen, welche Permanentanker zwar weltweit, – aber doch nur vereinzelt ausführten. In den 60er und 70er Jahren breitete sich die Anwendung zuerst zögernd, dann aber stark aus. Diese Entwicklung erfolgte parallel mit der Ausdehnung des Bauvolumens in den hauptsächlichlichen Anwendungsgebieten (Auftriebssicherung bei innerstädtischen Grossbauten, Rückverankerung von Bauwerken für Verkehrswege in schwierigen Geländeabschnitten, verschiedene Problemlösungen im Kraftwerksbau).

Wesentliche Erfahrungen hat die Verankerungstechnik von der Vorspanntechnik im Massivbau übernommen. Grundsätzlich eigenständige Entwicklungen sind in der Bohr- und Injektionstechnik (Kraftübertragung in den Baugrund) sowie bei Spezialtechniken (ausbaubare Anker, Anker für Einsatz in Grundwasserträgern, etc.) erfolgt.

Permanentanker kommen auch für die Zürcher S-Bahn zum Einsatz. Mehrere hundert Permanentanker dienen zur Rückverankerung der Stützmauer beim Bahnhof Stadelhofen [2] sowie zur Auftriebssicherung des unterirdischen Bahnhofes Museumstrasse und des Tunnelabschnittes unter der Limmat [5]. Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf Abklärungen, die für die Auftriebsanker der letztgenannten Bauwerke durchgeführt wurden.

#### Auftriebssicherung Bahnhof Museumstrasse

Im Bahnhof Museumstrasse liegt das Niveau der Bahngleise bis zu 9 m unter dem mittleren Grundwasserspiegel. Beim höchsten Grundwasserstand kann diese Differenz im Extremfall bis auf 12 m ansteigen. Bereits im frühen Projektstadium wurde klar, dass aus wirtschaftlichen und technischen Gründen Permanentanker für die Auftriebssicherung nicht zu vermeiden sind. Mit verschiedenen Massnahmen ist es gelungen, von der Sihl an westwärts auf Anker zu verzichten sowie im Bereich zwischen Limmat und Sihl mit dem Gewicht des Bahnhofgebäudes und der Schlitzwände den mittleren Grundwasserstand abzudecken. Die Permanentanker haben damit zur Hauptsache den Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels über dem Mittelstand aufzunehmen.

Die prinzipielle Anordnung der Auftriebsanker ist aus Bild 1 ersichtlich. Die Anker – je nach Lage der Felsoberfläche Lockergesteins- oder Felsanker – weisen eine freie Länge von 7 m bis 20 m und eine Verankerungslänge von 6 m auf. Die Gebrauchslasten betragen 500 kN bzw. 750 kN. Um Deformationen zu verhindern, werden die Anker auf die Gebrauchslast vorgespannt. Angesichts der hohen Anforderungen, die an die Bauwerke der Zürcher S-Bahn gestellt werden, wurden Einflüsse auf die Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit der Auftriebsanker sowie mögliche Verbesserungen sorgfältig untersucht.

#### Norm SIA 191 Boden- und Felsanker

Die seit 1977 gültige SIA-Norm 191 [9] bildet die Grundlage für Entwurf, Dimensionierung und Ausführung von temporären und permanenten Anker. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf Permanentanker, die sich definitionsgemäss von den temporären Anker durch eine Gebrauchszeit von mehr als 3 Jahren unterscheiden.

Die Norm unterteilt die Permanentanker in die Ankerklassen 4, 5 und 6. Die Einteilung erfolgt aufgrund der Bedeutung eines Ankerausfalles. Bei höheren Ankerklassen ist die zugelassene Ausnutzung der Ankerbruchlast und damit die Gebrauchslast reduziert. Die Ankerbruchlast ist definiert als die niedrigste Teilbruchlast, d.h. je nach Randbedingungen kann die Bruchlast des Verankerungskörpers im Boden bzw. diejenige des Stahlzuggliedes massgebend werden.

Die Norm enthält Anforderungen an den Korrosionsschutz der Permanentanker. Der Korrosionsschutz hat die Funktion von Ankerkopf, Zugglied und Verankerungsstrecke während der Betriebszeit – ohne Abminderung der Sicherheit – zu gewährleisten. Für die Verankerungsstrecke ist im Falle fehlender anderer Korrosionsschutzmassnahmen eine minimale Überdeckung mit Injektionsgut von 20 mm vorgeschrieben. In Artikel 5.5 «Korrosionsschutz» wird gefordert, dass ein technischer Beschrieb des vorgeschlagenen Korrosionsschutzsystems, der eine Abschätzung der Korrosionsschutzwirkung ermöglicht, Bestandteil der Offerte sein soll.

Die während der Erstellung vorgesehenen Kontrollen beschränken sich auf die Überprüfung der mechanischen Funktionstüchtigkeit der versetzten Anker. Diese Prüfungen müssen an sogenannten Kontrollankern periodisch wiederholt werden. Bereits bei der Erstellung ist ein späterer Ersatz ausfallender Anker, allenfalls durch äquivalente Massnahmen, vorzusehen.

#### Doppelter Korrosionsschutz

Die heute angebotenen Permanentankersysteme weisen praktisch durchwegs einen «doppelten Korrosionsschutz» auf. Dieser von den Ankerherstellern gebrauchte Begriff ist in der Norm SIA 191 nicht definiert [6]. Grundsätzlich beinhaltet das Konzept des doppelten Korrosionsschutzes den durchgehenden Schutz des Ankers mittels eines Kunststoffrohres einerseits

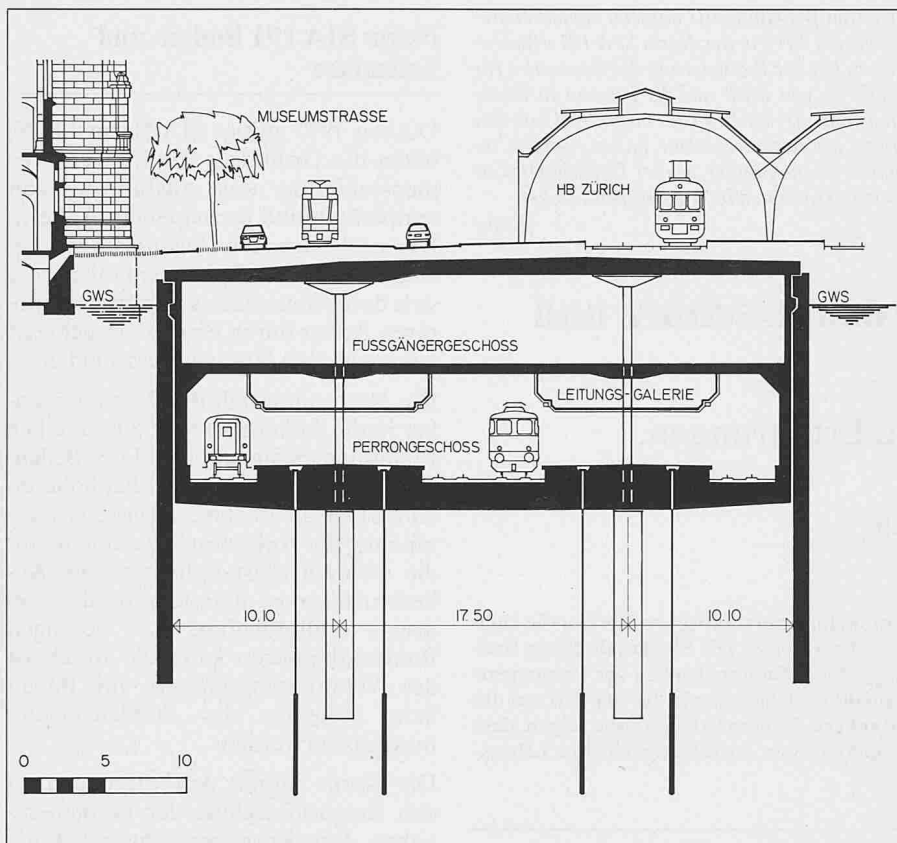


Bild 1. Querschnitt Bahnhof Museumstrasse

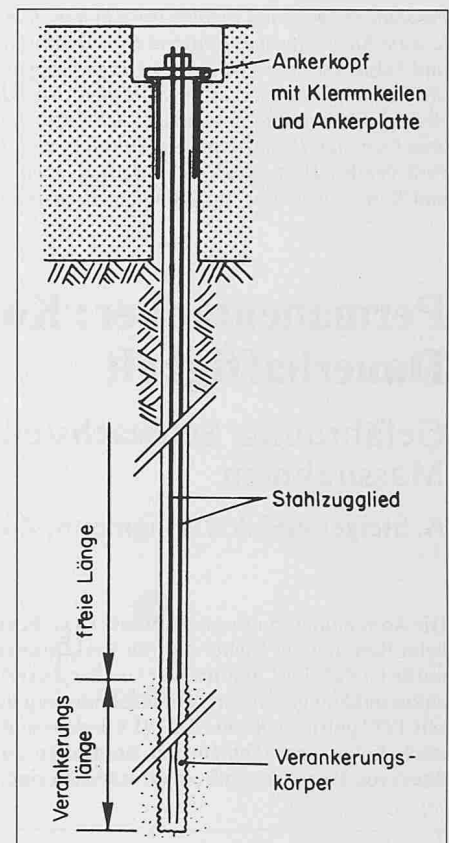


Bild 2. Die drei Tragelemente eines Ankers

sowie einer Einbettung der Stahllitzen in Zementmörtel andererseits. Auf der freien Länge kann diese Einbettung in Zementmörtel durch eine Verpressung der in Einzelhüllrohren eingelegten Litzen mit einem korrosionshemmenden Fett ersetzt werden.

Die beiden Elemente des doppelten Korrosionsschutzes haben die Entstehung eines korrosiven Klimas in der Umgebung der unter Spannung stehenden Stähle zu unterbinden. Der Zementmörtel muss eine dauernde Passivierung der Stahloberfläche sicherstellen. Das Kunststoffhüllrohr, meist bestehend aus einem gewellten Rohr im Bereich der Verankerungstrecke sowie einem glatten Rohr im Bereich der freien Ankerlänge, hat den Zutritt von Wasser aus der Umgebung zu verhindern. Es muss deshalb durchgehend wasserdicht ausgeführt sein. Die Wasserdichtigkeit darf auch während dem Versetzen und Injizieren des Ankers nicht beeinträchtigt werden. Die Folge von Undichtigkeiten im Hüllrohr wäre – insbesondere bei hohen Wasserdrücken – eine Wasserzirkulation im Innern des Ankers. Auf die daraus resultierende Beeinträchtigung des Korrosionsschutzes wird später eingegangen.

Auf die Bedeutung der Wasserdichtigkeit für die Korrosionssicherheit wurde bereits 1978 [10] aufmerksam gemacht. Eine andere Publikation [1] weist 1983 darauf hin, dass ein mit einer vollstän-

digen Kunststoffhülle versehener Anker – entsprechend dem Konzept des doppelten Korrosionsschutzes – auch gegen Streuströme geschützt ist.

### Gefährdung und Schwachstellen des Permanentankers

Ein Permanentanker besteht prinzipiell aus drei Tragelementen, nämlich dem Ankerkopfbereich, dem Stahlzugglied und dem Verankerungskörper (Bild 2).

Der Ankerkopfbereich, bestehend aus Klemmkeilen, Ankerkopf und Ankerplatte, hat die Aufgabe, die Ankerkraft auf das Bauwerk zu übertragen. Den hochbeanspruchten Klemmkeilen kommt besondere Bedeutung zu. Bei Permanentankern, die in der Regel keiner grossen Wechselbelastung ausgesetzt sind, ist die Dauerhaftigkeit des Ankerkopfbereiches wenig problematisch.

Das Stahlzugglied, zumeist aus hochfesten Spannlitzen, muss die Ankerkraft vom Verankerungskörper zum Ankerkopfbereich übertragen. Hochfeste Stähle sind bekanntlich besonders empfindlich und können in ihrer Dauerhaftigkeit durch äussere Randbedingungen stark eingeschränkt werden. In vielen Fällen ist zudem das Stahlzugglied nicht auf seiner ganzen Länge mit dem gleichen Korrosionsschutz geschützt.

Der Übergang vom Korrosionsschutzfett zum Schutz durch Injektionsmörtel ist mit einem eigentlichen Unterbruch im Korrosionsschutz verbunden. (Die heute übliche Lösung – das Einzelhüllrohr mit einem Isolierband zu verschliessen – führt dazu, dass der Ankerstahl über einige Zentimeter weder in direktem Kontakt mit Zementmörtel noch mit Korrosionsschutzfett ist.)

Der Verankerungskörper besteht aus Injektionsmörtel, der zum Teil mit dem anstehenden Bodenmaterial vermischt ist. Er muss die Ankerkraft sicher in den Boden ableiten. Die Kraftübertragung erfolgt über Schub- und Druckspannungen, die zu einem Aufreissen des Verankerungskörpers führen. Das im Verankerungskörper eingeschlossene, gewellte Hüllrohr darf nicht zu einer vorgezeichneten Scherfläche werden. Wellenhöhe und Wandstärke müssen entsprechend gewählt werden. Das Tragverhalten jedes einzelnen Verankerungskörpers wird geprüft und mit Hilfe der Resultate der Ankerversuche und ausführlichen Spannproben beurteilt. Eine massgebliche Veränderung der Tragfähigkeit des Verankerungskörpers ist allenfalls durch zementaggressive Grundwässer zu erwarten. Bei den in der Schweiz vorherrschenden Grundwasserverhältnissen kann – abgesehen von Ausnahmefällen – mit einer hohen Lebensdauer des Verankerungskörpers gerechnet werden.

Obige Übersicht zeigt, dass das Stahlzugglied die eigentliche Schwachstelle eines Permanentankers bildet. Lücken und Fehlstellen im Korrosionsschutz verursachen unter der ständigen Zugspannung Spannungsrissskorrosion und führen dadurch zu einem vorzeitigen Versagen des Ankers. Die Randbedingungen, welche eine Spannungsrissskorrosion begünstigen, sind in Bild 3 schematisch dargestellt. Vier Faktoren – Dauerspannung (Zugspannung), Wasser(zutritt), Chemie und elektrische Ströme – werden durch die Dimensionierung und die Konstruktion des Ankers besonders beeinflusst.

□ **Dauerspannung:** Wie heute allgemein bekannt ist, unterliegen die hochfesten Stähle unter Dauerspannung einem Alterungsprozess, der zu einem vorzeitigen Spröbruch führen kann [8]. Die entsprechenden Korrosionsvorgänge werden unter dem Begriff Spannungsrissskorrosion zusammengefasst. Diese Gefährdung ist in erster Linie abhängig von der Stahlqualität, der Höhe der Dauerspannung und der chemischen Eigenschaften der Umgebung des Stahlzuggliedes [11].

Die Dauerspannung wird massgeblich durch den gewählten Vorspanngrad bestimmt. Fortschreitende, abtragende Korrosion kann lokal zu einem Anstieg der Dauerspannung führen.

□ **Wasserzutritt:** Aus dem Untergrund ins Ankerinnere eintretendes Wasser setzt die Funktionstüchtigkeit der Korrosionsschutzmassnahmen herab. Durch den Anker zirkulierendes Wasser kann nämlich dazu führen, dass die Passivierung des Ankerstahls in Rissen des Verankerungsbereiches aufgehoben wird und dadurch ein lokales Makroelement entstehen kann. Ebenso kann das Korrosionsschutzfett durch Wasser unterwandert, verwässert oder sogar ausgeschwemmt werden, wobei seine korrosionshemmende Wirkung beeinträchtigt wird.

Die Gefahr eines Wasserzutrittes und insbesondere die Menge des eintretenden Wassers nimmt bei hohen Wasserdrücken stark zu. Wasseraustritte aus dem Ankerkopf wurden schon verschiedentlich bei Auftriebsankern beobachtet, wobei anzumerken ist, dass diese Anker in der Regel mit einem am Fussende offenen Hüllrohr versehen waren.

□ **Chemie:** Unmittelbar auf die Stahloberfläche gelangende chemische Verunreinigungen, insbesondere die sogenannten Halogenide (u.a. Chlorid) fördern die Spannungsrissskorrosion, können aber auch andere Korrosionsarten induzieren (Lochfrass, Spaltkorrosion).

Diese Gefährdung besteht grundsätz-

lich in aggressiven oder chemisch verseuchten Böden. Gefährliche Verunreinigungen können aber auch während dem Transport der Anker (Streusalz) oder der Ausführung (ungeeignete Injektionszusätze) auf die Stahloberfläche gelangen. Ebenso stellt die Verwendung ungeeigneter Materialien (PVC-Hüllrohre, PVC-Montagebänder, verunreinigtes Korrosionsschutzfett, etc.) eine Quelle für chemische Verunreinigungen, insbesondere Chloride dar.

□ **Elektrische Ströme:** Wie im Artikel von F. Hunkeler und F. Stalder [7] ausführlich dargelegt wird, bilden elektrische Ströme, als Streu- bzw. Makroelementströme auftretend, eine bedeutende Gefährdung der Dauerhaftigkeit. Bei der kathodischen Korrosionsreaktion kann eine wasserstoffinduzierte Spannungsrissskorrosion, bei der anodischen Reaktion eine abtragende Korrosion und damit eine allmähliche Querschnittsreduktion verursacht werden.

Die Gefährdung ist abhängig von der im Untergrund vorhandenen Streustromdichte. Die Wahl ungünstiger Materialien sowie eine leitende Verbindung mit Systemen, die ein anderes Korrosionspotential aufweisen, führt zur Makroelementbildung.

### Massnahmen zur Verbesserung der Permanentanker

Eine zuverlässige, quantitative Aussage über die Lebensdauer eines Permanentankers wie auch über den Einfluss einzelner Massnahmen auf die Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit von Permanentankersystemen ist heute praktisch nicht möglich. Schwachstellen am Ankersystem, Unregelmässigkeiten bei der Herstellung sowie die beschränkte Dauerhaftigkeit einzelner Massnahmen dürfen als Hauptursache für die beschränkte Lebensdauer von Permanentankern angesehen werden.

Mit Massnahmen zur Verbesserung der Permanentanker müssen einerseits Schwachstellen am System eliminiert, andererseits äussere Gefährdungen abgewehrt werden. Eine wirkungsvolle und erfahrungsgemäss auch wirtschaftliche Lösung bietet die Kombination verschiedener Massnahmen an. Insbesondere verringert sich damit auch die Empfindlichkeit des Systems, denn eine versagende Massnahme muss nicht zum Versagen des Systems führen. Die Zuverlässigkeit wird beträchtlich verbessert. Die Grundsätze der Strategie zur Verbesserung der Permanentanker sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Diese Grundsätze sind zum Teil auch



Bild 3. Spannungsrissskorrosion

Tabelle 1. Grundsätze der Strategie zur Verbesserung von Permanentankern

|   |
|---|
| <p><b>Elimination von Schwachstellen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ lückenloser und dauerhafter Korrosionsschutz des Zugliedes sicherstellen</li> <li>□ höchstempfindliche Stahlsorten meiden.</li> </ul> <p><b>Abwehr von Gefährdungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Wasserzutritt zum Ankerstahl sowie Wasserzirkulation im Anker verhindern</li> <li>□ schädliche chemische Verunreinigungen vom Ankerstahl fernhalten</li> <li>□ Streu- und Makroelementströme abhalten</li> <li>□ Dauerspannung möglichst niedrig halten</li> </ul> |
|---|

bereits in der Norm SIA 191 enthalten. Die heute angebotenen Permanentankersysteme gehen teilweise weiter als die Norm, erfüllen aber nicht alle obigen Grundsätze. Nachfolgend werden einzelne Grundsätze näher erläutert und resultierende Massnahmen aufgezeigt (Bild 4).

Die Gewährleistung eines lückenlosen und dauerhaften Korrosionsschutzes wird auch in der Norm gefordert. Resultate neuerer Forschungsarbeiten [3] zeigen, dass zwischen verschiedenen Korrosionsschutzfetten beträchtliche Unterschiede in bezug auf Korrosionsschutzwirkung und Wasseraufnahme bestehen. Die vollständige Verfüllung des Ankerkopfbereiches mit Korrosionsschutzfett bzw. Injektionsmörtel erfordert höchste Sorgfalt. Damit sich bei den ohne Haube einbetonierten Ankerköpfen kein Wasser in Schwindrissen zwischen Ankerkopf und Beton ansammeln kann, muss eine gute Haftung zwischen Beton und Metallteilen erreicht werden. Die Verwendung eines Haftgrundes kann hier unterstützend wirken.

Bei den meisten verwendeten Permanentanker werden die Litzen auf der freien Länge in einzelnen Litzenhüllrohren geführt. Diese mit Korrosionsschutzfett verpressten Litzenhüllrohre müssen – soll während dem Injizieren des Ankers ein Wasserzutritt zum Kor-

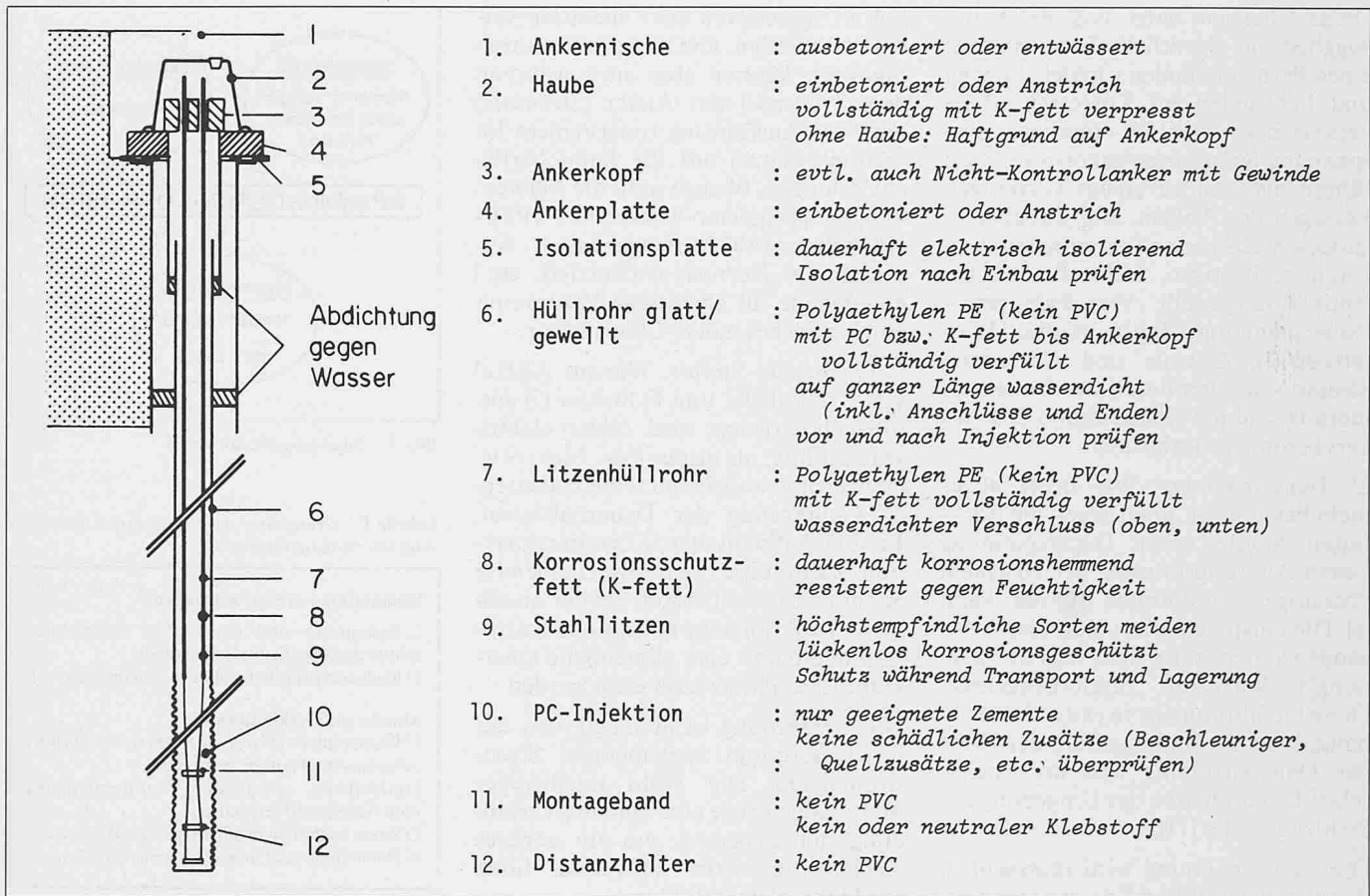


Bild 4. Massnahmen zur Verbesserung der Permanentanker

rosionsschutzfett vermieden werden – ohne Unterbrechung des Korrosionsschutzes wasserdicht verschlossen sein. Dieses Detail kann bei den bekannten Systemen noch verbessert werden.

Die Wichtigkeit eines vollständig wasserdichten Hüllrohres dürfte grundsätzlich nicht umstritten sein. Wie aber die Erfahrungen [7] zeigen, ist diese Forderung nicht immer erfüllt. Die Hüllrohre der Auftriebsanker für den Bahnhof Museumstrasse konnten aufgrund der Widerstandsmessung vor dem Injizieren als wasserdicht betrachtet werden. Während dem Injektionsvorgang und dem Ziehen des Bohrrohres entstanden in der Anfangsphase bei rund 10 bis 20% der Anker Undichtigkeiten. Diese Lecks konnten mit einer zweiten Widerstandsmessung festgestellt werden. Sie dürften hauptsächlich im Bereich des Überganges vom gewellten zum glatten Hüllrohr durch die erforderlichen hohen Drücke für die Auseninjektionen oder durch Beschädigung des Hüllrohres beim Rückzug der Verrohrung entstanden sein. Weitere Verbesserungen sind hier nicht zu umgehen. Während dem Spannen der Anker traten Verletzungen des Hüllrohres nur in vereinzelten Fällen auf.

Chemische Verunreinigungen können relativ einfach vom Ankerstahl ferngehalten werden. Vor Jahren schon wurde erkannt, dass PVC-Hüllrohre eine Ge-

fährdung des Ankers verursachen können. Heute werden deshalb durchwegs PE-Hüllrohre verwendet. Für die Ankermontage werden aber teilweise weiterhin PVC-Klebebander mit unspezifizierten Klebstoffen verwendet. Die Problematik von Injektionsmörtelzusätzen und ungeeigneten Zementen ist bekannt und wird weitgehend berücksichtigt. Dem Schutz der Anker vor Verunreinigung (z.B. durch Streusalz) während Transport und Lagerung ist hingegen noch stärkere Beachtung zu schenken.

Ein mit einem wasserdichten Kunststoffhüllrohr ausgerüsteter Permanentanker ist auch gegen Streuströme geschützt [7, 1]. Eine Isolationszwischenlage zwischen Bauwerk und Ankerplatte verhindert zudem eine Makroelementbildung zum Bauwerk. Mit dem Ersatz der Verzinkung der Abdeckhauben (Ankerstahl bildet Kathode zu anodischer Verzinkung, was zur Wasserstoffversprödung im Ankerstahl führen kann) der Kontrollanker durch einen elektrochemisch neutralen Anstrich kann eine weitere mögliche Makroelementbildung vermieden werden.

Da das Stahlzugglied die schwächste Stelle des Permanentankers darstellt, ist es bei wichtigen Objekten unter Umständen angebracht, die Dauerspannung im Stahl weiter zu reduzieren als es die Norm vorsieht. Die dazu erforder-

liche Vergrößerung des Stahlquerschnittes könnte auch als eine Art «Korrosionsreserve» betrachtet werden. Umgesetzt auf die Norm SIA 191 wäre ein solches Vorgehen mit dem Ansatz unterschiedlicher Sicherheitsfaktoren für Verankerungskörper und Stahlzugglied identisch.

Als ergänzende Massnahme ist es möglich, sämtliche Anker kontrollierbar auszuführen. Dazu müssen alle Anker mit einem Ankerkopf mit Gewinde ausgerüstet und im Ankerkopfbereich – wie die Kontrollanker – mit einer Haube und Korrosionsschutzfett geschützt werden. Um eine allzu grosse Anzahl von Kontrollnischen (mit Schächten) zu vermeiden, werden diese Anker einbetoniert. Sobald die regelmässig geprüften Kontrollanker es ratsam erscheinen lassen, können die übrigen Anker freigespitzt und ebenfalls überprüft werden. Diese Massnahme ist zum Beispiel auch gezielt für alle Anker einsetzbar, bei denen nach der Injektion ein Leck im Hüllrohr entstanden ist.

### Schlussfolgerungen

Die detaillierte Untersuchung des Systems Permanentanker hat gezeigt, dass die angebotenen Permanentanker Schwachstellen sowohl in der Kon-

**Technische Massnahmen am Anker**

- Isolationsplatte (Cevolit 2 mm) zwischen Ankerplatte und Bauwerk sowie Isolation der Distanzhalter am inneren Ankerstutzen
- PVC-Montagebänder ersetzt durch Nylonbandschellen bzw. Baumwollband mit Naturkautschukklebstoff
- Nicht-Kontrollanker ausgerüstet mit Ankerkopf mit Aussengewinde, Ankerkopf mit fettverpresster Blechhaube geschützt und einbetoniert
- Korrosionsschutzanstrich im Ankerkopfbereich der Kontrollanker anstelle Verzinkung.

**Technische Überprüfungen**

- Sämtliche technischen Daten (Stahlqualität, Hüllrohre, Abmessungen, Korrosionsschutzfett, Injektionszusatzmittel, etc.) wurden überprüft
- Inspektion der Produktionsanlagen des Ankerlieferanten

**Ausführungskontrollen (zusätzlich zu Norm SIA 191)**

- Überprüfung der Wasserdichtigkeit des Ankerhüllrohres vor und nach der Injektion mit Messung des elektrischen Widerstandes
- Überprüfung der Ankerkopfisolation mit elektrischer Widerstandsmessung.

Tabelle 2. Massnahmen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verlängerung der Lebensdauer der Permanentanker im Bahnhof Museumstrasse.

struktions der Anker als auch in der Anfälligkeit auf Ausführungsfehler aufwies, welche die Dauerhaftigkeit beeinträchtigen können. In Anbetracht der hohen Anforderungen wurde deshalb bei den Permanentankern des Bahnhofes Museumstrasse eine ganze Reihe von technischen Massnahmen und zusätzlichen Ausführungskontrollen realisiert. Mit den in Tabelle 2 zusammengestellten Massnahmen wird die Zuverlässigkeit der Permanentanker erhöht und deren Lebensdauer verlängert, womit die Zeitspanne bis zum allfälligen Ersatz, der mit Störungen des S-Bahnbetriebes verbunden ist, verlängert werden konnte.

An die Adresse der Ankerhersteller richtet sich die Forderung, die Permanentanker den neuesten Erkenntnissen anzupassen. Ein ununterbrochener, dauerhafter Korrosionsschutz der Stahlitzen sowie ein dauerhaft dichtes Hüllrohr (mit entsprechenden Abdichtungsmassnahmen gegen das Bauwerk) müssen heute eine Selbstverständlichkeit sein. Die Konstruktion des Ankers muss so gestaltet werden, dass das Korrosionsschutzfett vor Kontakt mit Wasser geschützt ist. Dem Detail des Verschlusses der mit Fett verpressten Lit-

zenhüllrohre ist höchste Aufmerksamkeit zu schenken. Die Verzinkung von Abdeckhauben und Ankerplatten bei nicht einbetonierten Ankern muss durch Korrosionsschutzanstriche ersetzt werden. Die Angebotspalette sollte durch eine Reihe von Massnahmen erweitert werden, die von Fall zu Fall zur Anwendung kommen können. Unter diese Spezialmassnahmen könnten unter anderem folgende Elemente eingereiht werden: Isolationsplatte zwischen Ankerplatte und Bauwerk, Überprüfung der Dichtigkeit des Hüllrohres durch elektrische Widerstandsmessung, Verwendung einer speziellen Qualität von Korrosionsschutzfett, zusätzlich zu den Kontrollankern erschwert kontrollierbare Anker usw.

Der projektierende Ingenieur muss sich bewusst sein, dass die Anwendung von Permanentanker besondere Sorgfalt und entsprechendes Fachwissen erfordert. Die Anforderungen und Randbedingungen müssen eingehend studiert werden, damit in Zusammenarbeit mit dem Ankerlieferanten eine optimale Lösung gefunden werden kann. Je nach den vom Bauherr an das Bauwerk gestellten Anforderungen müssen zusätzliche Massnahmen und Kontrollen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und zur Verlängerung der Lebensdauer der Anker geprüft werden. Die Ausschreibung sollte klare Angaben über Anforderungen und zusätzliche Massnahmen enthalten, damit der Unternehmer das richtige Produkt offerieren kann. Die Orientierung des Bauherrn über die periodische Kontrolle der Anker sowie die Sicherstellung der Dokumentation über die Anker - wichtige Daten, wie verwendete Stahlsorte, Prüfungen, etc. werden heute von vielen Ankerlieferanten archiviert - fallen ebenso in den Aufgabenbereich des Projektanten resp. der Bauleitung. Es sei hier der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen, dass vorgängig der Wahl von Permanentankern mögliche Lösungen ohne Permanentanker geprüft werden sollten, wobei die Kosten unter Einbezug des Unterhaltes und der Dauerhaftigkeit zu beurteilen sind.

Der Bauherr sollte sich im klaren sein, dass jedes Bauteil während der gesamten Lebensdauer eines Bauwerkes gewisse Kontrollen und Unterhalt erfordert, da kein Bauelement eine unbegrenzte Lebensdauer hat. Insbesondere

**Literatur**

- [1] Bruder P.H., Heer K.; Vorgespannte Gründungsanker mit Litzen, Systembeschreibung und Beispiele; Schweizer Ingenieur und Architekt, 1983, Seite 438-444.
- [2] Ehmman P., von Matt U. et al; Bahnhof Stadelhofen; Schweizer Ingenieur und Architekt, 1984, Seite 962-964.
- [3] Etienne C.F., Binnekamp D.C. et al; Corrosion protection of unbonded tendons; Heron, 1981, No. 3, Delft University of Technology.
- [4] FIP; Prestressed Concrete Foundations and Ground Anchors; Seventh FIP Congress, New York, 1974.
- [5] Gründler H., Hagmann A.J.; S-Bahn Zürich: Bahnhof Museumstrasse und Unterquerung der Limmat; Schweizer Baublatt Nr. 87, 29.10.1985.
- [6] Huder J., Locher H.G.; Fünf Jahre Erfahrung mit der Norm SIA 191 «Boden- und Felsanker»; Schweizer Ingenieur und Architekt, 1983, Seite 425-428.
- [7] Hunkeler F., Stalder F.; Streustromschutzmassnahmen bei Boden- und Felsankern; Schweizer Ingenieur und Architekt, vorliegende Ausgabe.
- [8] Kreijger P.C. et al; Stress corrosion in prestressing steel; Heron, 1977, No 1, Delft University of Technology.
- [9] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein; Boden- und Felsanker, Norm SIA 191; Zürich 1977.
- [10] Sommer P., Graber F.; Felsanker zur Sicherung des Tosbeckens Nr. 3 in Tarbela (Pakistan); Schweizerische Bauzeitung 1978, Seite 337-349.
- [11] Stolte E.; Über die Spannungsrissskorrosion an Spannstählen; Beton- und Stahlbetonbau 1968, p 116-118.

**Nachtrag (neu zum Thema):**

FIP; Corrosion and corrosion protection of prestressed ground anchorages, State of the art report; Thomas Telford, London, 1986

bei sicherheitsrelevanten Bauelementen, wie sie Permanentanker in der Regel darstellen, lohnt es sich langfristig gesehen, das Produkt sorgfältig auszuwählen, die Qualität mit entsprechenden Kontrollen zu überprüfen und dafür insgesamt einen etwas höheren Anfangspreis zu bezahlen.

Die seit 1977 gültige Norm SIA 191 ist bezüglich Korrosionsschutz und Ausführungskontrollen der Permanentanker zu überprüfen und dem heutigen Stand des Wissens anzupassen.

Adresse der Verfasser: A. Steiger, dipl. Ing. ETH, und Dr. A. J. Hagmann, dipl. Ing. ETH/SIA, c/o Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstr. 395, 8029 Zürich.