

Spannglieder, Schrägseile und Anker – Beschreibung der Systeme und Erkenntnisse aus Korrosionsschäden

**Câbles de précontrainte, haubans et tirants d'ancrage –
Description des systèmes et leçons tirées
des dégâts dus à la corrosion**

**Prestressing tendons, stay cables and ground anchors –
Description of the systems and lessons learnt
from corrosion damages**

**TFB, Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton, Wildegg
F. Hunkeler, Dr. sc. tech., dipl. Ing. ETH/SIA**

**Peter Matt, Ingenieur-Beratung, Ittigen
P. Matt, dipl. Bauing. ETH/SIA**

**Dr. Vollenweider AG, Zürich
U. von Matt, dipl. Bauing. ETH/SIA**

**EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
R. Werner, Schadenexperte Korrosion**

**Forschungsauftrag AGB2000/470 auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)**

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation

Bundesamt für Strassen

Forschungsauftrag AGB2000/470
auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)

Spannglieder, Schrägseile und Anker – Beschreibung der Systeme und Erkenntnisse aus Korrosionsschäden

Câbles de précontrainte, haubans et tirants d'ancrage – Description des systèmes et leçons
tirées des dégâts dus à la corrosion

Prestressing tendons, stay cables and ground anchors – Description of the systems and
lessons learnt from corrosion damages

TFB, Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton, Wildegg
F. Hunkeler, Dr. sc. tech., dipl. Ing. ETH/SIA

Peter Matt, Ingenieur-Beratung, Ittigen
P. Matt, dipl. Bauing. ETH/SIA

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

EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
R. Werner, Schadenexperte Korrosion

August 2005

Zusammenfassung

Die Vorspanntechnik revolutionierte den Brücken- und Hochbau. Gleiches gilt für die Anker-technik bei mannigfaltigen Problemstellungen im Grundbau. Schon von Beginn weg wurde auf einen guten Korrosionsschutz grossen Wert gelegt, da schon damals bekannt war, dass die für die Vorspannung verwendeten Spannstähle auf Korrosionsangriffe empfindlich reagieren. Trotzdem traten im In- und Ausland Schäden auf. Darüber gibt es zwar viele einzelne Meldungen, Hinweise und Berichte in Fachzeitschriften und Tagungsdokumentationen, zusammenfassende Darstellungen hingegen gibt es nur wenige. Die Erkenntnisse aus den aufgetretenen Schäden führten zu einer stetigen Verbesserung der Systeme.

Mit dem vorliegenden Bericht, der auch die Ergebnisse der ersten Arbeit aus dem Jahre 1998 enthält, wurde angestrebt,

- die technische Entwicklung der Spann-, Schrägseil- und Ankersysteme darzustellen und die verfügbaren Unterlagen zusammenzutragen, um diese als wichtige Grundlage für die Zustandserfassungen und –beurteilungen zu erhalten.
- die vorhandenen Unterlagen und das Wissen der verschiedenen Beteiligten über die aufgetretenen Korrosionsschäden an Spannstählen in der Schweiz zu sichten und aufzuarbeiten.
- mit einer ausgedehnten Literaturrecherche und über die Kontakte zu Experten die Korrosionsschäden an Spannstählen im Ausland als Ergänzung zu den schweizerischen Erfahrungen zu erfassen und darzustellen.
- die Ursachen und Mechanismen bei Korrosionsschäden zu ermitteln und daraus mögliche Gefährdungsbilder abzuleiten, die bei der Zustandserfassung und –beurteilung zu beachten sind.
- Hinweise für die Weiterentwicklung der Spann-, Schrägseil- und Ankersysteme zu erhalten.

Viele wichtige Erkenntnisse konnten nur beim Abbruch der Bauwerke gewonnen werden. Einige dieser Objekte wurden im Rahmen des Projektes ZEBRA, „Zustandserfassung von Brücken während deren Abbruch“ (ASTRA-Forschungsauftrag AGB1998/101) untersucht. Dieses Projekt steht unter der Leitung von Prof. Thomas Vogel, Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich.

Um die Lesbarkeit des Berichtes zu erleichtern, wurden die Spann-, Schrägseil- und Ankersysteme in separaten Kapiteln behandelt (Kapitel 2 bis 4). Die Anhänge sind in der gleichen Art gegliedert und enthalten die Beschreibungen der aufgearbeiteten Schadenfälle in der Schweiz.

Im Bericht werden folgende Themen nicht oder nur am Rande behandelt: Hängestangen (z.B. bei Zwischendecken in Tunnels), Zugpfähle und vorgespannte Zug- oder Druckpfähle, ungespannte (schlaaffe oder passive) Anker, oft Nägel genannt, deren Zugglieder nach heutiger Regelung nicht aus Spannstählen bestehen, vorgespannte Rohre, Spann-, Schrägseil- und Ankersysteme aus kohle- und glasfaserverstärktem Kunststoff (z.B. für Verstärkungen oder für Schrägseilbrücken). Auch auf die Untersuchungstechniken und die Instandsetzung von geschädigten Bauwerken geht der Bericht nur am Rande ein.

Spannsysteme

Die Spannbetonbauweise hat sich grundsätzlich gut bewährt. Weltweit sind nur einige wenige vorgespannte Bauwerke eingestürzt. Die wichtigsten Ursachen für Einstürze waren:

- spannungsrissskorrosionsempfindlicher Spannstahl (Beispiel in Deutschland)
- ungeeignete Zemente (Tonerdeschmelzzement), chloridverseuchte Mörtel oder Betone (chloridhaltiger Sand, CaCl_2 als Beschleuniger) (Beispiele in Deutschland, Jugoslawien und USA)
- ungenügende Überwachung beim Bau und während der Nutzung (Beispiel in Sizilien)

- Wasser- und Chlorideintrag bei undichten Fugen in evtl. unvollständig verfüllte Spannglieder (Beispiele in Grossbritannien und Belgien).

Nur in wenigen Fällen war eine einzige der oben genannten Ursachen alleine für einen Einsturz verantwortlich. Meistens führten erst die Empfindlichkeit der Konstruktion und eine Kombination verschiedener Ursachen zum Unglück. Daraus und aus der Auswertung der übrigen Schadenfälle im In- und Ausland konnten die wichtigsten äusseren und inneren Gefährdungen abgeleitet werden. Äussere Gefährdungen sind durch die Umwelt oder die Nutzung bedingt (Einwirkungsseite). Innere Gefährdungen umfassen Schwachstellen der Konstruktion und des eigentlichen Korrosionsschutzsystems der Spannglieder, Schrägseile und Anker (Widerstandsseite). In den allermeisten Fällen bildete die Kombination verschiedener Schwachstellen der Konstruktion (Gefährdungsbilder), bei vorhandener äusserer Gefährdung (Leiteinwirkung), die Schadensursache. Daraus ergeben sich „Schadenketten“, die beispielsweise bei Spanngliedern im Verbund oft an der Bauwerksoberfläche beginnen und somit meistens „sichtbar“ oder bei Zustandsuntersuchungen feststellbar sind.

Schrägseilsysteme

Gemäss den Kenntnissen der Autoren gab es bisher wegen Korrosion – abgesehen von einer Hängebrücke wegen des vollständig vernachlässigten Unterhaltes – keine Einstürze von Seilbrücken. Ein wichtiger Grund für diese positive Bilanz ist die Tatsache, dass Schrägseilkonstruktionen in der Regel redundant sind und ein gleichzeitiger Ausfall mehrerer Schrägseile wegen Korrosion eher unwahrscheinlich ist. Ein Ausfall von so genannten Rückhalteseilen („back stays“) könnte jedoch zu einem Tragwerksversagen führen. Bei einigen Schrägseilanwendungen waren jedoch erhebliche Korrosionsschäden zu beheben oder gar die Schrägseile auszuwechseln.

Im Vergleich zu den Spannsystemen des Brückenbaus sind Schrägseile teilweise den gleichen, teilweise aber auch anderen bzw. zusätzlichen Einwirkungen ausgesetzt wie z.B. direkte Bewitterung, direkte Beaufschlagung durch (chloridhaltiges) Wasser, direkte Sonneneinwirkung (UV-Strahlung) und damit verbunden höhere Temperaturschwankungen und Längenänderungen sowie stärkere schwingende Belastung durch Verkehrslasten, Wind (Vibrationen) etc. Es traten daher auch weitere Gefährdungen auf (z.B. Ermüdungs- und Reibkorrosion).

Ankersysteme

Die Ankertechnik ist zu einem wichtigen Teil der Bautechnik im Grundbau geworden und hat sich insgesamt bewährt. Bei einigen Verankerungen sind erhebliche Korrosionsschäden an den Zuggliedern aufgetreten, die aber nicht zu einem katastrophalen Versagen geführt haben. Die Schäden wurden in der Regel rechtzeitig erkannt und konnten mit mehr oder weniger grossem Aufwand behoben werden. In den meisten Fällen geschah dies durch den Einbau von Ersatzankern. Weltweit ist nur eine sehr geringe Anzahl von verankerten Bauwerken wegen Korrosionsschäden eingestürzt. Dies ist dem Umstand zu verdanken, dass verankerte Bauwerke in der Regel redundant sind und oft auch Bemessungsreserven infolge vorsichtiger Annahme der Baugrundkennwerte aufweisen.

Die Verbreitung von Korrosionsschäden an Verankerungen und auch der Umfang der Kenntnisse darüber korrelieren direkt mit den Entwicklungsstufen der Ankertechnik.

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

Freispielanker ohne „doppelten Korrosionsschutz“ weisen generell einen ungenügenden Korrosionsschutz auf. Je nach Konstruktionskonzept des Bauwerkes und Ausführungsqualität der Verankerung können bei dieser Ankergeneration Schäden praktisch systematisch oder aber auf

Einzelfälle beschränkt auftreten. Zu beachten ist, dass bei diesem Ankertyp nicht selten Sprödbrüche infolge Spannungsrisskorrosion eingetreten sind. Die Zustandserfassung und -beurteilung erfolgt auf der Basis der Überprüfung einer repräsentativen Anzahl Anker.

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

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

Résumé

La technique de la précontrainte a révolutionné la construction des ponts et des bâtiments. Il en va de même pour la technique des tirants d'ancrage permettant ainsi de résoudre des problèmes divers de la géotechnique. Dès le début de l'utilisation de la technique de la précontrainte, on a attribué une grande importance à une bonne protection contre la corrosion, car on savait déjà que les aciers utilisés pour la précontrainte sont sensibles aux attaques de la corrosion. Néanmoins, des dommages se sont produits ici et ailleurs. Bien que ceux-ci aient été décrits dans beaucoup de notices et rapports publiés isolément dans différents journaux et procès verbaux de conférences, seuls quelques exposés complets existent. Les leçons apprises suite aux dommages ont mené à une amélioration continue des systèmes.

Le but du présent rapport, qui contient également les résultats du premier travail à ce sujet publié en 1998, était

- de présenter le développement technique des câbles de précontrainte, des haubans, des tirants d'ancrage et de réunir la documentation disponible afin de la conserver comme base importante pour les relevés et les évaluations de l'état.
- de compiler et d'étudier la documentation et la connaissance existantes des diverses parties concernées sur les dégâts de corrosion des aciers de précontrainte en Suisse.
- d'apporter un complément aux expériences suisses, de documenter et présenter les dégâts de corrosion des aciers de précontrainte constatés à l'étranger à travers une recherche de littérature étendue et en contactant des experts.
- de déterminer les causes et les mécanismes des dégâts de corrosion et d'en déduire les scénarios de risque possibles qui sont à considérer lors des relevés et des évaluations de l'état.
- d'obtenir des indications utiles au développement futur des systèmes de précontrainte, de haubans et de tirants d'ancrage.

Beaucoup de constatations importantes pouvaient seulement être faites lorsque des structures ont été démolies. Certaines de ces dernières ont été examinées dans le cadre du projet ZEBRA, « Relevé de l'état de ponts pendant leur démolition » (projet de recherche OFROU AGB1998/101). Ce projet est dirigé par le Prof. Thomas Vogel, institut de statique et de construction (Institut für Baustatik und Konstruktion) de l'EPF Zurich.

Pour faciliter la lisibilité du rapport, les systèmes de précontrainte, de haubans et de tirants d'ancrage sont traités dans des chapitres séparés (chapitres 2 à 4). Les annexes sont structurées de façon analogue et contiennent les descriptions des dégâts répertoriés en Suisse.

Le rapport ne traite pas ou seulement marginalement les matières suivantes : les barres de suspension (par exemple pour des dalles-plafond dans des tunnels), les pieux en traction ainsi que les pieux précontraints en traction ou en compression, les ancrages passifs (clous) dont les éléments tendus, selon les règlements actuels, ne sont pas en acier de précontrainte, les tuyaux précontraints, les systèmes de précontrainte, de haubans et de tirants d'ancrage en matériaux composites renforcés de fibres de verre ou de carbone (par exemple pour des renforcements de structures ou pour des haubans de ponts). Le rapport traite également marginalement des techniques d'inspection et de remise en état des structures endommagées.

Systemes de précontrainte

La construction en béton précontraint a généralement fait ses preuves. Au niveau mondial, seulement quelques structures précontraintes se sont effondrées. Les causes principales étaient :

- acier de précontrainte sensible à la corrosion sous tension (exemple en Allemagne)
- ciments inadaptés (ciment alumineux fondu), mortiers ou bétons contaminés par des chlorures (sables contenant des chlorures, CaCl_2 comme accélérateur) (exemples en Allemagne, Yougoslavie et Etats-Unis)
- contrôle et surveillance insuffisants pendant la construction et l'exploitation (exemple en Sicile)
- pénétration d'eau et de chlorures dans des câbles de précontrainte mal injectés au droit des joints non étanches de la structure (exemples en Grande-Bretagne et Belgique).

Seulement dans quelques rares cas, une seule des causes évoquées ci-dessus était exclusivement responsable de l'effondrement. La plupart du temps, la sensibilité de la structure et une combinaison de différentes causes ont causé l'accident. Sur cette base et sur l'évaluation d'autres dommages en Suisse et à l'étranger, il était possible d'identifier les risques externes et internes les plus importants. Les risques externes sont déterminés par l'environnement ou les conditions d'utilisation (solllicitations). Les risques internes comprennent les faiblesses de la structure et du système de protection contre la corrosion des câbles de précontrainte, des haubans et des tirants d'ancrage (résistance). La cause des dégâts est la plupart du temps une combinaison des différentes faiblesses structurales (situations de risque) en présence d'un risque externe donné (action prépondérante). Ceci peut provoquer des réactions en chaîne qui, par exemple pour des câbles de précontrainte adhérents, commencent souvent à la surface de la structure et sont généralement visibles à l'œil nu ou peuvent être détectées lors d'un relevé d'état.

Systèmes de haubans

Selon la connaissance des auteurs, il n'y a eu, jusqu'à présent, aucun effondrement d'un pont haubané dû à la corrosion, excepté dans le cas d'un pont suspendu où l'entretien a été complètement négligé. Une raison importante de ce bilan favorable est le fait que les systèmes à haubans sont généralement redondants et que la défaillance simultanée de plusieurs haubans due à la corrosion est peu probable. Une défaillance de câbles de retenue pourrait cependant causer un effondrement de la structure porteuse. Néanmoins, dans quelques constructions à haubans des dégâts de corrosion considérables ont dû être réparés ou des haubans ont même dû être remplacés.

Comparé aux câbles de précontrainte dans les ouvrages d'art, les haubans sont en partie exposés aux mêmes mais également à d'autres sollicitations, respectivement à des sollicitations additionnelles telles que l'exposition directe aux intempéries, l'exposition directe aux eaux contaminées de chlorures, l'exposition au rayonnement direct du soleil (rayonnement UV) et par conséquent à des variations de température et de longueur élevées ainsi que les sollicitations dynamiques accrues dues aux actions de la circulation, du vent (vibrations), etc. D'autres risques sont ainsi apparus tels que la corrosion due à la fatigue et au frottement.

Systèmes de tirants d'ancrage

La technique des tirants d'ancrage est devenue une partie importante de la géotechnique et a généralement fait ses preuves. Les dégâts importants constatés sur quelques ancrages n'ont pas causé des défaillances graves de conséquences. En général, les dégâts ont été détectés en temps utile et ont pu être réparés à des coûts plus ou moins élevés. Dans la plupart des cas des tirants de remplacement ont été installés. Dans le monde entier, seulement un nombre relativement restreint de structures ancrées s'est effondré en raison des dégâts de corrosion, la raison principale étant que les ouvrages ancrés sont généralement redondants et qu'ils présentent souvent des réserves au niveau du dimensionnement dues à l'adoption d'hypothèses de calcul prudentes concernant les valeurs caractéristiques du terrain.

L'étendue des dégâts de corrosion aux systèmes de tirants d'ancrage et le niveau de connaissances correspondant corréleront directement avec les étapes de développement de la technique des tirants d'ancrage.

En raison du manque de méthodes d'investigation, les dégâts sur les tirants d'ancrages complètement injectés peuvent être détectés uniquement localement au niveau de la tête du tirant. L'évaluation de l'état d'un tirant doit donc être accompagnée d'une étude de risque.

La protection contre la corrosion des tirants d'ancrage avec longueur libre sans "double protection contre la corrosion" est généralement insuffisante. Selon le concept de construction de la structure et la qualité d'exécution du système d'ancrage, des dégâts peuvent apparaître systématiquement ou sporadiquement. On note que des ruptures fragiles, suite à de la corrosion sous tension se sont assez souvent produites dans ce type d'ancrage. Le relevé et l'évaluation de l'état devraient être basés sur l'examen d'un nombre représentatif de tirants.

Les tirants d'ancrage avec une "double protection contre la corrosion" sont en général suffisamment protégés contre la corrosion. La présence d'eau sous pression autour des tirants ou le manque de qualité de la liaison entre les gaines de protection ondulées et lisses peut constituer un risque. Avec cette génération de tirants appliqués sur des structures correctement conçues, les dégâts se limiteront à des cas isolés. Comme ces tirants sont généralement équipés de systèmes de surveillance (tirant de mesure, extensomètres ou inclinomètres), l'évaluation de l'état peut se faire sur la base de ces mesures, de l'inspection de la tête du tirant et du contrôle de la force d'ancrage.

L'efficacité de la protection contre la corrosion des tirants d'ancrage avec "une protection intégrale contre la corrosion" peut être vérifiée en mesurant la résistance électrique. Dans le cas d'un résultat positif, on peut s'attendre à ne pas avoir de dégâts. L'évaluation de l'état peut être basée sur des mesures et des inspections ponctuelles de la tête du tirant.

Summary

The prestressing technique revolutionized the construction of bridges and buildings. The same is true for the anchor technique solving manifold problems in ground engineering. The importance of an effective corrosion protection has been recognized from the outset as already at that time, the sensitiveness of the applied prestressing steels with respect to corrosion attack was known. Nevertheless, damages occurred at home and abroad. Although these have been described in many individual notices and reports published in journals and proceedings, only a few comprehensive overviews exist. The lessons learned from damages led to a continuous improvement of the systems.

The aim of this report containing also the results of the work published in 1998 was

- to present the technical development of prestressing, stay cable and ground anchor systems and to collect the available systems documentation with the objective to use them as an important basis for the condition survey and evaluation.
- to document the existing information and knowledge of the various parties involved on corrosion damages of prestressing steels found in Switzerland.
- to conduct an extensive literature search and to contact experts with the objective to additionally document and present the corrosion damages of prestressing steels abroad.
- to determine the causes and mechanisms of corrosion damages and to deduct possible hazard scenarios to be considered for the condition survey and evaluation.
- to obtain indications for the further development of prestressing, stay cable and ground anchor systems.

Many important lessons could only be learnt when structures were demolished. Some of these were investigated within the frame of the project ZEBRA "Condition survey of bridges during demolition" (Research project AGB1998/101 by FEDRO, the Federal Roads Office). This project is directed by Prof. Thomas Vogel, Institute of Structural Engineering of the ETH Zurich.

To facilitate the legibility of the report, prestressing, stay cables and ground anchor systems are dealt with in separate chapters (chapter 2 to 4). The annexes are similarly structured and contain case studies of damages in Switzerland.

The report does not or only marginally deal with the following topics: suspension bars (e.g. for partition slabs in tunnels), prestressed tension and compression piles, unstressed anchors (nails, which – accordingly to actual regulations – are not consisting of prestressing steels), prestressed pipes, prestressing, stay cable and ground anchor systems consisting of carbon- or glass fibre-reinforced materials (e.g. for strengthening or for cable-stayed bridges). The report also only marginally deals with inspection techniques and the repair of damaged structures.

Prestressing systems

Prestressed concrete can generally be regarded as a proven structural form. Worldwide, only a few prestressed structures collapsed. The most important reasons for failures were:

- prestressing steel sensitive to stress corrosion (example in Germany)
- unsuitable cements (high-alumina cement, calcium aluminate cement), chloride-contaminated mortars or concretes (chloride-containing sands, CaCl_2 as accelerator) (examples in Germany, Yugoslavia and USA)
- insufficient surveillance during construction and service (example in Sicily)
- ingress of water and chlorides at leaking joints into not fully grouted tendons (examples in Great Britain and Belgium).

Only in a few cases, the reasons mentioned above were alone responsible for the collapse. Mostly, the sensitivity of the structure and a combination of different reasons caused the accident. On this basis and on the evaluation of other damages, it was possible to identify the most important external and internal hazards. External hazards are determined by the environment or the service conditions (action side). Internal hazards contain weak structural areas and the intrinsic corrosion protection system of the post-tensioning tendons, the stay cables and the ground anchors (resistance side). The cause of damages is mostly the combination of weak structural areas (hazard scenarios) and an existing external hazard (leading action). Hence, the so-called "damage chains" are generated. For bonded tendons for instance, these start at the surface of the structure and are generally visible or can be detected during inspection.

Stay cable systems

According to the authors' knowledge, there have been no failures of cable-supported bridges due to corrosion except in the case of a suspension bridge where maintenance was completely neglected. An important reason for this positive assessment is the fact that generally cable-stayed structures are redundant and that the simultaneous failure of several stay cables due to corrosion is rather unlikely. However, the loss of a so-called back stay could cause a structural collapse. In some stay cable applications however, considerable corrosion damages had to be eliminated or stays even had to be exchanged.

Compared to post-tensioned tendons in bridges, stay cables are partly exposed to the same actions but also to others resp. additional actions such as direct weather effects, direct water access (containing chlorides), direct sun radiation (UV-radiation) and consequently related changes in temperature and cable length as well as increased dynamic actions due to traffic loads and wind (vibrations). Further hazards occurred such as fatigue and fretting corrosion.

Ground anchor systems

The anchor technique has become an important part in ground engineering and can generally be considered as proven. In some anchors the tensile members have shown considerable corrosion damages, however, no catastrophic failure occurred. In general, the damages were found in good time and could be rectified at more or less cost. In most cases replacement anchors were installed. Worldwide, a comparatively small number of anchored structures collapsed due to corrosion damages, the main reason being that anchored structures are redundant and often exhibit resistance reserves due to prudent assumptions of the characteristic values of the ground.

The distribution of corrosion damages and the corresponding knowledge thereon correlate directly with the development stages of the anchor technique.

Due to the lack of systematic examination methods, for the so-called fully bonded anchors only the anchor head area can be spot-checked. The condition evaluation must therefore be based on a risk assessment.

The corrosion protection of anchors having a free length remaining movable during service life without "double corrosion protection" is generally insufficient. Depending on the type of structure and the quality of the execution damages of this type of anchors can be found systematically or limited to single cases. It must be considered, that quite often non-ductile failures due to stress corrosion occur. The condition survey and evaluation should be based on the examination of a representative number of anchors.

Anchors with a "double corrosion protection" are in general sufficiently protected against corrosion. The presence of pressure water around the anchors or the lack of quality of the transition between the corrugated and the smooth protection duct can be a hazard. It can be expected that with this anchor generation and reasonably designed structures, damages are limited to single cases. As anchors of this type are generally equipped with surveillance installations (measuring anchors, extensometers or inclinometers), the condition evaluation can be based on measurements, inspection of the anchor head area and check of the anchor force by lift-off.

The effectiveness of anchors with a "comprehensive corrosion protection" can be verified by measuring the electrical resistance. In case the resistance requirements are fulfilled, no damages will occur. The condition evaluation can be based upon measurements and spot-checking the anchor head area.