

## 20 Jahre elektrisch isolierte Anker

Ueli von Matt, Zürich

In den 1960er und 1970er Jahren sind beim Boom des Nationalstrassenbaus in der Schweiz tausende von permanenten Ankern eingebaut worden, beispielsweise am 12 km langen Abschnitt Vennes-Chexbres der A 9 über 3500 Anker (**Bild 1**). Zuerst – bis etwa 1972 – kamen durchwegs so genannte Vollverbundanker zum Einsatz, bei denen die freie Länge nach dem Spannen, wie bei Spannsystemen mit Verbund, mit Zement ausinjiziert wurde (**Bild 2**).

Beim Spannbeton ist die Kraft im Spannglied immer beim Vorspannen am grössten. Sie nimmt während der Nutzungsdauer auf einen Endwert ab. Es besteht kein Bedürfnis, die Kabelkraft nach dem Vorspannen künstlich zu regulieren. Ganz anders bei vorgespannten Ankern: Je nach Fall kann die Ankerkraft während der Nutzungsdauer um beträchtliche Masse, z.B. 20 bis 50 %, zu- oder abnehmen. Es kann das Bedürfnis bestehen, die Anker nachzuspannen oder zu entspannen. Vor allem aber sollte die Ankerkraft während der Nutzungsdauer zwecks Überwachung des Bauwerks gemessen werden können.



Bild 1: A9 Vennes-Chexbres "La Criblette"

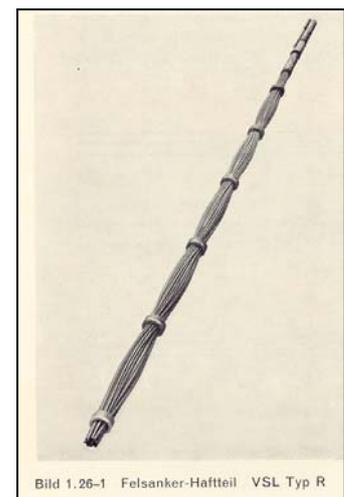
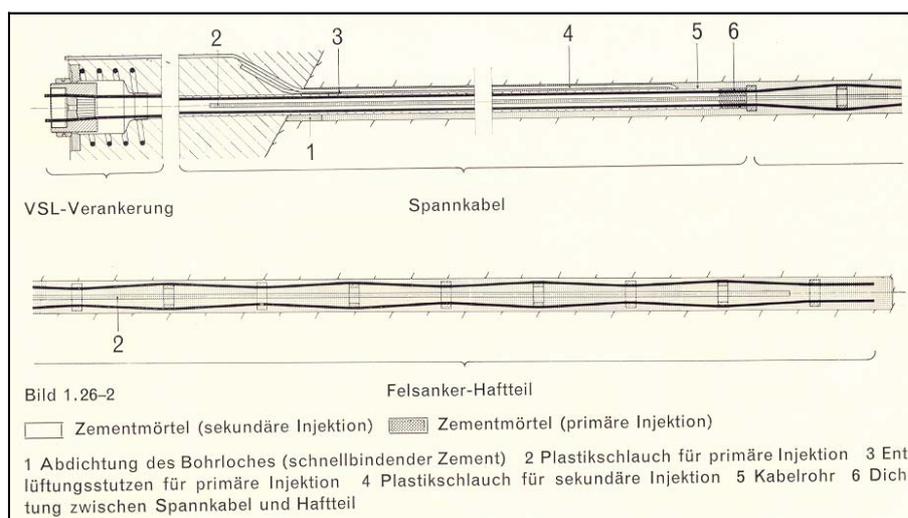


Bild 2: Vollverbund Drahtanker

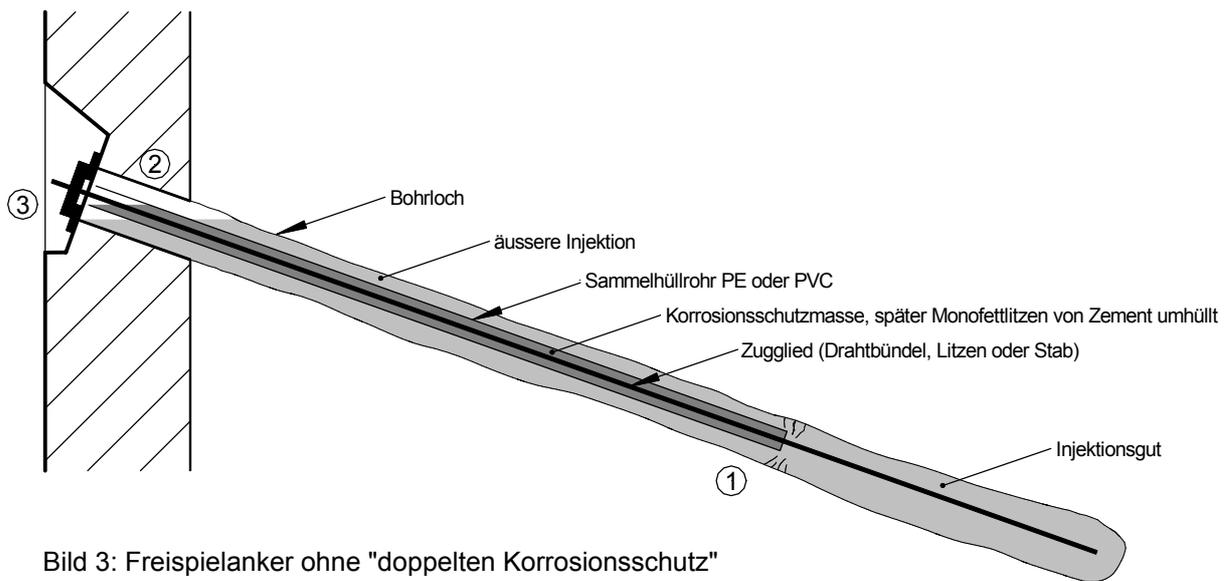


Bild 3: Freispielanker ohne "doppelten Korrosionsschutz"

Diese Unterschiede zu den Spannsystemen führten zur Entwicklung der so genannten Freispielanker (**Bild 3**), bei denen die freie Länge dauerhaft frei dehnbar bleibt, bei Stabankern z.B. durch Schrumpfschläuche, bei Draht- und Litzenankern durch Verfüllen mit einer plastischen Korrosionsschutzmasse. Später, etwa ab 1973/75, kamen Monolitzen zum Einsatz. Zu Beginn der 1980er Jahre wurden erste Brüche von solchen Freispielankern bekannt (**Bilder 4 und 5**).



Bild 4: Sprödebruch eines 1977 eingebauten Stabankers



Bild 5: Bruch eines 1979 eingebauten Litzenankers



Weil das Baugebiet wegen der städtischen Tramlinien und eines in der Nähe liegenden Gleichrichters stark streustrombelastet ist, war die Frage des Korrosionsschutzes der Anker von zentraler Bedeutung für das Projekt. Bekanntlich erhöhen Streuströme die Korrosionsgeschwindigkeit erheblich und können überdies bei Spannstählen durch wasserstoffinduzierte Versprödung zu Spannungsrissskorrosion führen. Wir führten deshalb Gespräche mit Vertretern der Korrosionskommission. Das war zunächst nicht einfach, sie wussten viel über Korrosion, aber nichts über Anker – bei uns war es umgekehrt. Weil beide Seiten dies erkannten und sich auch gegenseitig zugestanden, verliefen die Gespräche dann sehr konstruktiv. Und die gemeinsam gefundene Lösung war denkbar einfach: Der beste Schutz des Ankerstahls gegen eine Streustrombeeinflussung war eine elektrische Isolation des Ankers gegen den Baugrund. Um dies zu erreichen, war am offerierten Ankersystem mit so genanntem doppeltem Korrosionsschutz nur eine marginale konstruktive Änderung vorzunehmen: Das zentral durch den Anker geführte und am Ankerfuss austretende Injektionsrohr für die äussere Primärinjektion musste nach aussen (ausserhalb der Kunststoffumhüllung) verlegt werden. Rasch erkannten wir, dass diese Lösung nicht nur einen Schutz gegen Streustromgefährdung, sondern auch einen perfekten Korrosionsschutz - noch abgesehen vom Ankerkopf - bedeutete. Denn mit der elektrischen Isolation war auch jeder Wasserzutritt zum Ankerstahl verhindert. Wenn in der Kunststoffumhüllung keine korrosionsfördernden Materialien eingeschlossen sind, kann am Ankerstahl keine Korrosion mehr stattfinden. Und: die Wirksamkeit des Korrosionsschutzes kann am eingebauten Anker mit einer einfachen Messung des elektrischen Widerstandes zwischen Ankerstahl und Baugrund überprüft werden (**Bild 8**). Ich erinnere mich noch lebhaft, wie euphorisch ich nach der entscheidenden Sitzung ins Büro zurückging – und wie enttäuscht ich nach den elektrischen Widerstandsmessungen an den ersten zehn so eingebauten Ankern war: Kein einziger hatte einen messbaren elektrischen Widerstand.

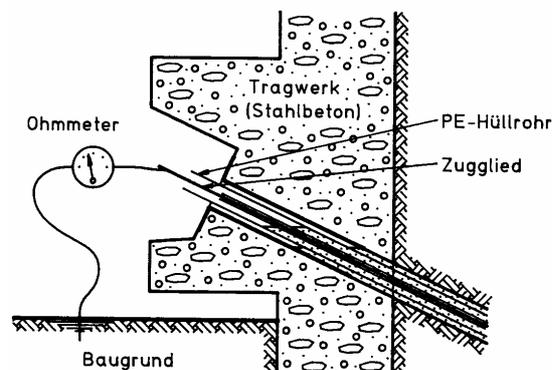
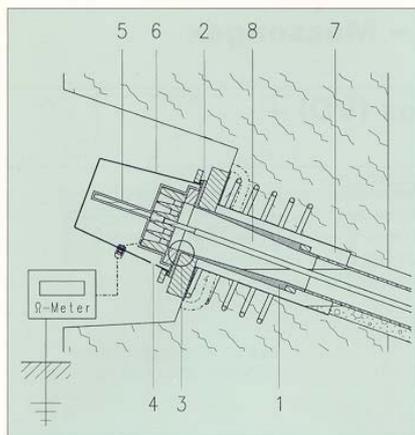


Bild 8: Elektrische Widerstandsmessung I am nicht vorgespannten Anker

Wir hinterfragten die Theorie und die Messmethode – es war alles logisch und musste doch eigentlich funktionieren. Dann begannen wir, die Anker in jeder Einbauphase zu messen. Sobald ein Anker schlechte Werte zeigte, bauten wir ihn wieder aus und untersuchten ihn. Bei jedem dieser Anker fanden wir Verletzungen in der Kunststoffumhüllung, meist an der Übergangsstelle  $I_{fr} / I_v$  oder am Ankerfuss. Der so genannte doppelte Korrosionsschutz funktionierte also nur auf dem Papier, der harten Baupraxis hielt er (noch) nicht stand. In der Folge wurden diese zwei Schwachstellen konstruktiv verstärkt und schliesslich erreichten über 90% der Anker den geforderten Widerstand von mindestens 0.1 M $\Omega$  nach dem Einbau, den Nachinjektionen und der Spannprobe.

Damit war ein sehr wichtiger Schritt auf dem Weg zu dauerhaften Ankern getan, begleitet von Rückschlägen und auch psychologischen Widerständen (Zitat: "Wir bauen Anker und keine Stromkabel."). Und auch das Endziel war erkannt, lag aber noch nicht in Reichweite: Ein von Baugrund **und** Bauwerk elektrisch isolierter Anker, dessen Isolation auch im gespannten Zustand, also während seiner ganzen Nutzungsdauer mit Messungen überprüft werden kann. Dazu musste auch der Ankerkopf vom Bauwerk isoliert werden und vor allem seine Verbindung zum Hüllrohr auf der freien Länge elektrisch dicht ausgeführt werden (**Bild 9**).



- 1 Innerer Ankerstutzen aus PE  
(werkseitig mit Ankerhüllrohr verschweisst)
- 2 Isolationsplatte
- 3 Verbindungsdetail (nicht massstäblich)
- 4 Entwässerungs- und Belüftungsöffnung
- 5 Dicker Anstrich mit Korrosionsschutzfett
- 6 Schutzdeckel mit elektrisch isolierender Beschichtung
- 7 Sekundäre Zementinjektion aussen
- 8 Sekundäre Zementinjektion innen

Bild 9: vollständig elektrisch isolierte Ankerkopfkonstruktion

Ermutigt durch Vertreter des Bundesamtes für Strassenbau (ASB, heute ASTRA) haben wir 1991 eine Verankerung mit 100 Ankern à  $P_0 = 2'000$  kN mit dieser Anforderung ausgeschrieben, wobei wir eine Ausfallquote von 10 % akzeptierten. Dies, um die Hürde nicht unerreichbar hoch zu setzen, aber auch mit der Überlegung, dass bei einer umfangreichen Verankerung eine Ausfallquote von 5 bis 10 % beim umfassenden Korrosionsschutz sicherheitsmässig vertretbar und auch wirtschaftlich sinnvoll ist. Bekanntlich ist der Aufwand zum Erreichen der letzten 5 bis 10 % enorm gross. Und richtig konzipierte Verankerungen weisen genügend Redundanz auf, dass ein Ankerbruch das Bauwerk nicht unmittelbar gefährdet. Es bleibt genügend Zeit für den Ankerersatz. Zu beachten ist, dass Bauwerke, die mit weniger als 10 Ankern gestützt sind, von dieser Quotenregelung nicht betroffen sind.

Tatsächlich reichte eine mutige Ankerfirma eine entsprechende Offerte ein. Sie entwickelte zwei verschiedene Lösungen, die beide auf der Baustelle eingesetzt wurden:

Bei der ersten Lösung wird das Glatthüllrohr im Werk mit Spiegelschweissung mit einem konischen Formstück aus PE verbunden, das in die Aussparung der Ankerplatte eingepasst ist. Die Isolationsplatte unter der Ankerbüchse besteht aus druckfestem Cevolit und wird durch die Ankerkraft an das Formstück aus PE gepresst. Bei dieser Lösung wird die Ankerplatte somit im Werk vormontiert, das heisst sie funktioniert nur bei reinen Felsankern ohne Verrohrung der Bohrlöcher (**Bild 10**). 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.



Bild 10: Anker mit vormontierter Ankerplatte

Mit diesen Prototypen war die Machbarkeit einer vollständigen elektrischen Isolation der Anker von Baugrund und Bauwerk erwiesen (**Bild 11**). Die 1995 erschienene Empfehlung SIA V 191 „Vorgespannte Boden- und Felsanker“ forderte deshalb folgerichtig für alle permanenten Anker diese Anforderung. Überdies verlangte sie eine erstmalige Prüfung der Ankersysteme.

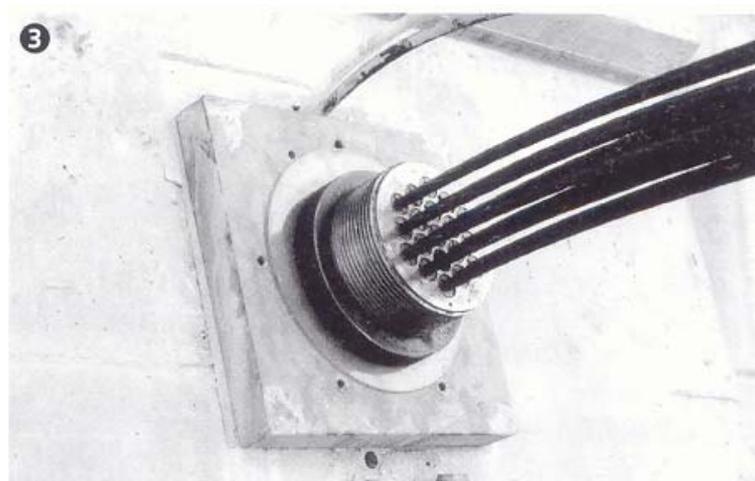


Bild 11: Der erste vollständig elektrisch isolierte Anker (1992)

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 "Geotechnik" übernahm die Anforderungen der E SIA V 191 (1995). Anstelle einer erstmaligen Prüfung verlangt sie jedoch für Ankersysteme eine technische Zulassung, die gemäss den gesetzlichen Bestimmungen periodisch zu erneuern ist.

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

Vor 19 Jahren sind die ersten elektrisch isolierten Anker (noch ohne Isolation des Ankerkopfes) eingebaut worden, vor 14 Jahren die ersten vollständig elektrisch isolierten Anker. Damit ist das Ziel eines wirklich umfassenden Korrosionsschutzes, dessen Wirksamkeit während der ganzen Nutzungsdauer überprüfbar ist, erreicht. Bisher sind denn auch keine Schäden an solchen isolierten Ankern festgestellt worden.

Wenn Anker bei der Abnahme die normgemässen Anforderungen bezüglich des Korrosionsschutzes erfüllen, sind meines Erachtens nur noch folgende Gefährdungen für die Dauerhaftigkeit der Anker denkbar:

- Vorschädigungen der Spannstahls 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) (**Bild 12**). 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.



Bild 12: ungenügend geschützte Litzen in Bauphase

Eine Frage ist noch nicht geklärt: Seit 1992 haben wir bei allen von uns projektierten permanenten Verankerungen konsequent alle Messanker auch mit Kabeln zur Messung des elektrischen Widerstandes ausgerüstet und diese Messungen in den Überwachungsplan integriert. Diese Ausrüstung ist mit einem bescheidenen Mehraufwand verbunden, weil die Messanker ja sowieso mit Messkabeln für die Kraftmessung versehen werden. Bei einzelnen Objekten haben wir auch die Kontrollanker mit solchen Messkabeln ausgerüstet. Einige wenige Ingenieure haben diese von der Norm nicht vorgeschriebene Überwachungsmöglichkeit ebenfalls angewendet.

Die periodisch durchgeführten Messungen ergaben bei einigen Ankern beträchtliche Schwankungen der elektrischen Widerstände (**Bild 13**). Weil wir dafür keine Erklärung hatten, weckten diese Ergebnisse bei kritischen Bauherrschaften Zweifel an der Messmethode und ihrer Aussagekraft. Zu beachten ist, dass diese Messungen der elektrischen Widerstände zeitlich weit auseinander liegende Momentaufnahmen darstellen. Eine Einrichtung zur Beobachtung der stündlichen oder täglichen Schwankungen, wie dies für Ankerkräfte heute problemlos möglich ist, stand uns wegen der hohen Messspannung von 500 V nicht zur Verfügung.

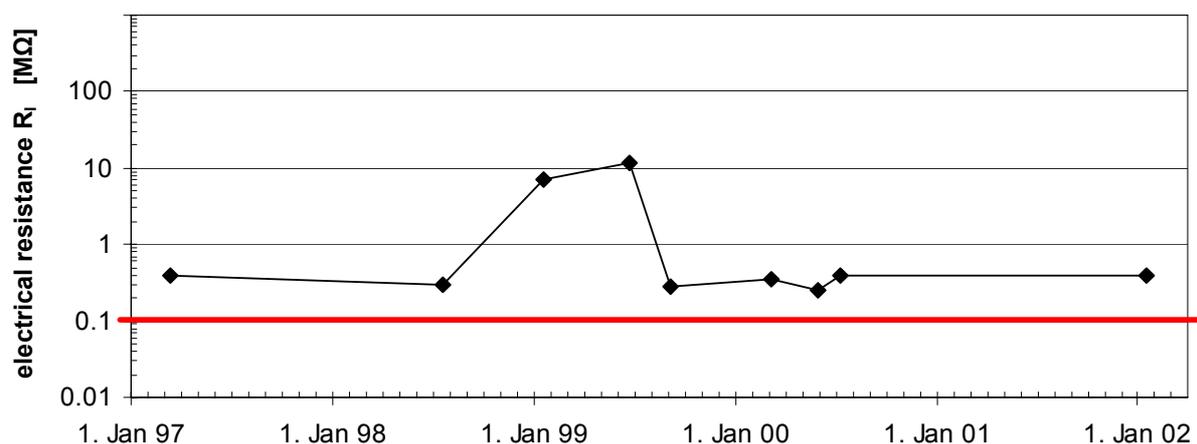


Bild 13: Schwankungen des elektrischen Widerstandes

Wir suchten deshalb das Gespräch mit der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK), der Nachfolgerin der Korrosionskommission, die uns beim Bahnhof Stadelhofen beraten hatte. Nachdem die SGK die Machbarkeit einer kontinuierlichen Messung des Korrosionsschutzes bejaht hatte, ersuchten wir die Arbeitsgruppe Brückenforschung des ASTRA um einen Forschungsauftrag, um diese Problematik zusammen mit der SGK zu klären. Der Auftrag wurde Ende 2002 erteilt, seit Anfang 2003 sind die kontinuierlichen Messungen im Gang. Über die Ergebnisse kann noch nicht abschliessend berichtet werden. Erste Erkenntnisse deuten darauf hin, dass Kondensationsprozesse im Ankerkopfbereich für die Schwankungen der elektrischen Widerstände verantwortlich sind. Und dass - zunächst für uns verblüffend, aber eigentlich logisch - Anker für den Ankerkopf je nach Jahreszeit als Wärme- oder Kältelieferant wirken. Die Auswirkungen dieses Energietransfers vom Baugrund zum Ankerkopf hängen von der Ankerkopfkonstruktion ab. In bestimmten Fällen kann im Sommer die Kühlung durch den Anker im kritischen Bereich zu Kondensation führen, was den elektrischen Widerstand massiv abfallen lässt. Oder aber die Wärmezufuhr im Winter kann die Kondensation im kritischen Bereich verhindern. Dies alles sind - wie gesagt - vorläufige erste Erkenntnisse. Der Forschungsauftrag sollte Ende 2005 abgeschlossen sein.