

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 38

Artikel: Korrosionsprüfungen an Vorspannkabeln und Injektionsankern
Autor: Kapp, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76707>

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: 28.04.2026

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

Korrosionsprüfungen an Vorspannkabeln und Injektionsankern

Von Hans Kapp, St. Gallen/Bern

Nachdem der Glaube an eine mehr oder weniger «ewige» Dauerhaftigkeit von Baustoffen wie Beton und Stahl in den letzten Jahren gehörig erschüttert worden ist, liegt es im Zuge der Zeit, Prüfmethoden zu suchen, welche ohne grossen Aufwand eine möglichst zuverlässige Diagnose über den Zustand von Beton-Tragelementen, Vorspannkabeln, Stahlankern und anderen gefährdeten Baustrukturen erlauben. Im vorliegenden Artikel wird eine neue, zerstörungsfreie Methode, die sogenannte *reflektometrische Impulsmessung*, vorgestellt, die es erlaubt, für sich allein oder in Kombination mit anderen Prüfmethoden eine konkrete und verbindliche Zustandsanalyse abzugeben.

Methodik

Die Problematik zerstörungsfreier Korrosionsprüfungen an Vorspannkabeln und Ankern liegt u. a. darin, dass beide im allgemeinen nur schwer und nicht auf ihrer ganzen Länge zugänglich sind. Es geht somit darum, eine Methode zu entwickeln, welche es erlaubt, die Zustandsprüfung von den freigelegten Spannköpfen oder einer allenfalls besser zugänglichen Stelle aus durchzuführen. Das Produkt dieser Bemühungen bezeichnen wir als *reflektometrische Impulsmessung*. Je nach Befund dieser Reflektometrie können weitere Untersuchungen dann gezielt im unmittelbaren Bereich einer als schadhaft diagnostizierten Stelle angesetzt werden, z. B. mittels potentiometrischer Half-cell-Messungen, Endoskopie und/oder Ultraschall.

Reflektometrische Impulsmessungen basieren auf physikalischen Gesetzmässigkeiten, wie sie für einen Wechselstromkreis gelten. Demnach wirkt in einem elektrischen Leiter (z. B. einem Spannkabel) beim Anlegen einer Wechselspannung ein Scheinwiderstand, die sogenannte Impedanz. Sie setzt sich zusammen aus einem realen ohmschen Anteil, dem sogenannten Wirkwiderstand, und einem imaginären Anteil, dem Blindwiderstand mit induktiver und kapazitiver Wirkung. Spannung und Strom an den verschiedenen Komponenten des Blindwiderstandes sind zueinander phasenverschoben und erzeugen daher keine Wirkleistung. Der Strom am Blindwiderstand ist somit gegenüber der am Kabel angelegten Spannung ebenfalls ausser Phase. Der Grad dieser Phasenverschiebung hängt

seinerseits vom jeweiligen Anteil kapazitiver und induktiver Widerstände am gesamten Blindwiderstand ab. Dieses Phänomen zeichnet sich um so deutlicher ab, je höher-frequent der verwendete Wechselstrom ist. Hochfrequente Ströme haben überdies die Eigenschaft, dass sie sich bevorzugt auf der Leiteroberfläche, also im primär korrosionsgefährdeten Teil eines Kabels, ausbreiten (sog. Skin-Effekt).

Die oben erwähnte Impedanz führt nun in jedem Fall zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Energieabsorption, die einerseits von der gewählten Frequenz des Wechselstroms, andererseits von den elektrischen Charakteristika des Kabels und dessen Umhüllung abhängt. Besitzt die verwendete Wechselspannung die Resonanzfrequenz des elektrischen Leiters bzw. des Kabels, so geht der imaginäre Blindwiderstand mit seinem induktiven und kapazitiven Anteil gegen Null. Die zugehörige minimale Impedanz nennt man «charakteristische Impedanz» des Kabels, welche zusammen mit der Resonanzfrequenz die Basisparameter für die reflektometrische Impulsmessung bildet.

Trifft der ausgesandte Impuls auf eine Fehlstelle (Korrosion, Hohlraum usw.), so ändert sich die Impedanz des Kabels, und ein Teil der Energie wird zum Ausgangspunkt reflektiert, wo er sich dem emittierten Signal überlagert. Durch Verwendung geeigneter elektronischer Apparaturen ist es nun möglich, das ausgesandte von dem es überlagernden reflektierten Signal zu trennen und die massgeblichen elektrischen Parameter zu bestimmen:

- Resonanzfrequenz des Kabels;

- vom Kabel absorbierte elektrische Energie;
- «Charakteristische Impedanz» des Kabels;
- Verschiebung des reflektierten Signals gegenüber dem ausgesandten.

Mit diesen Faktoren lassen sich Art und Intensität einer Anomalie diagnostizieren.

Führt man nun noch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen Welle im Kabel ein, so lässt sich die Lage einer registrierten Anomalie nach der Formel

$$L = \frac{t \cdot v}{2}$$

ermitteln, wobei

L = Distanz der Anomalie hinter dem Spannkopf

t = gemessenes Zeitintervall

v = Wellenausbreitungsgeschwindigkeit.

Die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit wird experimentell zu $v \sim 3 \cdot 10^8 \cdot (0.5 \div 0.6)$ m/sec bestimmt. Die elektronische Verarbeitung derart hoher Geschwindigkeiten bzw. die Auflösung von extrem kurzen Zeitdifferenzen Δt in der Grössenordnung n sec ist ausgesprochen schwierig. Die lagemässige Ortung einer schadhaften Stelle ist deshalb zurzeit noch mit einem Fehlerbereich von $\pm 5 - 8\%$ behaftet.

Praktisches Vorgehen

Vorspannkabel

In der Praxis geht man im allgemeinen so vor, dass zuerst am freigelegten Spannkopf mittels eines elektrischen Gleichstroms geprüft wird, ob die einzelnen Litzen und Drähte eines Kabels miteinander in Kontakt stehen. Abnormale Widerstandswerte können bereits erste Hinweise auf aktive Oxydationsprozesse liefern. Nachdem in einem nächsten Schritt die charakteristische Resonanzfrequenz ermittelt worden ist, werden anschliessend die Phasenverschiebungen für variable Frequenzen ober- und unterhalb der Resonanzfrequenz bestimmt. Die vom Ende des Kabels oder von einer Fehlstelle (Korrosion, Hohlraum) reflektierten Impulse werden entweder photographisch (über ein Oszilloskop) oder digitalisiert auf einem y/t-Diagramm festgehalten.

Zeigt sich hierbei eine Anomalie, so wird deren Lage in Funktion des gemessenen Δt geortet, während sich Art und Grad der Anomalie aus der Konfiguration der reflektierten Signale ableiten lassen.

Die eigentliche Diagnose, z. B. «Kabel intakt» oder aber «schwerwiegende Korrosion zwischen x+y m hinter dem Spannkopf» setzt beträchtliche Erfahrung im Umgang mit elektronischen Messmethoden ebenso wie ein möglichst weitgehendes Verständnis für die Belange des Ingenieurs voraus. Von dieser Diagnose hängt ja nicht nur der Entscheid über das weitere Vorgehen, sondern in letzter Konsequenz auch der sichere Bestand eines Bauwerkes ab. Kommt der Diagnostiker zum Schluss, dass eine schwerwiegende Anomalie vorliegt, so wird in einer zweiten Phase zweckmässig auf potentiometrische Half-cell-Messungen umgestellt. Letztere basieren auf dem galvanischen Prinzip, wonach jeder aktive Korrosions- bzw. Oxydationsvorgang ein elektrisches Feld erzeugt. Die hierbei im mV-Bereich messbaren Spannungen sind normalerweise um so grösser, je intensiver der Korrosionsprozess ist. Vorerst wird im Bereich der näherungsweise reflektometrisch georteten Korrosionsstelle auf der Betonoberfläche – soweit zugänglich – ein Netz mit je ~10–20 cm Maschenweite aufgezeichnet. In den Schnittpunkten wird anschliessend mit Kupfer/Kupfersulfat-Halbzellen die Spannung zwischen dem eingebetteten Kabel und der Be-

tonoberfläche gemessen und registriert. Die Zonen mit der grössten negativen Spannungsanomalie entsprechen im allgemeinen den Stellen stärkster aktiver Korrosion. Hohe positive elektrische Potentiale lassen auf das Vorhandensein einer isolierenden Zone zwischen dem Kabel und seiner Umhüllung schliessen (z. B. ein Hohlraum), was u.a. eine Folge weit fortgeschrittener Korrosionsvorgänge oder fehlerhafter Injektion sein kann.

Nachdem auf diese Art die Fehlstelle genau lokalisiert und der Grad des Korrosionsfortschrittes näherungsweise quantifiziert ist, wird gemeinsam mit den verantwortlichen Instanzen entschieden, ob die kritische Stelle freigelegt und visuell bzw. mittels Endoskop inspiziert werden muss. Falls sich umgekehrt eine Anomalie als nicht sehr schwerwiegend erweist und demnach auf die visuelle Prüfung verzichtet wird, kann es zweckmässig sein, die reflektometrischen und evtl. auch die Half-cell-Messungen nach einer gewissen Zeit zu wiederholen. Der quantitative Vergleich der Messwerte zeigt dann mit grosser Zuverlässigkeit, ob eine früher geortete Korrosionsstelle stationär bleibt oder ob der Korrosionsprozess in kritischer Weise fortschreitet.

Anker

Bei Fels- und Lockergesteinsankern sind potentiometrische Half-cell-Messungen im allgemeinen nicht möglich (keine seitliche Zugänglichkeit). Wir beschränken uns deshalb z. Zt. auf re-

flektometrische Impulsmessungen ab freigelegtem Spannkopf, die im wesentlichen genau gleich ablaufen wie bei Vorspannkabeln. Nebst der Überprüfung der effektiven Ankerlänge – manchmal kommen hierbei erstaunliche Fakten zum Vorschein – kann damit zuverlässig nachgewiesen werden, ob ein verlegter Anker intakt ist oder ob er Korrosionsmängel aufweist. Im letzteren Fall empfiehlt es sich, den Korrosionsfortschritt durch periodisch wiederholte Messungen unter Kontrolle zu halten. Der Zeitpunkt, in dem ein gefährdeter Anker ausgebaut bzw. ersetzt werden muss, lässt sich auf diese Weise mit hinreichender Genauigkeit eruieren.

Möglichkeiten und Anwendungsgrenzen

Während potentiometrische Half-cell-Messungen an Armierungsstahl schon seit längerer Zeit und z. T. (allerdings mit wechselndem Erfolg) auch routinemässig durchgeführt werden, handelt es sich bei den hier vorgestellten reflektometrischen Impulsmessungen um ein neues Verfahren, das noch in der Bewährung steht. Die bisher gesammelten Erfahrungen geben jedoch berechtigten Anlass zur Hoffnung, dass es sich dabei um ein Instrument handelt, das ohne grossen Aufwand eine zuverlässige Diagnose über den Korrosionszustand von Spannkabeln und Ankern erlaubt. Versuche im Massstab 1:1 an einbetonierten und mit bekannten Mängeln behafteten Kabeln haben bestätigt, dass sowohl die lagemässige Ortung wie auch die qualitative Beurteilung einer schadhafte Stelle mit beträchtlicher diagnostischer Zuverlässigkeit möglich ist:

Bild 1 zeigt die Gegenüberstellung des Einbauzustandes mit dem diagnostischen Befund reflektometrischer Messungen an zwei Vorspannkabeln. Hierin bedeuten:

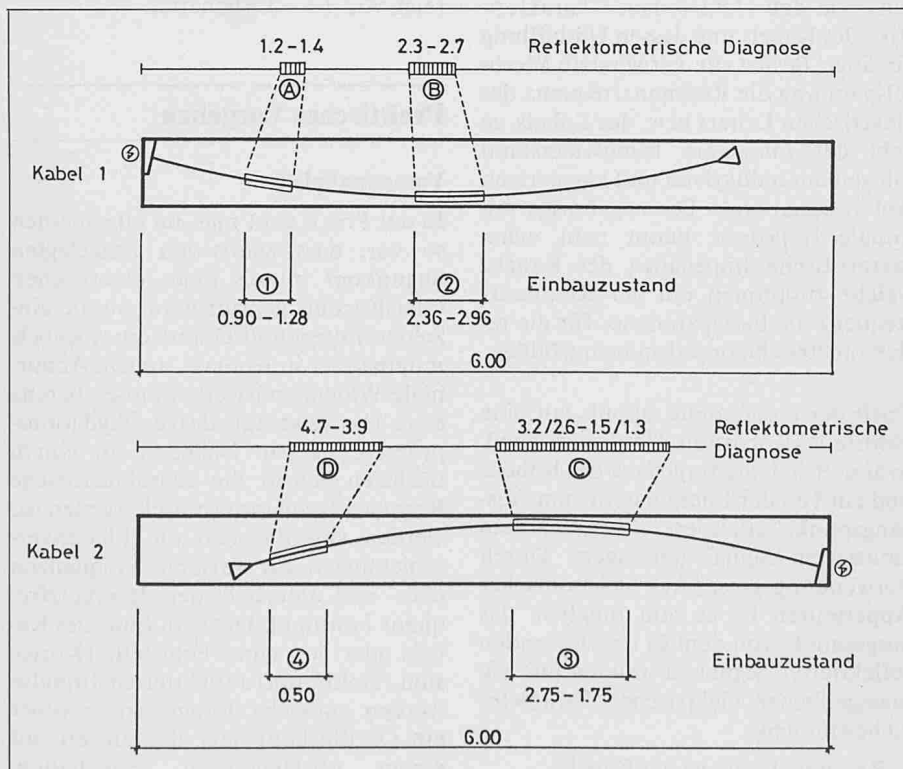
- Kabel 1**
Einbauzustand:
1. 3 von 22 Drähten fehlen
2. Hohlraum in der Injektion

- Reflektometrische Diagnose:
A. Verminderter Kabelquerschnitt oder starke Korrosion
B. Hohlraumbildung / mangelhafte Injektion

- Kabel 2**
Einbauzustand:
3. Drähte angerostet
4. Nicht injizierte Zone

- Reflektometrische Diagnose:
C. Fortgeschrittene Korrosion
D. Hohlraumbildung / mangelhafte Injektion

Bild 1. Reflektometrische Korrosionsprüfungen an zwei Vorspannkabeln mit eingebauten Mängeln



Bei einem dritten Kabel, das ohne gewollte Mängel eingebaut wurde, zeigten sich auch in der reflektometrischen Diagnose keine feststellbaren Anomalien.

Diese Ergebnisse dürfen unseres Erachtens – was die Tauglichkeit der Prüfmethode betrifft – als durchaus positiv beurteilt werden. Wenn sie gemeinsam mit dem zuständigen Ingenieur interpretiert werden, ist auf jeden Fall eine Diagnose in dem Sinne möglich, ob und wenn ja, wo gravierende Mängel festgestellt worden sind, oder aber ob sich das geprüfte Kabel in einem Zustand befindet, der vorerst keine weiteren Massnahmen erfordert.

Die bis anhin in Erscheinung getretenen Anwendungsgrenzen sind folgende:

- Der Spannkopf muss zugänglich sein und freigespitzt werden können.
- Je länger das zu prüfende Kabel, um so grösser ist die Fehlertoleranz bei der lagemässigen Ortung einer schad-

haften Stelle. Bei bekannter Kabellänge kann allerdings das vom Kabelende reflektierte Signal geeicht und damit die Genauigkeit wesentlich verbessert werden.

- Bei mehreren hintereinander liegenden Fehlstellen können im allgemeinen nur die am nächsten beim Ausgangspunkt (Spannkopf) liegenden Anomalien zuverlässig erfasst werden.
- Die unmittelbar hinter dem Spannkopf liegende Zone kann derzeit noch nicht mit der wünschenswerten Genauigkeit erfasst werden (zu kleines Δt).
- Die effektive Länge schadhafter Stellen kann im allgemeinen nur sehr näherungsweise angegeben werden.
- Wenn die reflektometrische Diagnose mehr oder weniger gravierende Korrosionsschäden aufgedeckt hat, soll ein endgültiger Entscheid über das weitere Vorgehen nach Möglichkeit auf zusätzliche Untersuchungen

wie z. B. örtliche Spannungsmessungen (Half-cell), Endoskopie usw. abgestützt werden.

Armierungseisen, die in elektrischem Kontakt mit einem Vorspannkabel stehen, haben entgegen einer weitverbreiteten Meinung im allgemeinen keinen negativen Einfluss auf das Ergebnis reflektometrischer Korrosionsprüfungen. Im übrigen darf davon ausgegangen werden, dass die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der elektronischen Messtechnik auch die derzeitigen Anwendungsgrenzen und Systemfehler weiter hinunterdrücken wird.

Adresse des Verfassers: Hans Kapp, Geologe, Dr. phil. II, Grundbauberatung / Geoconsulting AG, Teufenerstrasse 25, 9000 St. Gallen.

Tunnelbauarbeiten

Grundsätzliche Anmerkungen zur Ausschreibung

Von Max Herzog, Aarau

Die Diskussionen über die zweckmässige Ausschreibung von Tunnelbauarbeiten sind ebenso alt wie der Tunnelbau selbst. Da sich die verschiedenen Randbedingungen (wie Geologie, geotechnische Eigenschaften des Gebirges, Wasserführung, Bauverfahren, Termine u.a.m.) von Bauvorhaben zu Bauvorhaben ändern, ist eine Systematik zur sinnvollen Ausschreibung von Tunnelbauarbeiten [1] sehr erwünscht.

Einleitung

In der Schweiz wurde bereits wertvolle Pionierarbeit geleistet, so etwa in:

- SIA-Norm 118: Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten (1977),
- SIA-Norm 198: Untertagbau (1975),
- SIA-Norm 199: Erfassen des Gebirges im Untertagbau (1975),
- SIA-Norm 196: Baulüftung von Untertagbauten (1983),
- SIA-Norm 195: Pressvortrieb (1984),
- SIA-Empfehlung 198/1: Tunnel- und Stollenbau im Fels mit Vollvortriebsmaschinen (1985) und
- Normpositionenkatalog (NPK) für den Tiefbau, Band V: Untertagarbeiten, herausgegeben vom SIA (1979).

Selbstverständlich werden solche Regelwerke von nationalen Gewohnheiten mitgeprägt. Trotz der bekannten Nachteile (vgl. [2] S. 774) ist es zweck-

mässiger, der Ausschreibung von Tunnelbauarbeiten derartige Regelwerke, welche durch einen Konsens von Bauherren, Planern und Unternehmern zustande gekommen sind, zugrunde zu legen, als bei jedem Bauvorhaben alles neu zu formulieren.

Vorarbeiten

Voraussetzung für eine sinnvolle Ausschreibung von Tunnelbauarbeiten sind das Vorhandensein des *baureifen* Projektes samt den Berichten der beigezogenen Spezialisten für Geologie, Geotechnik und Hydrologie sowie Angaben über die Verkehrserschliessung, Installationsplätze, Aushubdeponien, Wasser- und Stromversorgung, Abwasserbeseitigung, Schneeräumung, Telefon, Arzt und Spital.

Leistungsverzeichnis

Der in der Schweiz den Ausschreibungen von Tunnelbauarbeiten im allgemeinen zugrunde liegende Normpositionenkatalog (NPK) für den Tiefbau, Band V (herausgegeben 1979 vom SIA) enthält vier Hauptabschnitte mit verschiedenen Unterabschnitten

01 Kostengrundlagen

- 011 Lohnkostenansätze
- 013 Materialgrundpreise

02 Regieansätze

- 022 Löhne
- 023 Materialien
- 024 Maschinen und Geräte

50 Baustelleneinrichtungen

- 502 Allgemeine Baustelleneinrichtungen
- 503 Baracken
- 505 Installationen für Betonarbeiten
- 507 Druckluft- und Druckwasseranlagen
- 508 Spezielle Installationen für Untertagarbeiten

51 Untertagarbeiten

- 511 Ausbrucharbeiten
- 512 Wasserhaltung
- 513 Sicherungsarbeiten und Betonschalensbauweise
- 514 Äussere Verkleidung
- 515 Entwässerung und Abdichtung
- 516 Sondierbohrungen und Injektionen
- 517 Innenausbau
- 519 Verschiedene Arbeiten