

**Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation / Bundesamt für Strassen**

**Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de
la communication / Office fédéral des routes**

**Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle
comunicazioni / Ufficio federale delle strade**

Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau

Techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil

**Andreas Steiger & Partner AG, Luzern
Beratende Bauingenieure SIA USIC**

**A. Steiger, dipl. Ing. ETH
G. Stutz, dipl. Ing. ETH**

**Forschungsauftrag 85/99 auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung**

Dezember 2000

551

Bundesamt für Strassen

Forschungsauftrag 85/99 auf Antrag der Arbeitsgruppe
Brückenforschung

Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau

Aktualisierte Ausgabe der gleichnamigen Dokumentation des Impulsprogrammes Bau – Erhaltung und Erneuerung des Bundesamtes für Konjunktur von 1991. Aktualisierung und Druck der vorliegenden Ausgabe sind finanziert über die Kredite der Forschung im Strassenwesen des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Forschungsauftrag Nr. 85/99).

Andreas Steiger & Partner AG, Luzern
Beratende Bauingenieure SIA USIC

A. Steiger

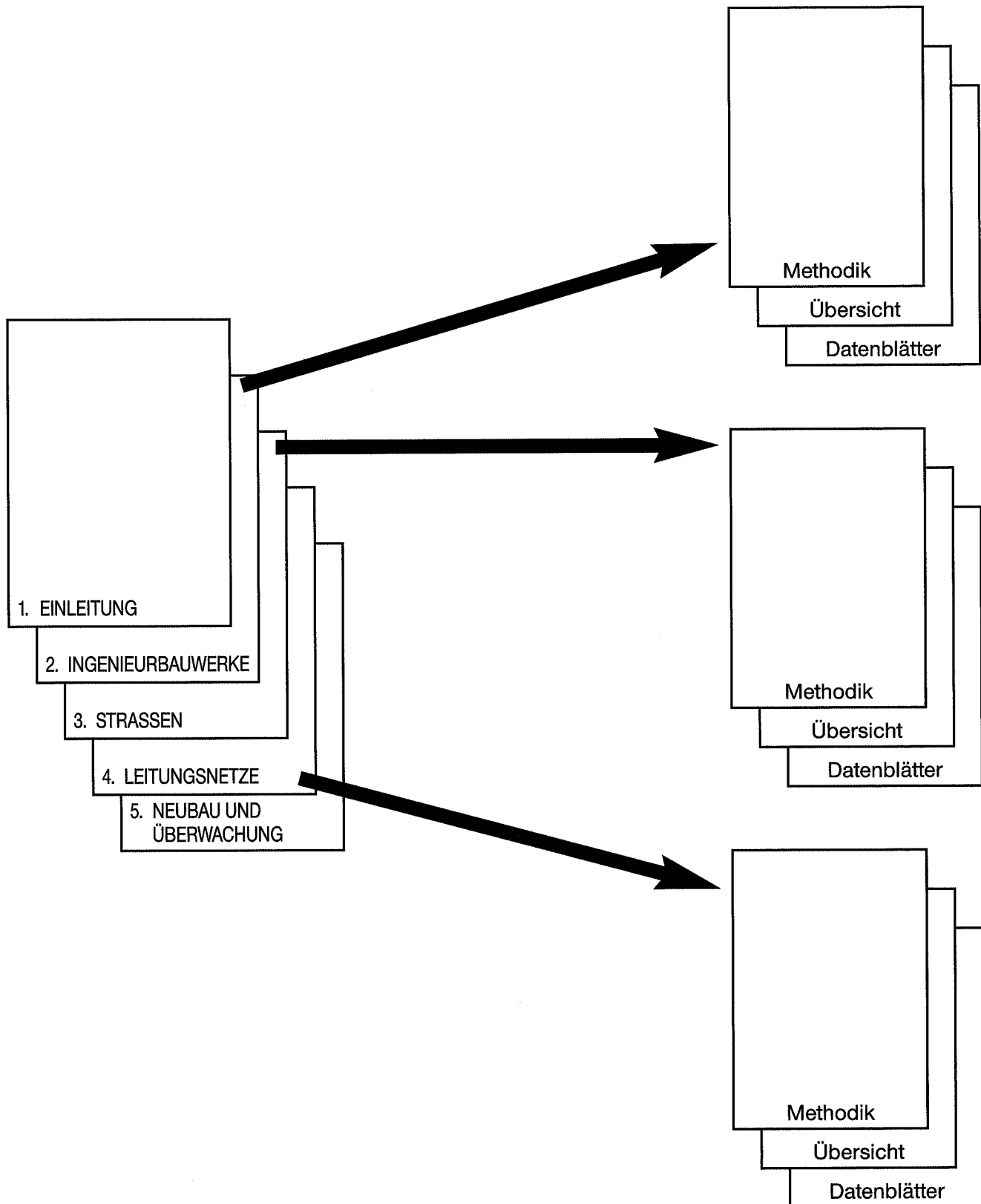
G. Stutz

Dezember 2000

Bezug: Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich
oder
Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern (Art. 308.325.d)

Wo finde ich Was?

Eine Orientierungshilfe zum Handbuch über Untersuchungstechniken.



Inhalt

	Seite
Wo finde ich was?	2
Impressum	4
Vorwort	6
Zusammenfassung	9
Résumé	9
1 Einleitung	10
2 Ingenieurbauwerke	17
2.1 Untersuchungsmethodik für Ingenieurbauwerke	20
2.2 Visuelle Untersuchung von Bauwerken	27
2.3 Checklisten für die visuelle Untersuchung	32
2.4 Planung und Beurteilung von Messungen	36
2.5 Übersicht über Untersuchungstechniken	45
2.6 Datenblätter zu Untersuchungstechniken	61
3 Strassen	107
3.1 Untersuchungsmethodik für Strassen	110
3.2 Übersicht über Untersuchungstechniken	115
3.3 Datenblätter zu Untersuchungstechniken	119
4 Leitungsnetze	137
4.1 Untersuchungsmethodik für Leitungsnetze	140
4.2 Übersicht über Untersuchungstechniken	143
4.3 Datenblätter zu Untersuchungstechniken	151
5 Neubau und Überwachung	179
5.1 Grundsätzliches	180
5.2 Beispiel aus dem Hochbau	185
5.3 Beispiele aus dem Brückenbau	186
6 Anhang	193
6.1 Sachregister	194
6.2 Abkürzungsverzeichnis	197
6.3 Abbildungsnachweis	198

Impressum zur aktualisierten Ausgabe 2000

Zur vorliegenden aktualisierten Ausgabe des «Handbuches über Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau» haben wiederum eine grosse Anzahl von Fachleuten aus Verwaltung, Fachverbänden, Forschungs- und Lehrinstituten sowie Ingenieurbüros beigetragen.

Die nachfolgende Auflistung beinhaltet Personen und Stellen, die einen wesentlichen Beitrag geliefert haben. Auch die weiteren Beiträge in Form von Hinweisen, Auskünften und Ratschlägen seien an dieser Stelle verdankt.

Bearbeitung und Gesamtreaktion

Andreas Steiger & Partner AG,
Beratende Bauingenieure SIA USIC, Luzern
Andreas Steiger, Projektleiter
Gregor Stutz, Sachbearbeiter

Übersetzung ins Französische

Wilhelm Birchmeier, Ingénieur, Lausanne

Mitglieder der Begleitkommission

- H. Fleischer, Service des routes du canton de Vaud, Lausanne (Präsident)
- M. Donzel, Bundesamt für Strassen, Bern
- Prof. Dr. F. H. Wittmann, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion, ETH, Zürich
- Dr. M. Käser, Baudirektion des Kantons Zürich, Zürich

Ingenieurbauwerke

- J. Annoni, Proceq SA, Zürich
- E. Scheller, Geotest, Zollikofen
- E. Meier, Edi Meier + Partner AG, Winterthur
- H.-A. Haslinger, Galvaswiss, Aarberg
- U. von Matt, Dr. Vollenweider AG, Zürich
- W. Keel, Verkehrs- und Tiefbauamt des Kantons Luzern
- Labors: Technotest, Rüschlikon;
IMP, Oberbuchsitzen;
LPM, Beinwil am See;
TFB, Wildegg;
EMPA, Dübendorf

Strassen

- A. Jacot, S.A.C.R. SA, Zürich
- J. Scazziga, Viagroup AG, Winterthur
- Dr. Ch. Angst, IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen

Leitungsnetze

Aktualisierung der Datenblätter finanziert durch den Schweizerischen Verein für das Gas- und Wasserfach, SVGW, Zürich

- H. Huber, Merkl AG, Heiden (Aktualisierung Datenblätter)
- R. Porta, Franz Pfister AG, Zürich
- K. Bader, Stadtentwässerung Zürich
- Y. Schiegg, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz SGK, Zürich (S. ff)

Luzern, Dezember 2000

Impressum zur 1. Ausgabe 1991

Das vorliegende «Handbuch über Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau» ist durch die Arbeitsgruppe «Diagnosemethoden» des «IP-Bau-Erhaltung und Erneuerung, Fachbereich Tiefbau» ausgearbeitet worden. Fachbeiträge zu den einzelnen Teilabschnitten haben die nachfolgend aufgeführten Fachleute beigetragen. Die Arbeiten der Arbeitsgruppe wurden von einem Expertenteam begleitet.

Trägerschaft

- VSS Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
- SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
- STV Schweizerischer Technischer Verein
- VSA Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Bearbeitung

Gesamtredaktion und Leitung der Arbeitsgruppe
Andreas Steiger, Beratender Ingenieur, Luzern

Mitglieder der Arbeitsgruppe Diagnosemethoden

- Wilhelm Birchmeier, Ingénieur, Lausanne
- Roman Müller, H.U. Peter AG, Zürich
- Andreas Steiger, Beratender Ingenieur, Luzern
- Heidi Ungricht, SKS-Ingenieure AG, Zürich

Mitglieder des Expertenteams

- Michel Donzel, Bundesamt für Strassenbau, Bern
- Ewald Heimgartner, Ernst Basler & Partner AG, Zürich
- Dr. Fritz Hunkeler, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz SGK, Zürich
- Dr. Peter Ritz, Schneller Schmidhalter Ritz AG, Brig
- Ivan Scazziga, Viaconsult AG, Zürich (Vertreter VSS)
- Dr. Jost Studer, GSS-Ingenieure AG, Zürich

Autorenverzeichnis:

Ingenieurbauwerke

- Roman Müller, H.U. Peter AG, Zürich (18ff, 24ff, 30ff, 76ff)
- Heidi Ungricht, SKS-Ingenieure AG, Zürich (34ff)
- Dr. Ernst Büchi, Geotest AG, Zollikofen (66f)
- Alfred Hächler, LPM AG, Beinwil am See (68f, 70f, 74f)
- Dr. Bernhard Elsener, IBWK-ETH, Zürich (78f)
- Hanspeter Bänziger, VSL-Betonexpert, Bern (80f)
- Otto Schuwerk, Thalwil (88f, 90f, 92f)
- Ueli Meierhofer, EMPA, Dübendorf (96ff)
- Andreas Steiger, Beratender Ingenieur, Luzern

Strassen

- Ivan Scazziga, Viaconsult AG, Zürich (104f, 118f, 122f, 124f, 126f)
- Alain Jacot, S.A.C.R., Zürich (116f, 120f)

Leitungsnetze

- Alfred Huber, Merkl AG, Heiden (132ff, 150-161)
- Kurt Bader, Tiefbauamt der Stadt Zürich, Stadtentwässerung, Zürich (146f, 148f)
- Ernst Votapek, SVGW, Zürich (162f)
- Dr. Fritz Hunkeler, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Zürich (164ff)

Neubau und Überwachung

- Dr. Peter Ritz, Schneller Schmidhalter Ritz AG, Brig
- Andreas Steiger, Beratender Ingenieur, Luzern

An dieser Stelle sei auch allen weiteren Fachleuten aus Praxis, Lehre und Forschung, die wertvolle Beiträge in Form von Auskünften und Stellungnahmen zu einzelnen Kapiteln geleistet haben, bestens gedankt. Verschiedene Firmen haben in verdankenswerter Weise Unterlagen und Bildmaterial zur Verfügung gestellt.

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, April 1991

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Bestell-Nr. 724.453d).

Vorwort zu aktualisierter Ausgabe 2000

Die erste Ausgabe des *Handbuches über Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau* wurde 1991 durch das Impulsprogramm *Bau – Erhaltung und Erneuerung* publiziert. Die Auflage von 2000 Exemplaren der deutschen Ausgabe fand guten Absatz. Das Handbuch ist auch auf der CD mit allen IP-Bau Dokumenten abgespeichert.

Im Rahmen des IP-Bau fanden zum Thema des Handbuches zahlreiche, gut besuchte Tagungen statt. Das Handbuch hat damit offenbar einem Bedürfnis der Fachleute, die sich mit der Erhaltung von Tief- und Ingenieurbauten befassen, entsprochen.

Im Laufe der 90er-Jahre hat die Bauwerkserhaltung stark an Bedeutung gewonnen. Auch die Erfahrung mit dem Einsatz von Untersuchungstechniken ist damit gewachsen. Die Forschung und Entwicklung hat in dieser Zeit beachtliche Fortschritte erzielt.

Leider muss aber konstatiert werden, dass trotz erheblicher Anstrengungen der grosse Durchbruch bei den Untersuchungstechniken für Bauwerke ausgeblieben ist. Dies betrifft sowohl Geräte, wie auch deren Anwendung. Die äusserst heterogenen Baustoffe und die vielen unbekannten Randbedingungen erschweren den Einsatz von Untersuchungstechniken an Bauwerken. Untersuchungstechniken können die ingenieurmässigen Untersuchungen und Abklärungen unterstützen. Die Anwendung der Messtechniken, wie auch die Interpretation der Messergebnisse, erfordert eingehende fach- und messtechnische Kenntnisse sowie grosse Sorgfalt beim Messen, Auswerten und Interpretieren.

Ein bedeutender Einsatzbereich für Untersuchungstechniken ist der Brückenbau. Auf Anregung des Bundesamtes für Strassen, ASTRA, wurde deshalb eine Aktualisierung des Handbuches *Untersuchungstechniken für Tief- und Ingenieurbauten* im Rahmen der Strassenbauforschung des ASTRA geprüft. Die 1998 durchgeführte Erhebung bei Ingenieurbüros und Forschungsstellen bestätigte das Interesse an einer Aktualisierung.

Das vorliegende aktualisierte *Handbuch Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau* basiert in grossen Teilen auf der Ausgabe 1991 des IP-Bau. Die Angaben wurden in allen Teilen überprüft und ergänzt. Einzelne Datenblätter wurden umgestaltet. Einige Untersuchungstechniken, die in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen haben, sind neu aufgenommen worden:

- Schichtdickenmessungen (Beschichtungen auf Beton)
- Impact-Echo Methode
- Längsebenheit
- Querebenheit
- Zustandsaufnahme visuell
- Akustische Verlustkontrolle (Geräuschpegelmessung)

Verschiedene Ergänzungen wurden insbesondere auch im Kapitel *Neubau und Überwachung* erledigt. Dieses Kapitel soll helfen, die Erkenntnisse aus der Überwachung möglichst rasch im Neubau und in der Instandsetzung umzusetzen.

Auch die aktualisierte Ausgabe des Handbuches kann nicht alle Informationsbedürfnisse der Fachwelt abdecken. Die Herausgeber und die Autoren hoffen jedoch, dass diese aktualisierte Ausgabe wiederum grosse Verbreitung findet und zur Lösung von zahlreichen Fragen beitragen kann.

Der Dank ausgesprochen wird den vielen Fachleuten aus Ingenieurbüros, Verwaltungen, Untersuchungslabors und Forschungsstellen, die mit ihren Beiträgen erst die vorliegende Aktualisierung ermöglicht haben. Speziell verdankt wird der Beitrag des Schweizerischen Vereins für das Gas- und Wasserfach (SVGW), der die Aktualisierung der Datenblätter zu den Untersuchungstechniken für Wasser- und Gasleitungsnetze finanziert hat.

Ein abschliessender Hinweis gilt dem durch die Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin 1999, in einer Neuauflage publizierten *ZfPBau-Kompendium*. Das Kompendium enthält Informationen zu einer grossen Zahl von Untersuchungstechniken. Die Darstellung weicht von derjenigen im vorliegenden Handbuch ab und ist aus unserer Sicht etwas weniger auf die Anwendungspraxis bezogen. Es ist über das Internet (www.bam.de) abrufbar.

M. Donzel, Bundesamt für Strassen,
Leiter Bereich Kunstbauten

Vorwort zur 1. Ausgabe 1991

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf sechs Jahre (1990-1995) befristet und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen zusammen:

- Bau – Erhaltung und Erneuerung
- Ravel – Rationelle Verwendung von Elektrizität
- Pacer – Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll ein Beitrag zu einem verstärkt qualitativ orientierten Wirtschaftswachstum, d.h. zu einer rohstoff-, energie-, und umweltschonenden Produktion bei gleichzeitig verstärktem Einsatz von Fähigkeitskapital geleistet werden.

Die Voraussetzungen für die Instandhaltung wesentlicher Teile unserer Siedlungsstrukturen sind zu verbessern. Immer grössere Bestände im Hoch- und Tiefbau weisen aufgrund des Alterns sowie der sich wandelnden Bedürfnisse und Anforderungen technische und funktionale Mängel auf. Sie müssen – soll ihr Gebrauchswert erhalten bleiben – erneuert werden. Mit stetem «Flicken am Bau» kann diese Aufgabe nicht sinnvoll bewältigt werden. Neben den bautechnischen und -organisatorischen Aspekten bilden auch die rechtlichen Rahmenbedingungen, die fast ausschliesslich auf den Neubau ausgerichtet sind, Gegenstand des IP-BAU. Es gliedert sich entsprechend in die drei Fachbereiche Hochbau, Tiefbau, Umfeld.

Wissenslücken bei vielen Beteiligten – Eigentümer, Behörden, Planer, Unternehmer und Arbeitskräfte aller Stufen – sind zu schliessen, damit die technische und architektonische Qualität unserer Bauten, aber auch die funktionale, wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung vieler Quartiere, Dorf- und Stadtteile, erhalten oder verbessert werden können.

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos etc.

Umgesetzt werden sollen die Ziele des IP-BAU durch Aus- und Weiterbildung sowohl von Anbietern als auch Nachfragern von Erneuerungsdienstleistungen sowie durch Information. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie basiert hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen. Interessenten können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint zwei- bis dreimal jährlich und ist (im Abonnement) beim Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, gratis erhältlich.

Jedem Kurs- oder Veranstaltungsteilnehmer wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Die Publikationen können auch bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bestellt werden.

Zuständigkeiten

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Umsetzungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch Spezialisten auch die Beachtung der vielen Schnittstellen in der Bauerhaltung und -erneuerung sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus Vertretern der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programms fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten im Bereich der Bauerneuerung sicher. Branchenorganisationen übernehmen auch die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für die Vorbereitung ist das Projektleitungsteam (Reto Lang, Andreas Bouvard, Dr. Niklaus Kohler, Dr. Gustave E. Marchand, Ernst Meier, Dr. Dieter Schmid, Rolf Sägesser, Hannes Wüest und Eric Mosimann, BFK) verantwortlich. Die Hauptarbeit wird durch Arbeitsgruppen erbracht, die zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

Dokumentation

Die Zustandserfassung bildet die Grundlage für alle Erhaltungsmassnahmen – Unterhalt, Instandhaltung und Erneuerung. Das Handbuch über Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau befasst sich mit den Hilfsmitteln, die der Ingenieur für die Erfassung des Zustandes eines Bauwerkes benützt. Das Handbuch ist als Nachschlagewerk konzipiert. Ein Team von Autoren hat umfangreiche, sonst nur schwer zugängliche Informationen über Untersuchungstechniken zusammengetragen. Das Handbuch richtet sich primär an Ingenieure, die sich mit der Vorbereitung und Durchführung von Bauwerksuntersuchungen befassen.

Grossen Wert wird auf eine gesamtheitliche Betrachtungsweise gelegt. Neben den Untersuchungstechniken, die bei Ingenieurbauwerken zur Anwendung gelangen, werden auch solche, die bei Stassen und Leitungsnetzen zum Einsatz kommen können, behandelt.

Untersuchungstechniken können sinnvoll nur in einem sorgfältig erarbeiteten Konzept für die Zustandserfassung und -beurteilung Anwendung finden. Das Handbuch gibt dazu Hinweise. Zur Problematik der Zustandserfassung plant der Fachbereich Tiefbau des IP BAU weitere Aktivitäten. Ein ähnliches, aber auf die spezifischen Probleme des Hochbaues ausgerichtetes Handbuch befindet sich in Vorbereitung.

Nach einer Vernehmlassung und dem Anwendungstest in einer Pilotveranstaltung ist die vorliegende Dokumentation sorgfältig überarbeitet worden. Dennoch hatten die Autoren freie Hand, unterschiedliche Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen. Sie tragen denn auch die Verantwortung für die Texte. Unzulänglichkeiten, die sich bei der praktischen Anwendung ergeben, können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Anregungen nehmen das Bundesamt für Konjunkturfragen oder der verantwortliche Redaktor/-Kursleiter (vgl. S. 2) entgegen. Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

März 1991 Dr. H. Kneubühler
Stv. Direktor des Bundesamtes für
Konjunkturfragen

Zusammenfassung

Nachdem in den 50er bis 80er Jahren für die Bauwirtschaft der Neubau die zentrale Aufgabe bildete, hat in den letzten 10 Jahren die Erhaltung von Bauwerken stark an Bedeutung gewonnen. Die Festlegung des Erhaltungsbedarfes und der zweckmässigen Erhaltungsmassnahmen muss auf der Basis einer Diagnose, d.h. einer Beurteilung des Zustandes hinsichtlich Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sowie einer Abklärung der Schadenursachen erfolgen. Im Rahmen der meist mehrstufigen Zustandserfassung werden heute in vielen Fällen Untersuchungstechniken eingesetzt. Die wichtigste Untersuchungstechnik ist dabei weiterhin die visuelle Untersuchung oder der Augenschein. Aufwendigere Untersuchungstechniken werden in der Regel erst in der zweiten oder dritten Untersuchungsstufe zur Abklärung von Spezialfragen eingesetzt.

Das vorliegende Handbuch Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau gibt Informationen zur Untersuchung von Ingenieurbauwerken, Strassen und Leitungsnetzen sowie zu Massnahmen zur Erleichterung der Erhaltung bei Neubauten. Zu den drei Themen Ingenieurbauwerke, Strassen und Leitungsnetze wird die Systematik zur Erfassung und Beurteilung des Zustandes dargestellt. In Übersichtstabellen sind Hinweise zur Wahl geeigneter Untersuchungstechniken angeführt. Detailinformationen zu ausgewählten Untersuchungstechniken (Ingenieurbauwerke: 18 Datenblätter, Strassen: 7, Leitungen: 10) sind in übersichtlicher und strukturierter Darstellung abgefasst. In etwas abweichender Darstellung bietet das Handbuch Angaben zu den Themen Boden- und Felsanker, Holzbauteile (tragend) sowie Korrosion bei Leitungsnetzen.

Das Handbuch soll die mit der Zustandserfassung und -beurteilung beauftragten Fachleute bei der Wahl der zweckmässigen Untersuchungstechniken und bei der Kommunikation mit den Spezialisten unterstützen.

Die aktualisierte Ausgabe des Handbuches basiert auf der Ausgabe des gleichnamigen Handbuches des Impulsprogrammes Bau – Erhaltung und Erneuerung von 1991.

Résumé

Si au cours des années 1950 à 1980 la principale tâche de l'industrie de la construction a été la construction d'ouvrages nouveaux, les travaux de conservation des ouvrages ont gagné beaucoup d'importance dans le courant de ces 10 dernières années. La détermination des besoins en matière de conservation et des mesures adéquates nécessaires doit être faite à la suite d'un diagnostic, c'est à dire une appréciation basée sur les critères de la sécurité structurale, de l'aptitude au service et de la durabilité, mais aussi sur une recherche des causes des dégâts.

Dans le cadre de l'évaluation de l'état, en général effectuée en plusieurs étapes, il faut très souvent recourir aux techniques d'auscultation. La principale technique est sans doute l'auscultation visuelle, appelée examen visuel. Les techniques d'auscultation plus coûteuses ne sont en général mises en œuvre qu'en deuxième ou troisième étape de travail, dans le but de clarifier des points particuliers.

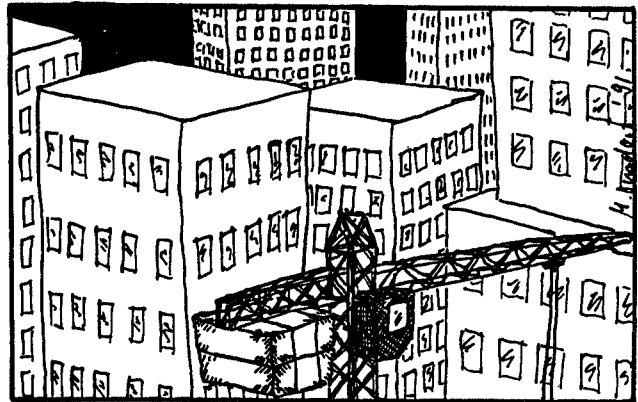
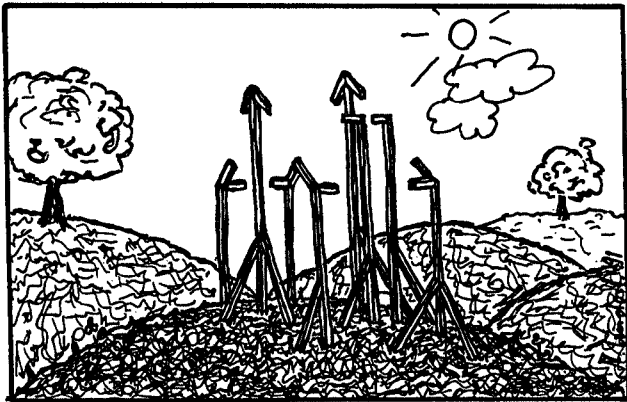
Le présent manuel sur les techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil donne des informations sur l'auscultation des structures, des routes et des réseaux de conduites, ainsi que sur les dispositions à prendre pour faciliter la conservation des constructions nouvelles. Pour chacun des trois thèmes, structures, routes et réseaux de conduites, le manuel traite de la systématique pour le relevé et l'appréciation de l'état d'un ouvrage. Des vues d'ensemble proposent des indications pour le choix des techniques d'auscultations adéquates. Les fiches détaillées pour les techniques d'auscultations choisies (au nombre de 18 pour les structures, 7 pour les routes et 10 pour les conduites) sont présentées selon un même schéma aisé à consulter. Seules sont présentées de façon un peu différente les fiches techniques relatives aux tirants d'ancrage en rocher et terrain meuble, aux éléments (porteurs) d'ouvrages en bois et à la corrosion dans les réseaux de conduites.

Le manuel doit apporter, aux professionnels chargés du constat et de l'appréciation des ouvrages, d'une part une aide pour le choix de techniques d'auscultation appropriées et d'autre part des éléments pour la communication avec les spécialistes.

La présente édition actualisée est basée sur le manuel de même nom édité en 1991 par le programme d'impulsion entretien et rénovation des constructions.

1 Einleitung

Im Laufe der achtziger Jahre hat die Bauwerkserhaltung stetig an Bedeutung gewonnen. Im Hochbau wurde im Jahre 1989 nur noch knapp die Hälfte der Investitionen für Neubauten (16 - 18 Mrd.) eingesetzt. 4 - 6 Mrd. (15 - 20%) wurden für Ersatzneubauten, ca. 6 Mrd. (15 - 20%) für Renovationen und Unterhalt sowie weitere ca. 7 Mrd. (22%) für Umbauten und Erneuerungen investiert. Diese Tendenz hat sich in den 90er-Jahren noch verstärkt, wie der Untersuchung des Schweizerischen Baumeisterverbandes zu entnehmen ist (Lit. 3).



Vom Bauen auf der grünen Wiese zur Erhaltung der Bausubstanz.

Die zunehmende Bedeutung der Bauwerkserhaltung zeigt sich auch bei den Normen und Richtlinien. 1997 hat die Norm SIA 469, Erhaltung von Bauwerken, die 1987 erschienene Empfehlung SIA 169, Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken, abgelöst. Die Norm SIA 469 regelt die Grundsätze und insbesondere die Begriffe übergreifend für Ingenieurbauwerke, Hochbauten und die gebäudetechnische Ausrüstung (Haustechnik-Anlagen). Sie soll damit eine Grundlage für eine durchgängige Erhaltungstätigkeit legen. Mit der Erhaltung von Strassen befasst sich eine ganze Zahl von Normen der VSS. In der zweiten Hälfte der 90er-Jahre hat speziell im Bereich der Erhaltung von Verkehrsnetzen der Aufbau von Datenbanken als Grundlage für das Erhaltungsmanagement stark an Bedeutung und insbesondere auch Akzeptanz gewonnen. Der SVGW besitzt seit längerem Richtlinien, die sich mit der Erhaltung von Wasser- und Gasversorgungssystemen befassen. Der VSA hat 1992 eine Richtlinie herausgegeben, die sich mit dem Unterhalt von Leitungen und Anlagen der Kanalisation befasst.

Ergänzend zu den nebenstehend aufgelisteten Normen und Richtlinien verwenden zahlreiche Organe und Verwaltungen (SBB, ASTRA, kantonale und kommunale Bauämter etc.) eigene Richtlinien für die Erhaltung.

IP-Bau, Erhaltung und Erneuerung

Das im Herbst 1989 von den eidgenössischen Räten bewilligte Impulsprogramm Bau – Erhaltung und Erneuerung, hat zwischen 1990 und 1995 in vielen Bereichen wertvolle Beiträge zur Förderung des Wissens rund um die Erhaltung von Bauwerken geleistet. Auch die vorliegende Dokumentation wurde im Rahmen dieses Programmes erarbeitet und konnte nun 1999/2000 dank der Finanzierung durch die Brückenforschung des ASTRA aktualisiert werden.

SIA:

SIA Norm 469 (1997),
Erhaltung von Bauwerken.

VSS:

SN 640 900 (1989),
Management der Strassenerhaltung.

SN 640 909 (1990),
Strassendatenbanken, Grundlagen.

SN 640 925a (1997),
Zustandserfassung und Bewertung von Strassen, inkl. 2 Beiblätter.

SN 640 930 (1989),
Gesamtbeurteilung des Zustandes von Kunstbauten.

SVGW:

W7 (1988),
Richtlinien für die Renovation von Wasserreservoiren.

W8 (1988),
Richtlinien für die Kontrolle und Reinigung von Wasserreservoiren.

G 2 (1986),
Richtlinien für den Bau, Unterhalt und Betrieb von Gasleitungen mit Betriebsdruck bis 5 bar.

VSA/Städteverband:

Unterhalt von Kanalisationen – Richtlinie für den Unterhalt von Leitungen und Anlagen der Kanalisation und der Grundstückentwässerung (1992 mit revidierten Anhängen von 1996 und 1998).

Einige wichtige Normen und Richtlinien zur Erhaltung der Bausubstanz.

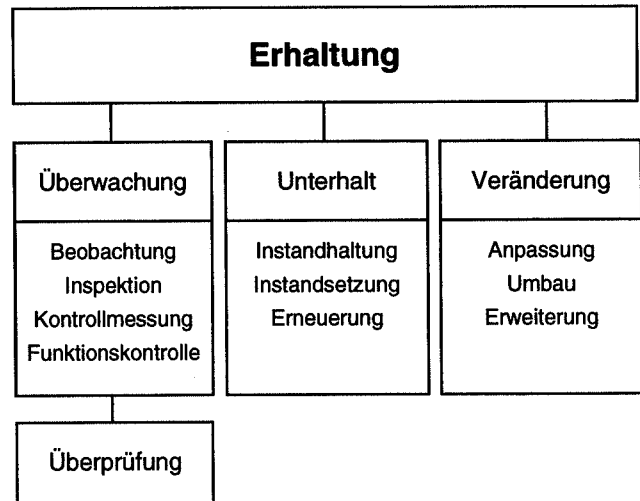
Begriffe

Die Norm SIA 469 (Kasten) unterscheidet innerhalb der Erhaltung die Unterbegriffe Überwachung, Unterhalt und Veränderung. Die Überwachung ist eine Tätigkeit, die anderen Erhaltungsmaßnahmen immer vorausgeht.

Innerhalb der Überwachung werden die Tätigkeiten Beobachtung, Inspektion, Kontrollmessung und Funktionskontrolle unterschieden. Dabei handelt es sich um Tätigkeiten, die in erster Linie von verschiedenen Personen und mit unterschiedlicher Zielsetzung vorgenommen werden. Zusätzlich zur Überwachung definiert die Norm SIA 469 die Überprüfung. Eine Überprüfung wird angeordnet, wenn aus den Überwachungstätigkeiten Zweifel über den Zustand erwachsen.

Alle diese Tätigkeiten basieren darauf, dass ein erfasster Zustand (IST-Zustand) mit einem SOLL-Zustand verglichen wird, aus diesem Vergleich eine Beurteilung erfolgt und bei Bedarf Massnahmen getroffen bzw. empfohlen werden.

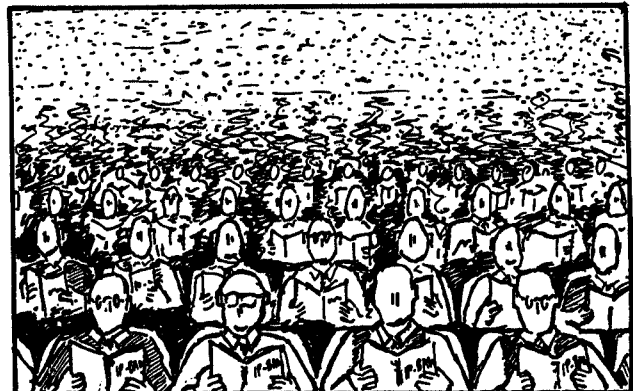
Andere Fachgebiete (z.B. VSS etc.) verwenden teilweise von der Norm SIA 469 abweichende Begriffsdefinitionen.



Begriffe nach Norm SIA 469.

Untersuchungstechniken

Für die Ermittlung des Ist-Zustandes bedient sich der Ingenieur vielerlei Hilfsmittel. Allen voran verwendet er seine Sinne (Augen, Hände, Ohren), um den Zustand eines Bauwerkes zu eruieren. In den letzten Jahren haben aber auch zahlreiche spezifische Untersuchungstechniken in der Zustandserfassung Einzug gehalten. Mit diesen Hilfsmitteln befasst sich das vorliegende Handbuch.



Zielpublikum

Das Handbuch richtet sich an Ingenieure und andere Fachleute, die sich im Tief- und Ingenieurbau mit der Zustandserfassung beschäftigen. Nach einer gewissen Einarbeitung kann das Handbuch im Sinne eines Nachschlagewerkes manche Frage rasch und aussagekräftig beantworten.

Zielsetzung des Handbuches

Die Entwicklung im Bauwesen hat in den vergangenen 30 Jahren zu einer starken Spezialisierung geführt. Diese Spezialisierung betrifft einerseits die Bauwerksarten, mit denen sich ein Baufachmann bzw. eine Baufachfrau beschäftigt, andererseits hat aber eine viel weitergehendere Aufteilung der Arbeiten in Projektierung, Bauleitung, Untersuchung, Prüfung, Wartung, Unterhalt etc. stattgefunden. Zusammen mit dem ins beinahe Unermessliche gewachsenen Umfang des Wissens erschwert diese Spezialisierung die Übersicht. Oft sind auch die Grundlagen für das gegenseitige Verständnis verschiedener, an der



gleichen Arbeit beteiligten Fachleute nicht vorhanden. Solche Umstände können den Erfolg eines Projektes beeinträchtigen oder sogar in Frage stellen. Das vorliegende Handbuch leistet in dieser Situation eine wichtige Informationsaufgabe. Es stellt den verschiedenen an der Zustandserfassung beteiligten Fachleuten grundlegende Informationen zu zahlreichen Untersuchungstechniken zur Verfügung und vermittelt einen Überblick über Untersuchungstechniken für Ingenieurbauwerke, Strassen und Leitungsnetze.

Zerstörungsfeie und zerstörungsarme Untersuchungstechniken bilden das Schwergewicht der Darstellung. *Übersichtstabellen* (blaue Seiten) geben Auskunft, welche Untersuchungstechniken für die Untersuchung einer bestimmten Konstruktion oder eines Baustoffes in Frage kommen können. Die Tabellen bilden den Einstieg ins Handbuch. Ausgewählte Untersuchungstechniken sind in den *Datenblättern* (grüne Seiten) näher erläutert. Aus einem Datenblatt gewinnt der Leser Grundinformationen zur dargestellten Untersuchungstechnik. Das Datenblatt ist aber keine Gebrauchsanweisung. Anhand der Grundinformationen lässt sich in der Planungsphase entscheiden, ob eine Untersuchungstechnik einen Beitrag zur Zustandserfassung leisten kann oder nicht. Für den Ingenieur haben die Grundinformationen insbesondere auch eine Bedeutung im Hinblick auf Gespräche mit den für die Untersuchung beigezogenen Spezialisten.

Untersuchungstechniken bilden im Rahmen einer Zustandserfassung Hilfswerkzeuge, die dem Ingenieur wichtige zusätzliche Informationen liefern können. Für die Qualität einer Zustandserfassung sind aber die richtige Planung und ein systematisches Vorgehen von grundlegender Bedeutung. Die Darstellung der Untersuchungstechniken ist im Handbuch deshalb ergänzt durch Beiträge zur *Untersuchungsmethodik* und im Falle der Ingenieurbauwerke zu den Themen *Visuelle Untersuchung und Planung und Beurteilung von Messungen*.

Die Auswahl der in den Datenblättern erläuterten Untersuchungstechniken erfolgte nach verschiedenen Kriterien. Im Zentrum der Darstellungen stehen in der Schweiz verbreitet angewandte, als praxistauglich anerkannte Untersuchungstechniken. Bereits in Normen ausführlich beschriebene Untersuchungstechniken werden jedoch nicht nochmals erläutert. Aus verschiedenen Diskussionen hat sich gezeigt, dass unter den Praktikern ein grosses Informationsbedürfnis zu einigen aufwendigeren, meist in Spezialfällen eingesetzten Techniken (z.B. Ultraschall, Infrarotthermographie, Georadar etc.) besteht. Diesem Bedürfnis wurde mit den entsprechenden Datenblättern Rechnung

Voraussetzung für die Anwendung jeder auch noch so einfachen Untersuchungstechnik ist eine gründliche Instruktion und entsprechende Erfahrung. Die Erläuterungen im Handbuch dürfen nicht als Gebrauchsanweisung missbraucht werden!

Hinweis und Warnung.

getragen. Eine Anzahl weiterer Datenblätter (Visuelle Untersuchung/Augenschein, Probeentnahme/Laborauftrag, Boden- und Felsanker, Holzkonstruktionen, Korrosion von Leitungsnetzen) weichen von der üblichen Struktur ab. Die behandelten Problemkreise haben bei der Zustandserfassung eine grosse Bedeutung, weshalb es den Verfassern angezeigt erschien, dem Leser in diesen Fällen etwas anders aufgebaute Informationen zu vermitteln. Die Reihenfolge der Datenblätter richtet sich nach der Reihenfolge des Erscheinens der Stichworte in den Übersichtstabellen.

Abgrenzung des Handbuches

Das Handbuch ergänzt bestehende Normen und Richtlinien. Im Unterschied zu diesen in der Regel auf einen spezifischen Fachbereich ausgerichteten Hilfsmitteln, informiert das Handbuch übergreifend über die verschiedenen Teilgebiete – Ingenieurbauwerke, Strassen, Leitungsnetze. Dies entspricht der Realität der Zustandserfassung. Wohl steht in den meisten Aufgabenstellungen ein Bauwerkstyp im Vordergrund, doch sind meist andere Teilgebiete ebenso zu berücksichtigen.

Es ist unmöglich und auch wenig sinnvoll, in einem solchen Handbuch Vollständigkeit anzustreben. Der Aufwand würde im Verhältnis zum gewonnenen Nutzen unverhältnismässig anwachsen und die Übersichtlichkeit der Information ginge verloren. Die getroffene Beschränkung zeigt sich insbesondere im Teilgebiet der Leitungsnetze. Es werden die Kanalisations-, Wasserversorgungs- und Niederdruckgasversorgungsnetze behandelt. Auf die Behandlung weiterer Netze (z.B. Elektrizitäts-, Telefon-, Fernheizungsnetze, Erdungsanlagen etc.) wurde bewusst verzichtet. Die behandelten Leitungsnetze stellen ein beträchtliches Investitionsvolumen dar, das sich auf eine grosse Zahl unterschiedlich organisierter Bauherren verteilt. Bei der Erhaltung dieser Netze kommen zudem häufiger als bei anderen Netzen private Ingenieurbüros zum Einsatz.

Das Schwergewicht liegt auf zerstörungsfreien und zerstörungssarmen, in der Praxis bewährten Untersuchungstechniken. Auf Laboruntersuchungen wird hingewiesen, aber nicht näher eingegangen.

Das abschliessende Kapitel *Neubau und Überwachung* stellt eine Erweiterung der Thematik der Untersuchung dar. Diskussionen über Erfahrungen aus der Praxis haben während der Erarbeitung und Aktualisierung des Handbuches deutlich gezeigt, dass die entscheidenden Weichen für die Überwachung eines Bauwerkes während der Projektierung und Ausführung gestellt werden. Einige Ratschläge scheinen den Autoren angebracht.

Ingenieurbauwerke

Untersuchungstechniken für die Zustandserfassung bei Bauwerken des Tief- und Ingenieurbaus (vorwiegend Einzelobjekte).

Das Handbuch behandelt die Zustandserfassung der sicherheitsrelevanten Bauteile. Bauphysikalische und aesthetische Problemstellungen werden nicht behandelt. Dazu ist eine ganze Reihe von Publikationen des Fachbereiches Hochbau des IP-Bau erhältlich.

Strassen

Untersuchungstechniken für die Zustandserfassung (Tragfähigkeit, Charakteristiken der Fahrbahnoberfläche) bei dem Verkehr dienenden Flächen.

Leitungsnetze

Untersuchungstechniken für die Zustandserfassung von Kanalisations- sowie Wasser- und Gasversorgungsnetzen (Niederdruck). Weitere Leitungsnetze werden nicht behandelt.

Teilgebiete des Handbuches.

Die Erscheinungsform des Handbuches in gebundener Form hat sich bewährt und wurde deshalb für die vorliegende aktualisierte Version übernommen. Mit der Buchform ist für den Benutzer die dauernde Vollständigkeit der Unterlagen am ehesten sichergestellt.

Schlussbemerkung

Das aktualisierte «Handbuch über Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau» liegt vor Ihnen. Die Autoren haben sich bemüht, Ihnen umfassende Informationen zu den aktuellen Untersuchungstechniken als Hilfsmittel für die tägliche Arbeit in die Hand zu geben. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass einige der beschriebenen Untersuchungstechniken laufend verbessert und neue Techniken entwickelt werden, so dass in Zukunft ein noch breiteres Spektrum an Hilfsmitteln zur Zustandsuntersuchung und -beurteilung zur Verfügung stehen wird.

Nach wie vor kann Ihnen aber niemand ein Rezept geben, wie Ihre spezifischen Probleme bei der Zustandserfassung angepackt und gelöst werden können. Das Ziel ist erreicht, wenn Ihnen das Handbuch die erforderlichen Grundinformationen und Anregungen für Ihre ingenieurmässige Lösung vermitteln kann.



Kreative, ingenieurmässige Lösungen sind gefragt!

Literatur

1. Schmitz H. et al.: Verfahren/Geräte zur Erfassung von Bauschäden, Anwendungsmöglichkeiten, Praxistauglichkeiten, Kosten; Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung, Theaterplatz 14, D-5100 Aachen, 1987.
2. Schickert G. et al.: ZfPBau-Kompodium, Studie zur Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren bei Ingenieurbauwerken; Forschungsbericht Nr. 177, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, 1991, Neuauflage 1999, Internet: http://www.bam.de/a_vii/vii_3/kompodium.
3. SBV: Baumarkt Schweiz, Entwicklungsperspektiven 1996 - 2010; Schweizerischer Baumeisterverband SBV, Zürich, 1997.

Persönliche Notizen:

2 Ingenieurbauwerke

Ingenieurbauwerke, Definition und Abgrenzungen	19
---	-----------

2.1 Untersuchungsmethodik für Ingenieurbauwerke	20
---	-----------

2.2 Visuelle Untersuchung von Bauwerken	27
---	-----------

2.3 Checklisten zur visuellen Untersuchung	32
--	-----------

2.4 Planung und Beurteilung von Messungen	36
---	-----------

2.5 Übersicht über Untersuchungstechniken	45
---	-----------

2.6 Datenblätter zu Untersuchungstechniken	61
--	-----------

Persönliche Notizen:

Ingenieurbauwerke, Definition und Abgrenzung

Der Begriff *Ingenieurbauwerke* wird im Handbuch in Anlehnung an die frühere SIA Empfehlung 169, «Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken» verwendet. Diese beschränkte sich im Gegensatz zur neuen Norm SIA 469 auf die vorwiegend durch den Ingenieur bearbeiteten Teile von Bauwerken des Hoch- und Tiefbaues. Die unter dem Begriff Ingenieurbauwerke eingeordneten Bauwerke werden vorwiegend als Einzelobjekte erstellt. Ihre Projektierung und Ausführung richtet sich nach den Konstruktionsnormen des SIA. Zum Teil sind auch Richtlinien weiterer Organe zu berücksichtigen (z.B. SBB-, Swisscom-, eidgenössische, kantonale und kommunale Richtlinien, Richtlinien von Verbänden etc.). Der Standardisierungsgrad ist bei diesen Bauwerken niedrig. Bei der Realisierung wirkt in der Regel eine grosse Zahl von Beteiligten mit (Bauherr, projektierender Ingenieur, evtl. Architekt, Bauleitung, verschiedene Bauunternehmungen etc.). Die Lebensdauer von Ingenieurbauwerken beträgt zwischen 50 und 100 Jahren. Einzelne, einem grösseren Verschleiss ausgesetzte Teile, weisen jedoch oft eine kürzere Lebensdauer auf und müssen deshalb periodisch erneuert werden. Für den Betrieb und die Erhaltung der Ingenieurbauwerke ist in der Regel ein klar definierter Eigentümer zuständig und verantwortlich. Einem Ingenieurbauwerk sind alle Einzelteile zuzuordnen, welche für das Gleichgewicht und die Formerhaltung notwendig sind oder bei deren Versagen Menschenleben gefährdet werden können (Foundationen, Aufhängungen, Verkleidungen, Verankerungen etc.). Die Zugänglichkeit für die Untersuchung von Ingenieurbauwerken ist sehr unterschiedlich. Oft bildet die minimale Beeinträchtigung des Betriebes bei der Untersuchung eine wichtige Randbedingung.

*Beispiele von Ingenieurbauwerken:
Hochbauten, Brücken, Tunnels, Stützmauern,
Wasserbauten, Böschungs- und Felssicherungen
sowie auch Abwasserreinigungs-, Wasseraufbereitungsanlagen etc.*

2.1 Untersuchungsmethodik für Ingenieurbauwerke

Begriffe und Zielsetzung

Die Überwachung von Ingenieurbauwerken ist in der Norm SIA 469, Erhaltung von Bauwerken geregelt und umschrieben (Kasten). Die entsprechende Norm der VSS (Lit. 2) verwendet aus verschiedenen Gründen leicht abweichende Begriffe. Nachfolgend werden, wie in der Einleitung erwähnt, die Begriffe der Norm SIA 469 verwendet. Diese Norm unterscheidet zwischen Beobachtung, Inspektion, Kontrollmessung und Funktionskontrolle. Als zusätzliche Stufe wird die Überprüfung definiert.

Die Thematik der Zustandsuntersuchung wird in der Dokumentation des IP-Bau, Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken (Lit. 5) eingehend behandelt.

Überwachung

Die Beobachtung erfolgt normalerweise im Rahmen der Instandhaltung des Bauwerkes durch Hauswarts-, Unterhalts- oder Bedienungspersonal. Im Unterschied dazu werden für Inspektionen in der Regel speziell ausgebildete Fachleute beigezogen. Im Rahmen einer Inspektion erfolgt eine Beurteilung in der Regel aufgrund visueller und einfacher Untersuchungen (Zustandsaufnahmen). Wichtig ist, dass auch nicht inspizierbare Teile des Bauwerkes in die Beurteilung einbezogen werden.

Mit Kontrollmessungen werden Informationen über das Verhalten ausgewählter Kenngrössen (z.B. Setzungen, Ankerkräfte) oder die Entwicklung von Schäden (z.B. Deformationsüberwachung) gewonnen. Wichtig ist, im Hinblick auf die Beurteilung von Kontrollmessungen Grenzwerte festzulegen (SIA 469 unterscheidet die Begriffe Meldewert und Alarmwert).

Funktionskontrollen umfassen gemäss SIA 469 den Nachweis des Funktionierens von technischen Anlagen und anderen Teilen eines Bauwerkes.

Überprüfung

Die Überprüfung hat zum Ziel, ein Bauwerk und dessen Teile aufgrund der Resultate aus der Überwachung sowie gezielter zusätzlicher Untersuchungen zu beurteilen. Diese Überprüfung erfolgt oft in mehreren Stufen, d.h. einer ersten generellen und einer zweiten verfeinerten Stufe. Im Rahmen einer Überprüfung sind insbesondere auch die Ursachen der Schäden ausreichend zu ergründen.

Norm SIA 469:

Überwachung, Definition und Zielsetzung

Feststellen und Bewerten des Zustandes mit Empfehlung für das weitere Vorgehen.

Ziel der Überwachung ist es, die Entwicklung des Zustandes eines Bauwerkes festzustellen und daraus Empfehlungen für das weitere Vorgehen abzuleiten.

Norm SIA 469:

Formen der Überwachungstätigkeiten

Planbare Überwachungstätigkeiten

- gezielte Beobachtungen
- regelmässige Inspektionen (Haupt- und Zwischeninspektionen)
- periodische Kontrollmessungen
- periodische Funktionskontrollen

Nichtplanbare Überwachungstätigkeiten

- Beobachtungen Dritter
- Sonderinspektionen

Norm SIA 469:

Ergebnis einer Überprüfung (Bericht)

- Zustandsbeschreibung
- Beurteilung der Sicherheit: Tragwerk und Betriebssicherheit
- allfällig angeordnete Sofortmassnahmen
- Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit
- Prognose der Zustandsentwicklung
- Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Eine Überprüfung ist dann angezeigt, wenn aufgrund der Überwachung eine ungenügende Sicherheit vermutet wird oder eine Instandsetzung, Erneuerung, Veränderung oder ein Ersatz des Bauwerkes in Erwägung gezogen wird. Eine Überprüfung sollte auch bei wesentlichen Nutzungsänderungen vorgenommen werden.

Inspektion

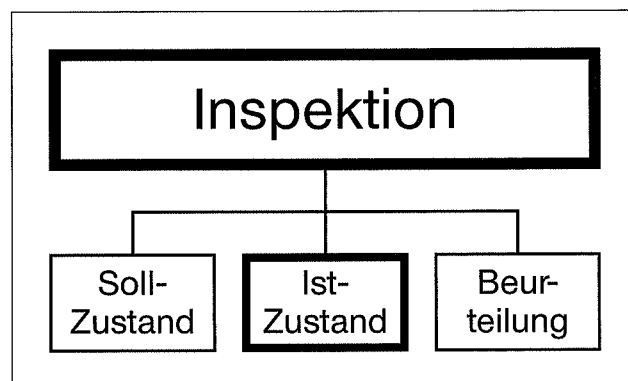
Im Rahmen einer Inspektion wird der Ist-Zustand (Zustand des Bauwerkes, Verhalten und Nutzung) stufenweise erhoben und mit dem Soll-Zustand (abgeleitet von den Nutzungsanweisungen) verglichen. Entsprechend erfolgt eine stufenweise Beurteilung der momentanen und der mutmasslich zukünftigen Entwicklung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit. Dabei müssen auch Veränderungen der Einwirkungen und der unmittelbaren Umgebung des Bauwerkes miteinbezogen werden. Dies bedeutet beispielsweise, dass die im Nutzungs- und Sicherheitsplan aufgeführten Belastungsannahmen (Lasten, Baugrund, Wasserspiegel etc.) kontrolliert werden. Veränderungen an Baustoffen oder -systemen während der Gebrauchsdauer sind ebenfalls zu beachten. Aus dieser Zielsetzung ergibt sich die Gliederung der Inspektion in:

- Definition Soll-Zustand
- Erhebung Ist-Zustand
- Zustandsbeurteilung

Die Bauwerksuntersuchung beschäftigt sich mit der Erhebung des Ist-Zustandes, worauf nachfolgend näher eingegangen wird. Um einen Überblick zu vermitteln, wird in den nebenstehenden Kästen der Soll-Zustand und die Zustandsbeurteilung umschrieben.

Die Informationen, die anlässlich einer Bauwerksuntersuchung gewonnen werden, bilden die notwendige, unmittelbare Grundlage für die Auslösung und Auswahl möglicher Sofort-, Unterhalts- und Instandsetzungsmassnahmen. Nötigenfalls muss eine Verstärkung oder Erneuerung des Bauwerks oder eines Bauwerkteiles angeordnet werden. Als Sofortmassnahmen sind auch Nutzungseinschränkungen möglich.

Es besteht somit offensichtlich eine Wechselwirkung zwischen Bauwerksuntersuchung/Inspektion und durchgeführten Massnahmen einerseits, Folgen für die Nutzung andererseits.



Organigramm der Inspektion.

Soll-Zustand

Der Soll-Zustand ist dem Bauwerksbuch (Lit. 1) zu entnehmen. Falls dieses fehlt oder unvollständig vorliegt, ist der Soll-Zustand den Erfordernissen des Bauwerkes entsprechend zu definieren. Bei wenig bedeutungsvollen und nicht komplexen Bauwerken kann sich der Soll-Zustand auf die Beschreibung der erforderlichen Funktionen beschränken.

Zustandsbeurteilung

Die Zustandsbeurteilung liefert die Entscheidungsgrundlagen für die Auslösung allfälliger Sofortmassnahmen zur Gewährleistung der Tragsicherheit. Sie begründet die Notwendigkeit einer Instandsetzung des Bauwerkes, beschreibt die dazugehörigen Erfordernisse und Massnahmen.

Sie umfasst:

- Bewertung des Ist- und Soll-Zustandes
- Beurteilung der Abweichungen des Ist- bzw. Soll-Zustandes
- Beurteilung der Schadenursachen
- Beurteilung der Schadenrisiken
- Sofortmassnahmen
- Erfordernisse und Massnahmen für die Instandsetzung

Wichtige Aspekte

Einwirkungen und Konstruktion

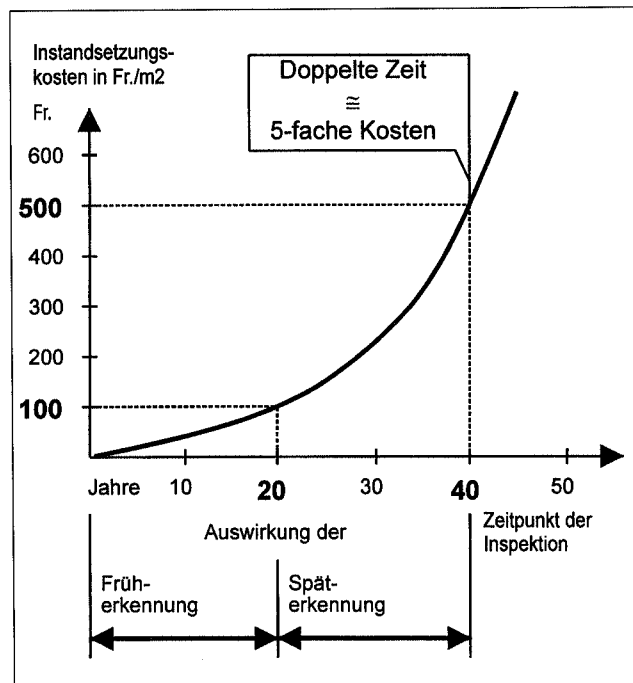
Ausschlaggebend bei der Bauwerksuntersuchung sind genaue Kenntnisse der Einwirkungen auf das Bauwerk, der Konstruktion und der Eigenschaften der verwendeten Materialien.

Die Ausdehnung des Bauwerkes/-teiles

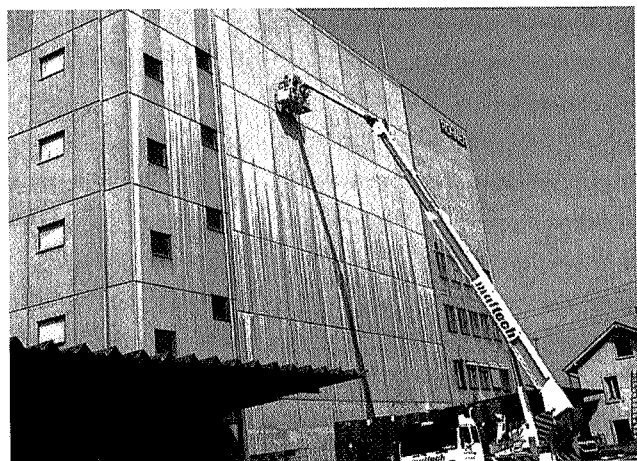
Da ein Bauwerk in der Regel ein Unikat darstellt, das von einem stets neu zusammengesetzten Team von Fachleuten auf Anhieb erstellt wird und vielfach einzelne Baustoffe (wie z.B. Beton) unmittelbar auf der Baustelle hergestellt werden, sind die Schwankungsbreiten spezifischer Baustoffeigenschaften am Bauwerk verständlicherweise gross. In der Zeit der grossen Bauproduktion der 50-er und 60-er Jahre kam dieser Sachverhalt noch stärker zum Tragen. Die zunehmende Umweltbelastung und die intensivierte Nutzung haben die Einwirkungen auf Bauwerke und Baustoffe beeinflusst. Aufgrund dieses Wechselspiels zwischen Baustoffeigenschaften und Einwirkungen kann bei der Inspektion eines Bauwerkes grundsätzlich nicht mit einem homogenen Zustand gerechnet werden. In der Regel herrscht Unsicherheit darüber, welche Teile eines Bauwerkes intakt sind und welche Teile Schäden aufweisen. Da sich die Schadenausbreitung nicht linear entwickelt, ist die Früherkennung von Schäden von ausschlaggebender Bedeutung.

Die Untersuchung des Ist-Zustandes hat sich demnach grundsätzlich mit dem Bauwerk in seiner ganzen Ausdehnung zu befassen. Auch die unmittelbare Umgebung ist miteinzubeziehen. Der Untersuchende muss sich mit der Gesamtlänge, der Gesamtbreite sowie mit der vollen Tiefe des Bauwerkes auseinandersetzen. Oft ist die Zugänglichkeit zu allen Bauwerksteilen nicht ohne weiteres gegeben und kann nur durch Hilfsmittel (z.B. Gerüste, Leitern, Hebebühnen etc.) bewerkstelligt werden, allenfalls können sogar nur Stichproben durchgeführt werden.

Diese Besonderheiten müssen zu Beginn einer Inspektion erkannt werden. Sie erfordern ein entsprechendes Vorgehen (Inspektionsplan) und gegebenenfalls eine vernünftige Beschränkung anhand von Prioritäten.



Früh-/Späterkennung von Schäden.



Zugänglichkeit.

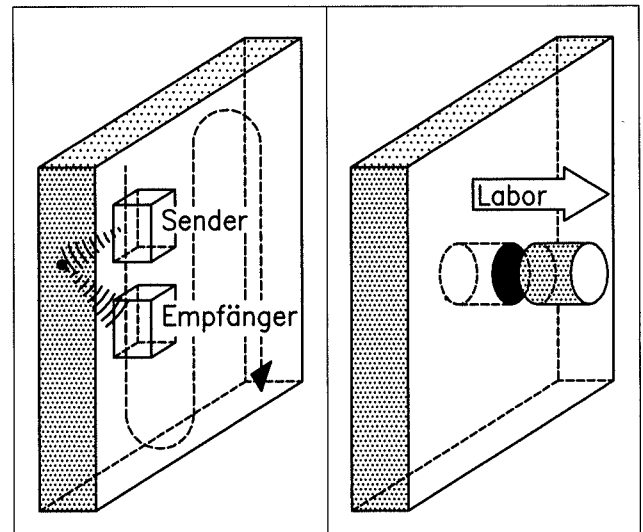
Unterschiede bei den Untersuchungstechniken

Am Bauwerk können Untersuchungstechniken angewandt werden, die zerstörungsfrei (keinerlei Beschädigung) oder zerstörend wirken. Unter letztere fallen alle Untersuchungen, die eine Entnahme von Proben (z.B. Bohrkern) und/oder das Öffnen eigentlicher Beobachtungsfenster und Sondagen erfordern. Laborprüfungen an Bauwerksproben erfordern eine Probeentnahme. Sie liefern in der Regel relativ genaue Resultate der gesuchten Zielgrösse. Allerdings gelten die Resultate nur für die untersuchten Prüfkörper. Für Rückschlüsse auf das ganze Bauwerk oder Bauteil ist die Anzahl und die Verteilung der Probeentnahmestellen der vermuteten Streuung der Baustoffeigenschaften im Bauteil anzupassen, wobei die Grundsätze für eine statistische Abstützung der Untersuchungen möglichst zu beachten sind (siehe auch: Planung und Beurteilung von Messungen, → S. 36).

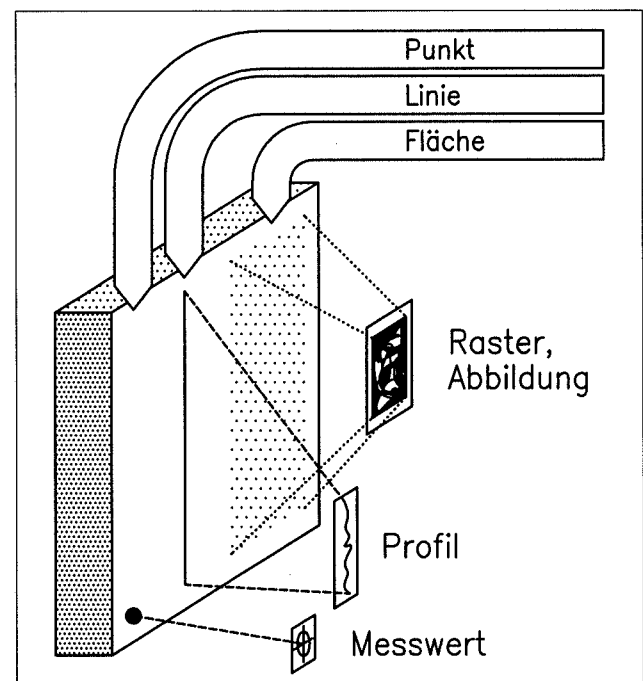
Zerstörende Untersuchungstechniken sind oft die einzige Möglichkeit, um eine verlässliche Aussage über die Baustoffeigenschaften und den Bauwerkszustand im Inneren, also in der Tiefe eines Bauteiles zu gewinnen. Auch hier zeigt sich jedoch die Problematik der Übertragung der gewonnenen Information auf das Gesamtbauwerk. Zerstörungsfreie Untersuchungen basieren in der Regel auf Punktmessungen innerhalb eines bestimmten Rasters oder bewegen sich kontinuierlich entlang einer gewählten Linie (Messprofil). Einzelne Untersuchungstechniken (visuelle Untersuchung, Thermographie etc.) erfassen in einem Arbeitsgang Teilflächen eines Bauwerkes, wobei die Ausdehnung der Flächenerfassung stark variiert. Je nach gewählter Methode liefern die zerstörungsfreien Untersuchungen somit Resultate mit folgenden Flächenmerkmalen:

- Einzelpunktmessungen, allenfalls in einem grossmaschigen Raster
- Profilmessungen
- Punktmessungen mit feinmaschigem, flächendeckendem Raster
- flächendeckende Messungen

Mit zerstörungsfreien Untersuchungen kann demnach leichter eine Information über eine Fläche (Länge, Breite) gewonnen werden, andererseits sind deren Aussagen über das Innere (Tiefe) eines untersuchten Bauteiles im Vergleich mit zerstörenden Untersuchungen meist eingeschränkt.

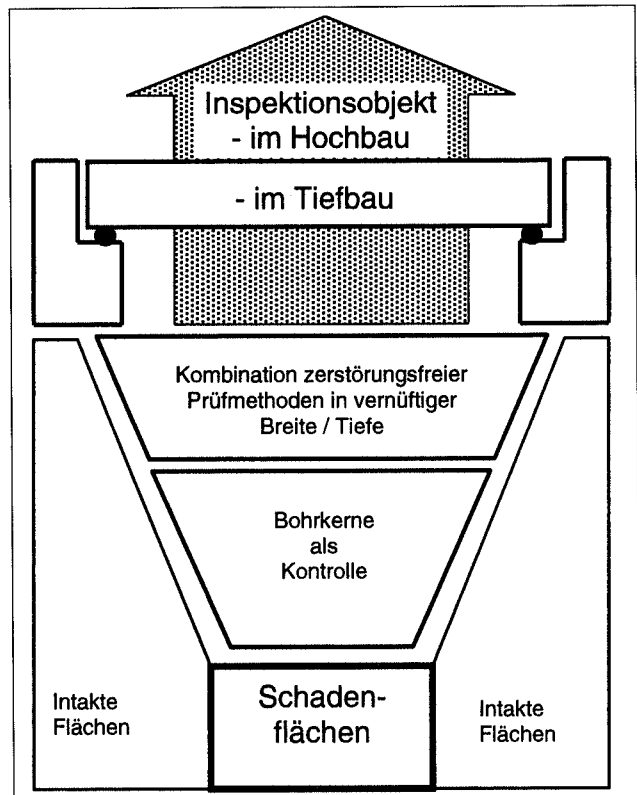


Zerstörungsfreie/zerstörende Untersuchung.



Flächenmerkmale.

Die am Objekt erfassten Messresultate der zerstörungsfreien Untersuchungen liefern Aussagen über Zielgrößen, die meist nicht direkt mit den gesuchten Zielgrößen übereinstimmen. Der Rückschluss auf die gesuchte Zielgröße muss mit einer gesicherten Interpretation bewerkstelligt werden. Zudem sind die gemessenen oder erfassten Resultate meist bereits durch verschiedene Randbedingungen beeinflusst. Die Berücksichtigung dieser Einflussgrößen und auch der messtechnischen Unschärfe der zerstörungsfreien Untersuchungen setzen entsprechende Erfahrung voraus. Für komplexe Untersuchungsmethoden ist der Einsatz von Spezialisten notwendig. Zerstörungsfreie Untersuchungen werden nur in Ausnahmefällen als einzige Methode angewendet. Sinnvoll ist in der Regel eine (begründete) Kombination verschiedener Untersuchungstechniken, wobei deren Resultate mit (gezielt) ausgewählten Bohrkernen und Laborprüfungen und/oder mittels Beobachtungsfenstern geeicht werden. Die einfacheren und kostengünstigeren, zerstörungsfreien Untersuchungstechniken werden bei diesem Vorgehen oft zum Aufspüren der relevanten Stellen (Schadenschwerpunkte etc.) eingesetzt, an denen dann mit wenigen zerstörenden Untersuchungstechniken die notwendigen Informationen gewonnen werden.



(Aussage)-Sicherheit gewinnen.

Erfassung des Ist-Zustandes

Die Definition des Ist-Zustandes (Kasten) und die darin enthaltene Zielsetzung für die Bauwerksuntersuchung erfordern in der Planung und Durchführung von Zustandsuntersuchungen erfahrene Fachleute, wobei folgende Punkte zu berücksichtigen sind:

- Bedeutung des Bauwerkes und seiner Teile
- Anzahl und Wechselwirkung möglicher Einflussfaktoren (Konstellation der Einwirkungen) auf das Bauwerk und auf seine Teile während der Gebrauchsdauer und dem Prognosezeitraum
- Konstruktion und Materialeigenschaften
- Risiko beim Nichtentdecken von Mängeln
- Anforderungen an die Ergründung von Schadenursachen.

Ist-Zustand

Die Zustandserfassung eines Bauwerkes umfasst alle Feststellungen, die der Beurteilung der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit dieses Bauwerkes sowie dem Vergleich mit dem Soll-Zustand dienen. Neben der Erfassung des Momentanzustandes sind auch die Grundlagen für die Prognose der Zustandsentwicklung über einen bestimmten Zeitraum zu erarbeiten. In diesem Zusammenhang ist die Kenntnis der Ursachen der allfällig festgestellten Schäden von grundlegender Bedeutung. Dies stellt an die Zustandserfassung besondere Anforderungen.

Die Zustandsuntersuchung erfolgt in verschiedenen Stufen (Kasten), wobei aufgrund der Resultate der abgeschlossenen Untersuchungsstufen entschieden wird, ob und in welchem Umfang die Untersuchungen auszudehnen und zu vertiefen sind. Die Untersuchungen der höheren Stufen ergänzen jene der unteren Stufen, sie ersetzen sie jedoch nicht. Dieses stufenweise Vorgehen gestattet auch eine regelmässige Kontrolle des Untersuchungsaufwandes.

Aufgrund der Resultate der Stufe 0, dem Eindruck einer ersten Besichtigung und den vorhandenen örtlichen Verhältnissen (Zugänglichkeit, Absperungen, Informationsliste, Aufrechterhaltung der Nutzung, elektrische Anschlüsse, Wasseranschlüsse etc.) wird ein Inspektionsplan mit zugehöriger Personal- und Materialliste erstellt. Grundsätzlich soll die Inspektion so durchgeführt werden, dass alle Teile des Bauwerkes sorgfältig kontrolliert werden. Haupttragelemente werden vordringlich untersucht, vermutete Schwachstellen der Konstruktion, bereits bekannte Schäden, der ursprüngliche Bauvorgang und die Zugänglichkeit werden berücksichtigt.

Die Auswahl der einzelnen Untersuchungstechniken, deren Kombination und die stufenweise Reihenfolge richtet sich nach den folgenden Kriterien:

- Gesuchte Zielgrössen und Prioritäten
- Einfachheit der Untersuchungstechnik (möglichst zerstörungsfrei)
- Flächendeckung der Aussage
- Korrelationsmöglichkeit mit anderen Untersuchungen
- Aufwendige Untersuchungstechniken

Da die visuelle Untersuchung (Stufe 1) die einfachste Untersuchungstechnik darstellt, kommt ihr eine besondere Bedeutung zu. Sie basiert auf den Sinneserfahrungen (Auge, Ohr, Tastsinn, Geruchssinn) des Untersuchenden und gibt dem erfahrenen Fachmann vielfältige Hinweise, die im weiteren Verlauf einer Bauwerksuntersuchung bedeutungsvoll sein können. Auf die visuelle Untersuchung kann nicht verzichtet werden. Für den Erfolg der visuellen Untersuchung ist die Vorbereitung und Planung entscheidend.

Die Auswahl und die Reihenfolge der übrigen Untersuchungstechniken ist von der gestellten Aufgabe abhängig und erfordert entsprechende Fachkenntnisse und Erfahrung. Jede Untersuchungsstufe muss sorgfältig vorbereitet und abgestützt auf die Ergebnisse der vorgängigen Stufe geplant werden. Hinweise zum Einsatz der Untersuchungstechniken in den verschiedenen Untersuchungsstufen gibt Lit. 2.

Stufe: Art der Untersuchung

- 0 Sammeln und Sichten von Unterlagen der Dauerüberwachung und Wartung (Bauwerksbuch und vorhandene Inspektionsgrundlagen)
- 1 Visuelle Untersuchung
- 2 Apparative Untersuchungen am Bauwerk und Untersuchungen an Prüfkörpern im Labor
- 3 Statische, geodätische und konstruktive Untersuchungen und allenfalls Belastungsversuche

Beispiele:

- Potentialmessung und
 - Widerstandsmessung
 - pH-Messung
 - elektromagnetische Prüfung
 - chemische Analyse
- Rissbewegung mit Setzdehnungsmesser und
 - Nivellement
 - Schwingungsanalyse
 - Tensometer
 - Ultraschall
- Spannprobe an Bodenanker und
 - Lagemessung geodätisch
 - Slopeindicator
 - Piezometer

Verschiedene Untersuchungstechniken ergänzen sich (Abklärung der Einflüsse), Beispiele.

Literatur

1. SIA: Norm SIA 469, Erhaltung von Bauwerken; SIA, 1997, Zürich.
2. VSS: SN 640 930, Gesamtbeurteilung des Zustandes von Kunstbauten; VSS, 1989, Zürich.
3. Ladner M.: Zustandsuntersuchung von Bauwerken; EMPA-FA Bericht Nr. 116/3, Mai 1988, Dübendorf.
4. SIA Empfehlung 162/5, Erhaltung von Betontragwerken; SIA, 1997, Zürich.
5. IP-Bau: Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken, Leitfaden für Bauingenieure; Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, Bern (EDMZ Nr. 742.456 d).

2.2 Visuelle Untersuchung von Bauwerken

Früherkennung von Schäden

Unsere hohen Ansprüche an die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Bauten erfordern ein frühzeitiges Erkennen von Schäden. Diese Forderung wird unterstützt durch die volkswirtschaftliche Bedeutung der Bausubstanz. Im Gegensatz zu den Möglichkeiten des modernen Maschinenbaues, der verbreitet in die Anlagen integrierte Diagnosemöglichkeiten verwendet, sind Schäden an den Bauwerken nur durch eine Überwachung zu erkennen.

Dauerüberwachung

Die Beobachtung im Sinne der SIA Norm 469, *Erhaltung von Bauwerken*, liefert erste Hinweise auf Schäden. Diese vorsichtige Einschätzung ergibt sich aus der speziellen Zielsetzung der Beobachtung. Sie stellt durch Kontrollen in erster Linie die Gebrauchstauglichkeit (Funktions- oder Betriebsbereitschaft) eines Bauwerkes sicher. Für die Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes müssen periodische Inspektionen vorgesehen werden.

In ähnlicher Weise liefert im Hochbau (Wohn-, Industrie-, Schul-, Verwaltungsgebäude etc.) die Beobachtung durch das Wartungspersonal (Abwarte) erste Hinweise zur Erkennung von Schäden. Eine Gewissheit über den Ist-Zustand des Bauwerkes ist nur durch eine systematische Inspektion zu erhalten.

Periodische Inspektionen

Ein frühzeitiges Erkennen von Schäden kann also nur durch periodische Inspektionen sichergestellt werden. Diese sind in einer ersten Stufe auf eine einfach handhabbare Untersuchungstechnik angewiesen. Aufgrund der gewonnenen Resultate soll mit vernünftigem Aufwand festgestellt werden können, ob bis zu einer nächsten Inspektion keine Erhaltungsmaßnahmen nötig sind, oder ob zusätzliche Untersuchungen (z.B. eine Überprüfung) angeordnet werden müssen. Gegebenenfalls muss auch das Erfordernis von Sofortmassnahmen erkannt werden können.

Die visuelle Untersuchung (siehe auch: Untersuchungsmethodik für Ingenieurbauwerke, → S. 20) erfüllt diese Anforderungen.

Übersicht über Bauwerksakten

- Verzeichnisse
- Rechtliche Grundlagen
- Planungsgrundlagen
- Technische Grundlagen
- Anweisungen
- Berichte, Statistiken
- Projektunterlagen
- Ausführungsunterlagen
- Medienunterlagen
- Photographische Aufnahmen
- Korrespondenz

Umfang der Bauwerksakten (SIA Norm 469, Anhang A1).

Grobbeurteilung durch die visuelle Untersuchung:

- keine Massnahmen bis zur nächsten Inspektion
- weitere Untersuchungen notwendig (höhere Stufe)
- Sofortmassnahmen erforderlich

Zielsetzung der visuellen Untersuchung.

Umfang der visuellen Untersuchung

Die visuelle Untersuchung umfasst die Aufnahme sämtlicher, an zugänglichen Stellen mit den Sinnesorganen und einfachen Hilfsmitteln feststellbaren Schäden. Die erkannten Schäden werden bezüglich Art und Lage protokolliert. Ein Kurzkommentar zum festgestellten Schaden, ergänzt mit einer qualitativen Grobbeurteilung (unbedeutend – mässig – stark), rundet die Aufzeichnungen im Protokoll ab. Obwohl auf diesem Niveau der Zustandserfassung eine eigentliche Materialuntersuchung nicht vorgenommen wird, ist es oft empfehlenswert, die einfachsten Untersuchungen wie z.B. die stichprobenartige Überprüfung der Gleichmässigkeit der Baustoffqualität schon hier durchzuführen.

Bei ausgedehnten Bauteilen aus Beton kann es sehr hilfreich sein, im Zuge der visuellen Untersuchung mittels grobmaschiger Punktmessungen die Potentiale zu überprüfen, um einen Hinweis auf den Korrosionszustand der Armierung zu erhalten. Der Umfang der visuellen Untersuchung wird aber vor allem durch die jeweiligen Kenntnisse der Konstruktion des Bauwerkes, der vorhandenen Materialien und deren Eigenschaften bestimmt. Fehlen jegliche Informationen, so wird dies mit grosser Wahrscheinlichkeit zusätzliche Untersuchungen erfordern.

Voraussetzungen für Untersuchung durch Sinnesorgane

Im Sprachgebrauch hat sich für die Untersuchung mit den menschlichen Sinnesorganen (Auge, Ohr, Haut, Nase, Zunge) der Begriff visuelle Untersuchung eingebürgert. Alle Sinne, nicht nur das Auge, sind in die visuelle Untersuchung miteinbezogen. Die menschlichen Sinnesorgane sind hochentwickelte und äusserst sensible Wahrnehmungsinstrumente. Ihre grösste Leistung entwickeln sie beim Aufspüren von Unterschieden (z.B. erkennen kleinster Tonintervalle, erkennen von kleinsten Farbdifferenzen als Flecken auf der Kleidung, Streicheln auf der Haut etc.). Allen Sinnen gemeinsam ist die Notwendigkeit der Inanspruchnahme (oder des Trainings). Nur durch fortwährenden Gebrauch entfalten die Sinne ihre volle, hochstehende Sensibilität. Das Denken bildet in der Entwicklung jedes Menschen den Gegenpol zum sich frühzeitig entwickelnden Tastsinn. Die äusserst intensive Wechselwirkung zwischen den Sinnesorganen und dem Denken ist eine uralte Erfahrung. Dieses Zusammenwirken ist bei der visuellen Untersuchung von grösster Bedeutung. Die mit den Sinnen wahrgenommenen Eindrücke bewirken eine intensive Auseinandersetzung mit dem Bauwerk.

Visuelle Untersuchung mit den Sinnesorganen und einfachen Hilfsmitteln:

- optische Prüfung und Messung durch Augenschein
- akustische Prüfung durch Abklopfen und Anschlagen
- Prüfung der Oberfläche mit dem Tastsinn
- Prüfung mit dem Geruchssinn (z.B. organische oder andere chemische Einwirkungen)
- Prüfung mit dem Geschmacksinn (z.B. Versalzung).

Prüfung durch Sinnesorgane.

Sehen und Erkennen

Bei der Untersuchung eines Bauwerkes müssen sich die Sinne an der zugänglichen äusseren Begrenzung orientieren. Die gewonnenen Sinnesindrücke sollen aber so differenziert sein, dass sie Hinweise auf Inhomogenitäten im Baustoff und/oder im Bauwerk liefern können. Es sollen also auch Aussagen über «Unregelmässigkeiten» in der Tiefe des Bauwerkes gemacht werden. Die Interpretation der Sinneseindrücke (z.B. wahrgenommene Farbunterscheide) ermöglicht es, aufgrund einschlägiger Erfahrungen und Kenntnisse, die Ursachen dieser Sinneserfahrungen mehr oder weniger zutreffend zu vermuten.

Dieses Zusammenspiel zwischen aufmerksamem Erfassen einer Bauwerks Oberfläche und gleichzeitigem Versuch der Erklärung der Feststellung bedarf eingehender Erfahrung. Die Praxis zeigt immer wieder, dass mit dieser Untersuchungstechnik ein Früherkennen von Schäden möglich ist, insbesondere dann, wenn nach einem gewissen Zeitintervall Veränderungen festgestellt werden. Dieser visuellen Untersuchung stellen sich aber einige Gefahren in den Weg:

- ungenügende Geduld (Zeit) für die Sinnesfassung der ganzen zugänglichen Oberfläche (nötigenfalls mit Hilfsmitteln)
- innere Fixierung auf zu erwartende Erscheinungen
- Überbewerten von festgestellten Erscheinungen (fehlende Kontrollen)
- mangelhaftes Aufzeichnen und Festhalten der Feststellungen

Werkzeug und Kleinmaterial:

- Bohrmaschine für Stein, Metall und Holz
- Spitzhammer, Handfäustel
- Meissel, Spitzeisen, Stichel, Stechbeitel
- Flach- und Beisszange
- Schraubenzieher und -schlüssel
- Engländer
- Stahldrahtbürste, Schaber, Pinsel
- Spritzflasche
- Blasbalg
- Anschlagwinkel, Senkblei
- Wasserwaage
- Messer
- Doppelmeter, Messbänder
- Schublehre, Mikrometer
- Spiegel, Zahnarztspiegel
- Schlagschnur
- Gipsmarken
- Vergösserungsglas
- Lampe

Spezielle Messgeräte:

- Thermometer, Thermo-Hygrograph
- Rissmassstäbe, Risslupe
- Drehmomentenschlüssel
- Nietkontrollhammer
- Betonhammer
- Bewehrungssuchgerät
- Indikatorlösung
- Farbpenetrationstestflüssigkeit
- Deformeter, Setzdehnungsmesser
- Halbzelle für Potentialmessung (evtl.)

Aufnahme- und Protokollierungsgeräte:

- Beleuchtungsmaterial
- Feldstecher, Fernrohr
- Fotoapparat mit Tele- und Weitwinkelobjektiv
- Blitzlicht zu Fotoapparat
- Notiz- und Schreibblöcke, Formulare
- div. Schreibmaterial (Filz-, Blei-, Farbstifte, Fettkreiden, Radiergummi, Tipp-Ex etc.)
- div. Büromaterial wie Klebstreifen etc.
- Behälter für Material- und Wasserproben mit Etiketten
- Tonbandgerät (Taschengerät)

Untersuchungsausrüstung.

Vorgehen

Zur Vorbereitung der visuellen Untersuchung gehören:

- Sammeln und Sichten von vorhandenen Unterlagen (Bauwerksakten, Inspektionsprotokollen)
- Besichtigen des Bauwerkes und der örtlichen Verhältnisse
- Erstellen des Inspektionsplanes.

Aufgrund dieser Vorbereitungen entsteht ein Verständnis für das Tragverhalten, die verwendeten Baustoffe und deren Zusammenwirken sowie die vorhandenen Einwirkungen.

Zur konkreten und wirksamen Beurteilung des Zustandes eines Bauwerkes ist es von grosser Wichtigkeit, über ein einheitliches und umfassendes Zustandserfassungs- und -protokollierungsverfahren zu verfügen, welches sich zu einem Zustandsberichts-System ausweiten lässt. Grundlage eines solchen Zustandsberichts-Systems ist das Zustandsprotokoll, das anlässlich der letzten Inspektion erstellt worden ist, weshalb ihm eine zentrale Bedeutung zukommt. Erfolg oder Misserfolg eines Untersuchungssystems hängen entscheidend von der Qualität dieses Zustandsprotokolles ab.

In neuester Zeit werden sowohl im Hochbau wie im Tiefbau Datenbanken in Verbindung mit EDV-Programmen angeboten. Bei komplexen Bauwerken ist die detaillierte Eingabe der Bauwerksdaten mit einem entsprechenden Aufwand verbunden. Zur Verteilung des Eingabeaufwandes nach gewählten Prioritäten, werden mancherorts nur diejenigen Daten eingegeben, die mit tatsächlichen Feststellungen der jeweiligen Inspektion gekoppelt sind.

In Anbetracht des Bauwerksbestandes im Hoch- und Tiefbau und gemessen an der Bedeutung der Früherkennung von Schäden ist der Gebrauch und die Nachführung von Datenbanken heute ein Erfordernis.

- Titelseite mit Angaben über Name und Nr. des Bauwerkes, Lage und Ort, allenfalls weitere Angaben; Datum der Inspektion, Anzahl und Namen der Inspizierenden, Auftrag für die Inspektion etc.

- weitere Seiten mit:

- Namen des Bauteiles
- Kurzbeschreibung
- Feststellungen
- Skizze mit Vermassung
- Foto-Nr. etc.

- Zusammenfassung der Inspektion und der Ergebnisse evtl. auf Beurteilungsblatt

- Sofortmassnahmen

- weitere Abklärungen

Inhalt des Inspektionsprotokolls.

- Zugänglichkeit, allfällige Hilfsmittel (Gerüstungen, Skyworker, Untersichtsgerät etc.)

- Informationsliste (Wer muss informiert werden?)

- Absperrungen, Beleuchtung

- evtl. Strom- und Wasserbezug

- Personal- und Materialliste, allenfalls Fremdleistungen

- Inspektionsablauf, Prioritäten, Vorgehen, Zeitbedarf

- Auswertung

Inhalt eines Inspektionsplanes.

Die nachfolgenden Checklisten (2.3) geben, gegliedert nach Baustoffen, eine Übersicht über Schadensmerkmale, Hilfsmittel zu deren Feststellung und Hinweise für die Protokollierung. Die Angaben können z.B. als Checkliste bei der Vorbereitung von Protokollformularen für die visuelle Untersuchung benützt werden.

Weitere Hinweise zur visuellen Untersuchung sind im Datenblatt *Visuelle Untersuchung* (→ S. 64) festgehalten.

- elektrische Leitungen immer prüfen
- gefährliche Arbeiten immer mindestens zu zweit ausführen, Sicherungen verwenden
- bei Arbeiten über Wasser Schwimmweste tragen
- vor dem Betreten von Hohlräumen kontrollieren, ob genügend Sauerstoff vorhanden ist
- Schutzbrille und gutes Schuhwerk tragen
- Signalisation aufstellen, Arbeitsplatz sichern
- Leitern und Gerüste sichern

Sicherheitsmassnahmen bei der Inspektion.

Literatur

1. Ladner M.: Zustandsuntersuchung von Bauwerken; EMPA-FA Bericht Nr. 116/3, Mai 1988.
2. SIA: Empfehlung SIA 162/5, Erhaltung von Betontragwerken; SIA, 1997, Zürich.
3. IP-Bau: Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken, Leitfaden für Bauingenieure; Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992, Bern (EDMZ Nr. 742.456 d).

Fortsetzung mit 2.3 Checklisten für die visuelle Untersuchung auf der nächsten Seite.

2.3 Checklisten für die visuelle Untersuchung

Übersicht über Schadensmerkmale, Hilfsmittel zu deren Feststellung sowie Hinweise zur Protokollierung bei der visuellen Untersuchung

Allgemeine Feststellungen an Bauwerken

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Allgemeines Aussehen	Augenschein, Feldstecher, Fotoapparat	Zustandsüberblick, Fotodokumentation	
Temperatur, Wetter	Thermometer	Luft-, Wasser-, Baustoff-, Bauteiltemperatur, Windverhältnisse	
Orientierung (Exposition)	Kompass	Wetterseite	
Zustand der Gründungen	Augenschein	Ausmass von Setzungen, Kippungen, Unterkolkungen	Achtung: oft verdeckte Schäden
Zustand von Lagern, Gelenken, Übergängen, Abdichtungen, Entwässerungen, Belägen	Augenschein, Fotoapparat, Spiegel	Gebrauchstauglichkeit, Fotodokumentation	Augenschein nach Niederschlägen oft aufschlussreich

Bauteile und Bauwerke aus Beton, Stahl- und Spannbeton

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Verfärbungen z.B. durch Rost	Augenschein, Spitzhammer, Fäustel	Form, Farbe, Lage, Ausmass, Besonderheiten (z.B. Bindedraht)	hohltönende Stellen suchen (abklopfen), evtl. aufspitzen
Abplatzungen, Abblätterungen	Augenschein, Spitzhammer, Fäustel	Fläche, Tiefe, Lage, Korrosion der Bewehrung	hohltönende Stellen suchen (abklopfen)
Feuchte Stellen	Augenschein, Spitzhammer	Lage, Ausmass des Wasseraustrittes, evtl. aufspitzen des Austrittes	Abklopfen zur Überprüfung von Gefügauflockerungen, (Frost), evtl. Wasserprobe (Chlorid), vorangegangene Wetterperiode beachten
Aussinterungen, Ausblühungen	Augenschein, Spitzhammer	Form, Farbe, Lage, Ausmass, Besonderheiten	Hohltönende Stellen suchen (abklopfen), evtl. aufspitzen
Abwitterungen	Augenschein, Abtasten, Spitzhammer	Form, Farbe, Tiefe, Besonder- heiten (Zementstein und/oder Zuschlagstoffe)	Hauptwindrichtung, Immissionen
Oberflächenstruktur, Lunker, Entmischungen	Augenschein	Form, Ausmass, Lage, Besonderheiten (z.B. Arbeitsfugen)	Wasseraufnahme der Oberfläche
Risse: – Art und Verlauf	Augenschein, Lupe	Rissart, Lage, Länge, Rissende	Hohltönende Stellen suchen (abklopfen), evtl. aufspitzen, Begleiterscheinungen (z.B. Versinterungen) festhalten
– Breite	Risslupe, Rissmassstab	Rissbreite (genaue Lage)	Datum, Temperatur, Wetter
– Rissbreitenänderung	Siegel, Setzdehnungs- messer	Rissbewegung (Änderung mit der Zeit)	Datum, Temperatur, Wetter, Verkehr (Einwirkungen)
– Rissufer	Augenschein, Spitzhammer, Lupe	Verfärbungen, feuchte Stellen, Korrosion der Bewehrung	Abklopfen, Hohlstellen
Wasseraufnahme der Oberfläche	Wasserspritzflasche Augenschein	Lage, relative Unterschiede	Oberflächenstruktur
Fugen, Kanten, Anschlüsse	Augenschein	Besonderheiten	Beschädigungen, Korrosion, Schmutzablagerungen
Verformungen	Augenschein	Lage, Richtung	Risse, Art und Verlauf
Karbonatisierung	aufspitzen, Indikatorlösung aufspritzen auf frische und saubere Bruchfläche	Farbumschlag (Tiefe in welcher pH $\geq$ 9)	

Bauteile und Bauwerke aus Stahl

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Korrosion	Augenschein, Drahtbürste, Schraubenzieher, Spitzhammer	Ausdehnung und Tiefe, Restprofilstärke, Farbtönung, Art des Rostbefalls (feinkörnig, schuppig), Stahloberfläche	Anstrich entfernen
Anrisse	Augenschein, Risslupe	Lage, Länge, Rissende, Rissbreiten, Rissbewegung	Verkehr (Einwirkungen), Temperaturen, Farbeindringverfahren, Datum
Fliesslinien, Spannungs- konzentrationen	Augenschein, Fotoapparat	Lage und Richtung von Fließlinien in der Walzhaut, Fotodokumentation	
Verformungen, Beulen	Augenschein	Grösse, Richtung, Ausdehnung der Verformung	
Gelockerte Verbindungsmittel (Nieten, Schrauben)	Augenschein, Nietkontroll- hammer, Drehmoment- schlüssel	Lage und allfällige Verformung gelockerter Verbindungsmittel, Anrisse im Schraubenkopf, abgescherte Verbindungsmittel	
Zustand der Anstriche und Beschichtungen	Augenschein, Messer, Abreissprüfung mit Klebband	Haftung mit Klebband, Ausmass	Gitterschnittprüfung (Kennwerte Gt 0-5)

Bauteile und Bauwerke aus Natur- und Kunststeinmauerwerk

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Aussehen, Absplitterungen (Schuppen, Schalen), Verwitterungen	Augenschein, Spitzhammer (abklopfen)	Ausmass, Tiefe und Lage gelockerter Partien, Farb- und Strukturunterschiede der Oberfläche	abspitzen gelockerter Partien, Rauhigkeitsunterschiede
Fugen	Augenschein, Spitzhammer (abklopfen)	Umfang und Tiefe von Zerstö- rungen an den Mörtelfugen und Fugenflanken, Bewuchs und Wurzeln in den Fugen	Sitz der Steine im Mörtelbett
Wasseraustritte, feuchte Stellen	Augenschein, Spitzhammer	Lage und Ausdehnung	vorangegangene Wetter- periode, evtl. aufspitzen
Verformungen	Augenschein	Lage und Grösse der Verformungen	
Risse	Augenschein, Siegel, Risslupe	Lage, Länge, Breite, Rissbewegungen	Datum, Einwirkungen
Ausblühungen, Krusten, Steinversalzungen	Augenschein	Ausmass, Art	Abklopfen auf Gefügelockerungen

Bauteile und Bauwerke aus Holz

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Allgemein	Augenschein	Zustand und Dichtigkeit von Wandanschlüssen und Dehnungsfugen, Eindeckungen und Belägen, mechanische Beschädigungen	Belüftung
Fäulnis, Schädlinge	Augenschein, Hammer, Kernbohrer, Endoskop	Veränderungen im Farbton, Zersetzungen	Eindringwiderstand
Risse	Augenschein	Lage, Länge, evtl. Breite	Kontrolle der Leimfugen
Auflagen	Augenschein	Verkantungen, Quetschungen	
Gelockerte Verbindungen	Augenschein, Hammer	Lage und Ausmass	

2.4 Planung und Beurteilung von Messungen

Einleitung

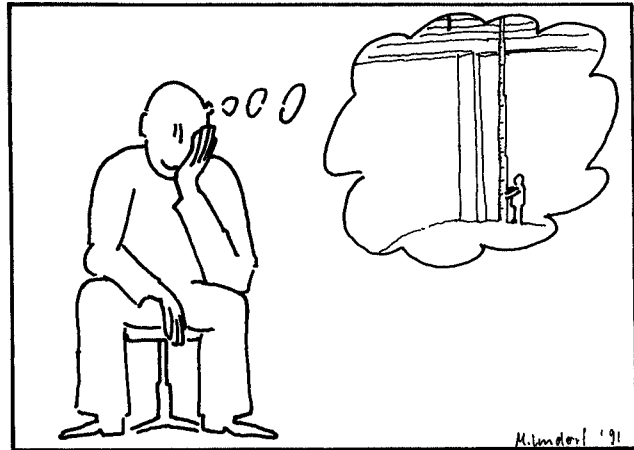
Dieser Beitrag befasst sich zuerst mit dem Untersuchungsziel und den zu beachtenden Randbedingungen, es folgen Erläuterungen zur statistischen Untersuchungsplanung und zur statistischen Versuchsauswertung. Eine Auflistung von Punkten und Phänomenen, die bei der Beurteilung von Messresultaten zu berücksichtigen sind, schliesst die Ausführungen ab.

Die Problematik der Beurteilung von Messresultaten wird an dieser Stelle nicht abschliessend behandelt. Die Thematik ist in verschiedenen Publikationen des IP-Bau weiter vertieft.

Begriffe

Die periodische Bauwerksüberwachung hat zum Ziel, den Zustand, in dem sich das Bauwerk befindet zu erfassen und zu beurteilen. Um dieses Ziel zu erreichen, werden im Rahmen einer Untersuchung Untersuchungstechniken angewendet. Eine Untersuchung beinhaltet verschiedene Versuche am Objekt, wobei jeder Versuch die statistisch abgestützte Anwendung einer Untersuchungstechnik ist. Ein Versuch besteht aus Einzelmessungen, welche Einzelmessresultate in numerischer oder zum Teil auch graphischer Form liefern.

Verschiedene Merkmale (Zielgrössen) beschreiben den Zustand, in dem sich das Objekt der Prüfung befindet. Ergebnis jeder Einzelmessung ist die quantifizierte Darstellung eines Merkmals. Die Untersuchung ist nicht beendet, indem man Einzelmessresultate zahlenmässig niederschreibt, vielmehr ist eine kritische Stellungnahme und Auswertung notwendig. Die richtige Beurteilung der gewonnenen Messresultate ist von grosser Bedeutung, da deren Ergebnis eine der Grundlagen für das weitere Vorgehen darstellt. Keine Messresultate zu haben ist unter Umständen besser, als falsch ausgewertete. Fehlinterpretationen und Fehlentscheide können die Folge sein. Werden Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit falsch eingeschätzt, Schadenursachen nicht richtig erkannt, sind weitere Schäden vorprogrammiert.



Untersuchung/Inspektion

Tätigkeiten am Bauwerk mit dem Ziel, Informationen über verschiedene Eigenschaften (Zielgrössen) des Bauwerkes oder der Baustoffe zu gewinnen.

Untersuchungstechnik

Verfahren, Gerät oder anderes Hilfsmittel, das im Rahmen einer Untersuchung eingesetzt werden kann.

Versuch

Teilelement einer Untersuchung. Ein Versuch zielt, unter Anwendung von einer oder mehreren Untersuchungstechniken, darauf ab, Informationen über eine bestimmte Zielgrösse oder Zielgrössengruppe zu gewinnen.

Messung

Die einmalige Anwendung einer Untersuchungstechnik. Mit einer Messung wird ein Einzelmessresultat erzeugt, die ausgewertet werden und Rückschlüsse auf die gesuchte Zielgrösse oder Zielgrössengruppe ermöglichen.

Untersuchungsziel und Randbedingungen

Vor der Planung einer Untersuchung, müssen vorerst Untersuchungsziel und Randbedingungen abgeklärt und festgelegt werden.

Untersuchungsziel

Es muss die Frage beantwortet werden, was überhaupt herausgefunden werden soll: Steht der Qualitätsnachweis oder das Aufspüren der Schadenursache im Vordergrund? Welche Genauigkeit wird erwartet, genügt allenfalls eine qualitative Aussage? Handelt es sich um ein lokales Problem oder suchen wir eine Aussage über das Bauwerk als Ganzes?

Randbedingungen

Wie lässt sich das gesteckte Ziel mit einem beschränkten finanziellen und zeitlichen Aufwand erreichen? Die Anforderungen an die Einfachheit, die Eindeutigkeit und die Aussagekraft der einzelnen Untersuchungstechniken müssen definiert werden.

Die Nutzung des Bauwerkes darf oft nicht eingeschränkt werden, woraus sich Anforderungen an die anzuwendenden Untersuchungstechniken ergeben. Auch darf durch die Entnahme von Probekörpern die Tragsicherheit des Bauwerkes nicht beeinträchtigt werden.

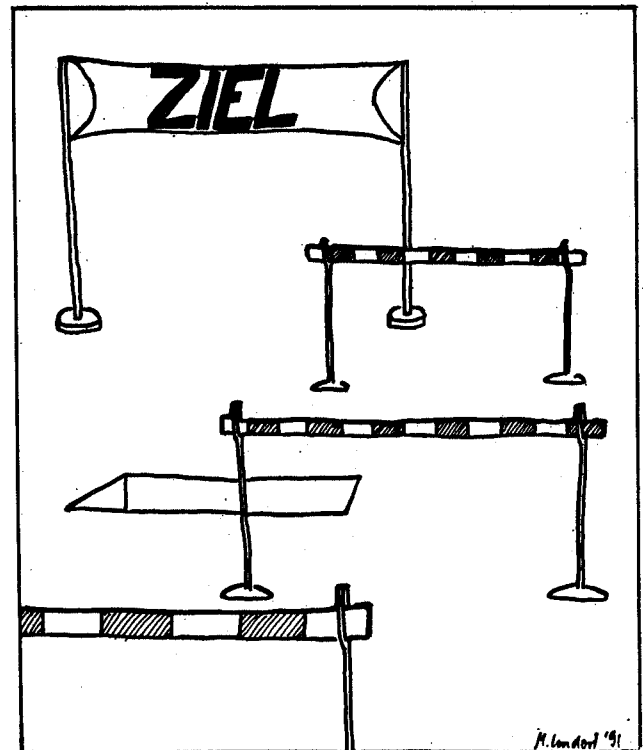
Sind Untersuchungsziel, terminliche und finanzielle Randbedingungen bekannt, kann die Untersuchung geplant werden.

Die eingegangenen Kompromisse müssen bei der Beurteilung der Resultate berücksichtigt werden.

Untersuchungsplanung und Versuchsauswertung

Die Untersuchungsplanung umfasst die Planung der gesamten Untersuchung und die Gestaltung der einzelnen Versuche.

Ziel der Planung ist ein sinnvoller Aufbau der Untersuchung und eine vernünftige, möglichst statistische Abstützung der Versuche.



Die Planungsphase.

Unter statistischer Untersuchungsplanung versteht man das Bestimmen des minimalen Umfangs einer Untersuchung, um verlässliche Aussagen machen zu können.

Im Gegensatz dazu ist die statistische Versuchsauswertung eine Abschätzung, ob eine Aussage zulässig ist, oder ob sie nur zufällig durch die Messungen begründet werden kann.

Voraussetzung dazu ist die vorgängige Beantwortung der Fragen: «Was wollen wir messen» und «Wie wollen wir messen, damit die gewünschten Aussagen unter den gegebenen Randbedingungen gemacht werden können»?

Statistik

Weshalb Statistik?

Eine einzelne Messung ist sowohl zufälligen als auch systematischen Mess- und Beobachtungsfehlern unterworfen. Diese Einflüsse lassen sich in ihrer Wirkung auf die einzelne Messung nicht voraussehen und somit auch nicht ausschalten. Eine objektive Beurteilung ist nur mit statistischen Hilfsmitteln möglich.

Eine statistische Abstützung eines Versuchs wird erreicht, wenn bei dessen Gestaltung vier Grundsätze (Kasten) beachtet werden. In der Praxis ist es nicht immer möglich, und auch nicht immer nötig, alle vier Grundsätze zu beachten.

Das nachfolgende Beispiel veranschaulicht die vier Grundsätze.

Beispiel:

Ein bestehendes Fabrikgebäude soll verkauft werden. Die maximal zulässigen Nutzlasten in den verschiedenen Geschossen müssen bestimmt werden.

Um die Tragfähigkeit der Geschossdecken zu berechnen, muss unter anderem die Festigkeit des vorhandenen Betons bestimmt werden.

Wenn eine statistische Abstützung erreicht werden soll, genügt es nun nicht, einen einzigen Bohrkern zu entnehmen und im Labor prüfen zu lassen. Dieses Vorgehen ermöglicht zwar eine relativ genaue Aussage für den Ort der Bohrkernentnahme, das ganze Bauwerk würde jedoch bei weitem nicht genügend erfasst.

Unter Einhaltung der vier Grundsätze der statistischen Abstützung könnte die folgende Versuchsgestaltung festgelegt werden: aus den einzelnen Decken (Blöcke) wird je eine Stichprobe mit gleich vielen (symmetrischer Aufbau, Wiederholung) Proben (Bohrkerne) an zufällig ausgewählten Orten (Zufallszuteilung) entnommen und geprüft.

Zu dieser Frage äusserte sich Abraham Wald (1902-1950):

«Statistik ist eine Zusammenfassung von Methoden, die es uns erlauben, **vernünftige, optimale Entscheidungen im Falle der Ungewissheit zu treffen.**»

1. Grundsatz: Die Wiederholung

Das Ergebnis einer einzelnen Messung gibt Auskunft über eine Zielgrösse. Die Wiederholung dient der Bestimmung und Verkleinerung des Mess- oder Beobachtungsfehlers. Sind für die Bestimmung einer Zielgrösse Probekörper aus dem Bauteil entnommen worden, so bilden diese eine Stichprobe aus der Grundgesamtheit. Die Stichprobe sollte möglichst zufällig verteilt entnommen werden, damit Gewähr dafür besteht, dass die einzelnen Messergebnisse der gesuchten Zielgrösse voneinander unabhängig sind. Je grösser die Stichprobe, desto genauer entspricht die Häufigkeitsverteilung der Messresultate der Stichprobe und damit auch deren Mittelwert und Streuung derjenigen der Grundgesamtheit: d.h. mit wachsendem Stichprobenumfang werden die sogenannten Schätzwerte für die Grundgesamtheit immer genauer.

2. Grundsatz: Die Zufallszuteilung

Die zufällige Probekörperentnahme schaltet systematische Fehler aus und bewirkt die Unabhängigkeit der Messergebnisse. Hier werden in der Praxis oft Kompromisse gemacht.

3. Grundsatz: Die Blockbildung

Unter Blockbildung – oder Gruppenbildung – versteht man die Zusammenfassung von Messresultaten, die zueinander in einer Beziehung stehen (meist von Messungen an einem begrenzten Bauwerksteil). Die Blockbildung erhöht die Genauigkeit beim Vergleich einer Zielgrösse von zwei Blöcken. Störeffekte können eliminiert werden, da Blöcke in sich selber homogener sind als das ganze Bauwerk oder der Bauteil.

4. Grundsatz: Der symmetrische Aufbau

Der symmetrische Aufbau einer Untersuchung, d.h. möglichst gleiche Anzahl von Messungen in verschiedenen Blöcken oder Versuchsserien, ermöglicht eine einwandfreie Auswertung.

Grundsätze der statistischen Versuchsgestaltung.

Der gesunde Menschenverstand

Eine rein statistische Versuchsgestaltung ergibt in der Regel einen viel zu grossen Prüfumfang.

Faktoren, die die jeweilige Untersuchungstechnik direkt beeinflussen, sind im Allgemeinen zum Voraus bekannt. Ihre Auswirkungen können abgeschätzt und eliminiert werden. Voraussetzung dazu ist eine umfassende und präzise Protokollführung.

Durch Beachtung anderer nicht messbarer Randbedingungen und durch Rückgriff auf vorhandene Erfahrungen (wo ist die Beanspruchung am grössten? Wo ist in der Regel die Qualität am schlechtesten? etc.) lässt sich der Prüfumfang im allgemeinen stark reduzieren. Eine saubere statistische Auswertung kann damit allerdings gefährdet werden.

Zu beachten:

Voruntersuchungen

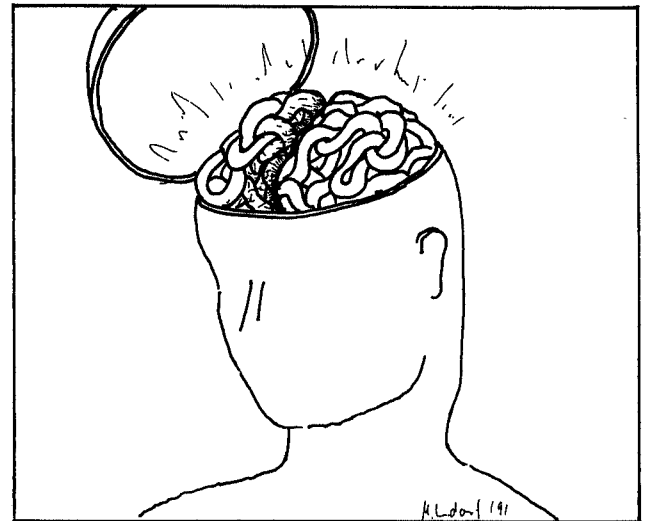
In den meisten Fällen sind Vorabklärungen von grossem Nutzen (Untersuchungsmethodik: Stufenweises Vorgehen, → S. 25).

Vorabklärungen können sich auf einen gewöhnlichen Augenschein beschränken, oder aber bereits Messungen in grobem Raster umfassen, um kritische Punkte aufzudecken. Dabei ist es von Vorteil, wenn die Vorabklärungen von derselben Person überwacht oder durchgeführt werden, die die gesamte Untersuchung plant, die Messergebnisse auswertet, interpretiert und die Folgerungen bezüglich allfälliger Erhaltungsmaßnahmen zieht.

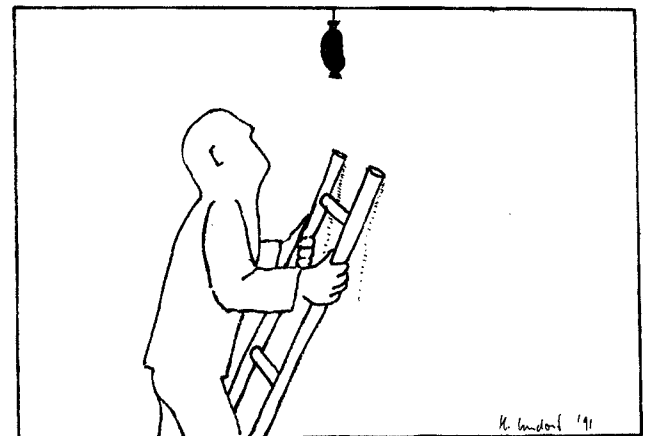
Parallelmessung verschiedener Zielgrössen

Bei der Planung der Untersuchung muss beachtet werden, dass in den meisten Fällen der Entscheid für Erhaltungsmaßnahmen nicht aufgrund der Informationen gefällt werden soll, welche mit einer einzigen Untersuchungstechnik gewonnen werden. Es sollten Paralleluntersuchungen vorgenommen werden: beispielsweise können Messungen des Chloridgehaltes sinnvoll ergänzt werden mit der Bestimmung der Karbonatisierungstiefe, der Eisenüberdeckung und der Porosität.

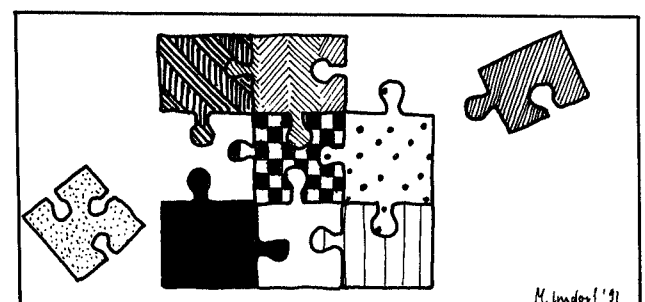
Die Aussagen verschiedener Untersuchungen erhöhen die Gewissheit bei der Bestimmung einer Zielgrösse.



Der gesunde Menschenverstand.



Vorgehen in Stufen.



Paralleluntersuchungen vervollständigen das Puzzle.

Erstellen des Untersuchungskonzeptes

Das Untersuchungskonzept ist aufgrund der Voruntersuchung zu planen.

Bei der Probekörperentnahme bzw. den Messungen am Bauwerk muss systematisch vorgegangen werden: Eine saubere Aufzeichnung und Nummerierung der Entnahme- und Messstellen wird nach einem Augenschein am Ort im Büro vorbereitet.

Die Abmessungen der Probekörper müssen auf die vorgesehenen Laborversuche abgestimmt sein. Unter Umständen ist eine Nachfrage beim Labor notwendig. Auch können Reserve-Probekörper später von Nutzen sein.

Aufnahmeprotokoll bei Messungen an Ort

Im Protokoll werden subjektive und objektive Beobachtungen sowie Kommentare festgehalten. Zu einem vollständigen Protokoll gehören Angaben über die Witterung (Feuchtigkeit, Temperatur, etc.), Entnahmemethoden bei Proben, Ungenauigkeiten bei den Abmessungen der Probekörper, weitere je nach Untersuchungstechnik. Dabei ist immer auf eine genügende Beschreibung in Prosa zu achten, damit Missverständnisse ausgeschaltet werden können. Andererseits sind zuviele Anmerkungen kaum möglich.

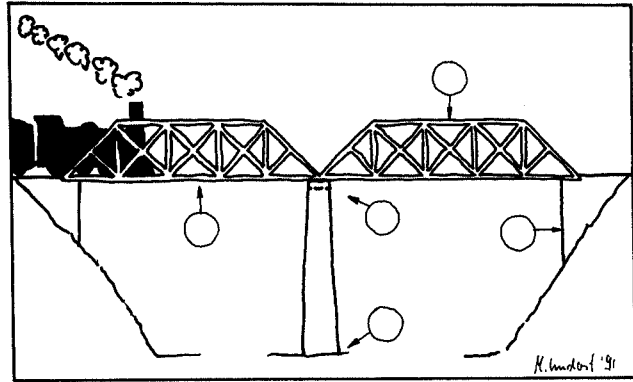
Aufträge an Prüfinstitute

Aus dem Auftrag muss klar und unmissverständlich hervorgehen, was wie geprüft werden soll. Unsinnige Prüfungen sollten vermieden werden. In Zweifelsfällen empfiehlt sich eine Rücksprache mit der Prüfstelle.

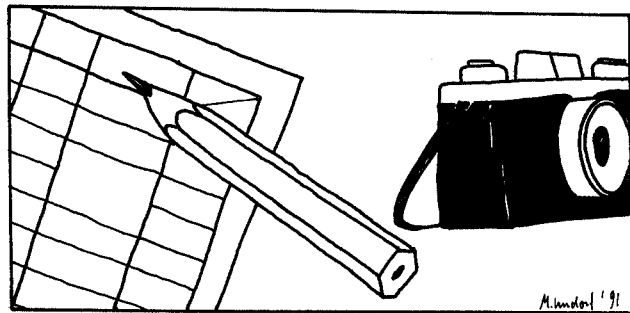
Als Beispiel die Bestimmung des Chloridgehaltes:

Es ist möglich, dass in den obersten Schichten eines Bauteils der Chloridgehalt tiefer ist als in einer Tiefe von 10 bis 20 mm. Einzelne Prüfinstitute brechen aber die Prüfung ab, wenn der Chloridgehalt in der obersten Schicht einen bestimmten Wert nicht überschreitet.

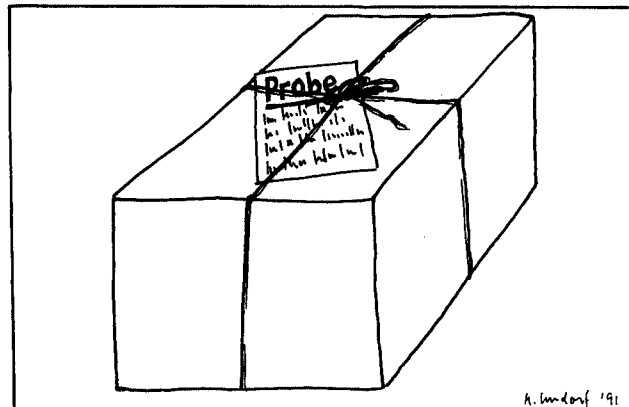
Weitere Angaben finden Sie im Datenblatt *Probentnahme/Laborauftrag* (→ S. 68).



Das vorbereitete Konzept erlaubt ein zielgerichtetes Vorgehen bei der Untersuchung.



Das Aufnahmeprotokoll ist ein wichtiges Dokument.



Der Auftrag an das Prüflabor beinhaltet mehr als nur die Probekörper.

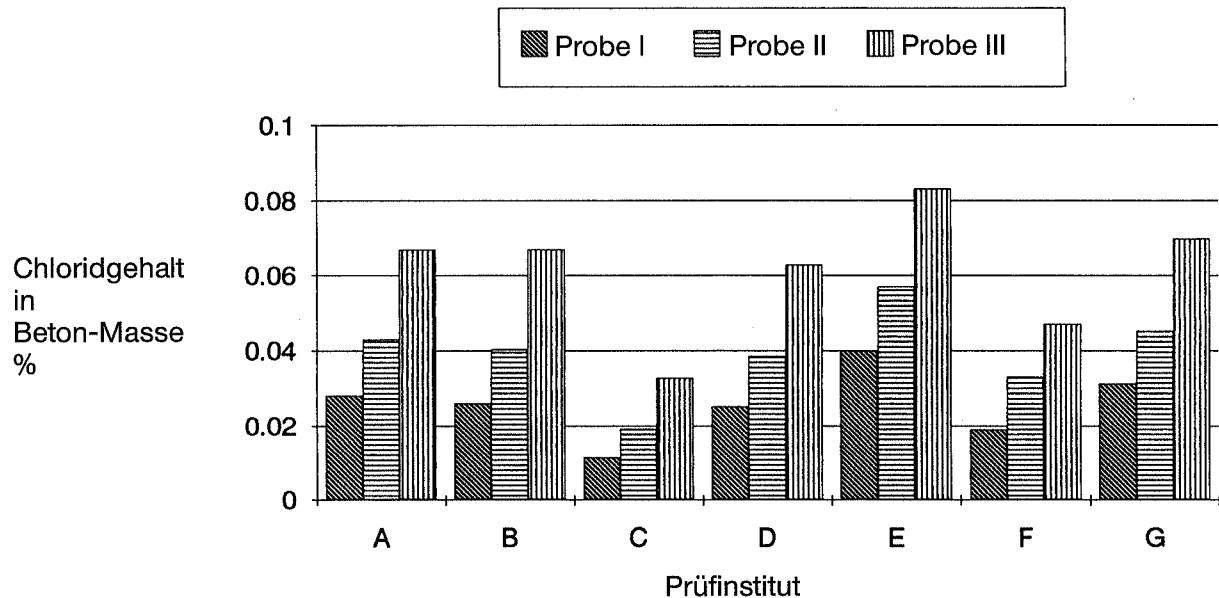
Im Rahmen der Arbeit der Kommission SIA 291 wurde vom Büro Aegerter und Bosshardt AG ein Ringversuch mit sieben beteiligten Prüfinstituten durchgeführt. Es ging darum, den Chloridgehalt von drei verschiedenen Proben zu bestimmen. Jedes Prüfinstitut führte sechs bis zehn Messungen je Probe durch.

Die Ergebnisse zeigen erstens sehr deutlich die Abhängigkeit der Messresultate von den angewendeten Aufschluss- und Analyseverfahren, und zweitens, dass das Prüferesultat eines Prüflabors nicht unbedingt das einzig richtige ist!

In der Tabelle ist zusammengestellt, welches Prüfinstitut mit welchen Methoden gearbeitet hat:

Institut A	Institut B	Institut C	Institut D	Institut E	Institut F	Institut G
Salpetersäure	Heisswasser	Kaltwasser	Heisswasser	Heisswasser	Salpetersäure	Heisswasser Soxhlet
Direktpotentiometrie mit ionensensitiver Elektrode	Direktpotentiometrie mit ionensensitiver Elektrode	Direktpotentiometrie mit ionensensitiver Elektrode	Quantitative Chloridbestimmung mittels «IC»	Titrierung mit Silbernitrat	Titrierung mit Silbernitrat	Titrierung mit Silbernitrat

Chloridbestimmung – Ringversuch

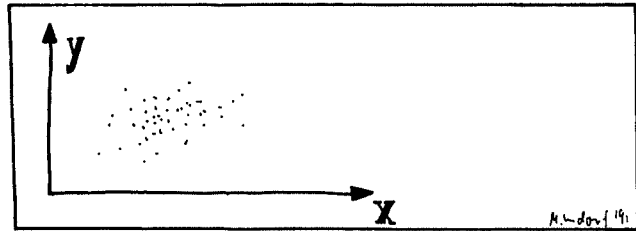


Die Variationskoeffizienten sind sehr unterschiedlich und unabhängig von der angewendeten Methode. Sie variieren zwischen 0.5% und 8.1%.

Chloridbestimmung-Ringversuch (vgl. Bemerkungen auf der nächsten Seite).

Streuung der Messresultate

Messresultate können unter Umständen am selben Ort stark streuen. Nicht nur das Gerät, mit dem gemessen wird, sondern auch die Person, die misst, hat einen grossen Einfluss (Lit. 2).

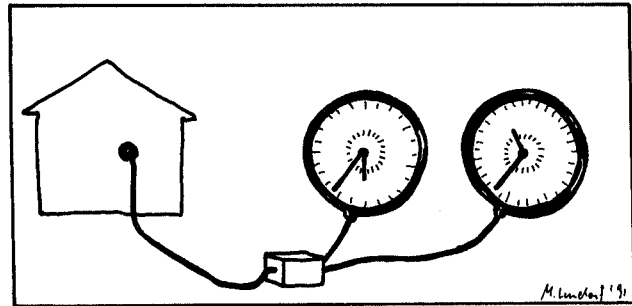


Messresultate streuen.

Mess- und Ablesegenauigkeit

Es gibt Geräte, die eine sehr grosse Genauigkeit vortäuschen – aber Achtung: beispielsweise kann bei Dehnungsmessungen mit dem Deformeter (Setzdehnungsmesser) die Ablesung durch dieselbe Person je nach Anpressdruck um ± 5 bis 10 Ableseeinheiten variieren!

Ähnliches gilt für die Ergebnisse von Laborversuchen. Diese täuschen oft eine hohe Genauigkeit vor. Über die systematische Streuung der Versuchsergebnisse, die durch den Laboranten oder die Versuchsanordnung (diese kann von Labor zu Labor variieren) bedingt ist, wird meist nicht gesprochen. Das angeführte Beispiel «Chloridbestimmung-Ringversuch» veranschaulicht diese Einflüsse besser als viele Worte.

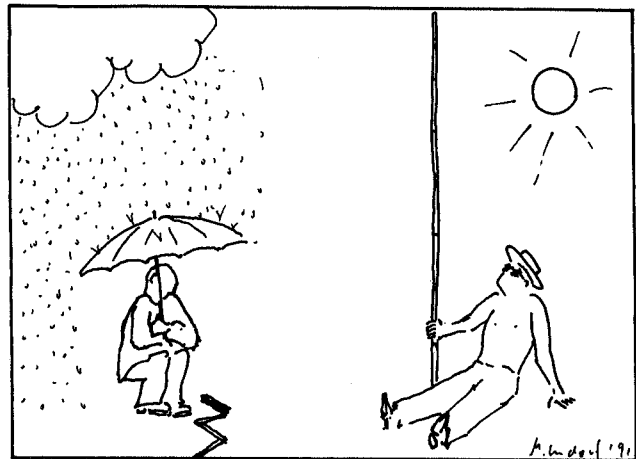


Sich nicht durch scheinbare Genauigkeit täuschen lassen.

Der Mensch

Der Einfluss von Motivation und Ausbildung des Prüfenden im Labor und an Ort, bzw. desjenigen, der die Proben entnimmt, darf nicht unterschätzt werden. Temperatur und Witterung sind nicht nur Einflussfaktoren für die meisten Untersuchungstechniken, sondern sie haben auch eine dämpfende Wirkung auf die Motivation des Prüfpersonals!

Eine gute Zugänglichkeit erhöht die Zuverlässigkeit der Messresultate: Potentialfeldmessungen über Kopf sind äusserst mühsam durchzuführen. Der Untersuchende muss seine Arbeit möglichst unvoreingenommen ausführen. Vorgefasste Meinungen können das Resultat einer Untersuchung wesentlich beeinflussen.



Den Einfluss des Menschen nicht unterschätzen.

Literatur

1. Morf U.: Materialprüfung I, Vorlesung an der ETHZ; EMPA, Oktober 1984.
2. Schaab A., Flohrer C., Hillemeier B.: Die zerstörungsfreie Prüfung der Betonüberdeckung der Bewehrung; Beton- und Stahlbetonbau, Heft 11/1989, p. 275ff, Heft 12/1989, p. 324ff.

Persönliche Notizen:

Persönliche Notizen:

2.5 Übersicht über Untersuchungstechniken

Informationen für den Benützer der Übersichtstabellen	47
Verzeichnis der Übersichtstabellen: Konstruktion, Bauteile, Ausrüstungen	48
Foundationen und Baugrund	49
Pfähle, Schlitzwände	49
Beton	50/51
Betonstahl (inklusive Spannbettvorspannung)	52
Spannstahl (Kabelvorspannung mit Hüllrohr)	53
Stahl (Baustahl)	54
Mauerwerk	55
Mauerwerksoberflächenschutz (Putz und ähnliches)	56
Mauerwerksverkleidung (Verkleidungsplatten)	56
Holzkonstruktionen	57
Kunststoffe	57
Befestigungselemente aus nichtrostenden Stählen	58
Boden- und Felsanker	58
Elektromechanische Anlageteile	59

Persönliche Notizen:

Informationen für den Benützer der Übersichtstabellen

Die Tabellen geben eine Übersicht über die Untersuchungstechniken, die für die Untersuchung eines bestimmten Bauteiles oder Baustoffes zu Hilfe genommen werden können. Es wurde versucht, möglichst alle als praxistauglich eingestuften Untersuchungsmethoden zu berücksichtigen. In einzelnen Fällen werden aber auch Untersuchungstechniken aufgeführt, die nur beschränkt als praxistauglich beurteilt werden können. Aus den Tabellen ist zudem ersichtlich, ob und wo allenfalls weitere Angaben zu einer Untersuchungstechnik im Handbuch gefunden werden können.

Hinweis auf Datenblätter

Untersuchungstechniken, die im Teil «Datenblätter» noch eingehender beschrieben werden, sind in der Übersicht **unterstrichen**. Hinter der Untersuchungstechnik ist der Hinweis eingefügt (→), auf welcher Seite das Datenblatt zu finden ist.

Einfache Untersuchungstechniken

Untersuchungstechniken, die mit wenig Aufwand, oft schon im Rahmen einer ersten visuellen Untersuchung durch den Ingenieur selbst eingesetzt werden können, sind in der Übersicht durch **Fettdruck** hervorgehoben.

Laboruntersuchungen

Untersuchungen, die in der Regel im Labor und durch entsprechende Fachleute ausgeführt werden, sind in der Übersicht in **Kursivschrift** dargestellt. Diese Untersuchungen sind fast immer zerstörend, weil für die Laboruntersuchung in der Regel eine Probe aus dem Bauwerk entnommen werden muss.

Beschränkt praxistaugliche Untersuchungstechniken

Untersuchungstechniken, die in der Übersicht in **Klammern** gesetzt sind, werden als nur beschränkt praxistauglich eingestuft. Diese Untersuchungen sind in der Regel mit relativ grossem Aufwand verbunden, zudem ist die Interpretation der Resultate sehr anspruchsvoll. In speziellen Fällen können solche Untersuchungstechniken jedoch zu einer besseren Beurteilung beitragen.

Untersuchungsobjekt:

Konstruktion, Bauteile, Ausrüstungen

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Geometrie (Bautoleranzen)	Messen/Vermessung Präzisionsnivellement Fotogrammetrie Orthofoto	
Setzungen/Verformungen	Nivellement (optisch, Schlauchwaage → S. 189) Siegel	
Tragverhalten Verformungsverhalten	Belastungsversuch Durchbiegungsmessung (Schwingungsanalyse) Längenänderungsmessung	
Verbund (Beton/Stahl) hohlliegende Bereiche	Abklopfen (z.B. mit Stahlkette)	<u>Abreissprüfung</u> [Oberflächenbesch.] → S. 76 <u>Endoskopie</u> [Anbohren] → S. 66 <u>Augenschein</u> [Fenster öffnen] → S. 64
Lager	<u>Augenschein</u> → S. 64 Verschiebungsmessungen Kontrolle der Bewegungen	
Übergangskonstruktionen	<u>Augenschein</u> → S. 64 Verschiebungsmessungen	
Entwässerungs- einrichtungen	<u>Augenschein</u> → S. 64 Funktionsprüfung	
Belag (vgl. auch 2. Strasse)	<u>Augenschein</u> → S. 64 Dickenmessung (<u>Georadar</u>) → S. 90	Dickenmessung [Bohrkernentnahme] <i>Mischungsanalyse</i> [Bohrkernentnahme] <i>Druckprüfung</i> [Bohrkernentnahme] <i>Verformungsprüfung</i> [Bohrkernentnahme]
Abdichtung	<u>Augenschein</u> → S. 64 Beobachtung Abklopfen (<u>Georadar</u>) → S. 90 (<u>Infrarotthermographie</u>) → S. 88	<u>Augenschein</u> [Fenster öffnen] → S. 64 <u>Augenschein</u> [Bohrkernentnahme] → S. 64

Untersuchungsobjekt:

Foundationen und Baugrund

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Setzungen/ Verschiebungen	Augenschein → S. 64 Nivellament (optisch, Schlauchwaage → S. 189) Lagemessung geodätisch Extensometer Inclinometer Trivecmessung Slopeindicator Pendel Neigungsmesser → S. 190 LAS-System → S. 188	
Wasserspiegel/-druck	Piezometer	
Erddruck/Bodenpressung	Druckmessdosen	

Zur weitergehenden Untersuchung und Beurteilung ist der Beizug entsprechender Spezialisten (Geotechniker, Geologen) erforderlich.

Untersuchungsobjekt:

Pfähle, Schlitzwände

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Tragfähigkeit	Belastungsversuch ¹⁾	
Integrität des Pfahles	(Reflexionsprüfung)	<u>Ultraschall</u> [Einlage Führungsrohre/ Bohrung durch Pfahlbeton] → S. 92
Setzungen/Verformungen	Präzisionsnivellament Geodätische Vermessung Inclinometer Neigungsmesser → S. 190 LAS-System → S. 189	

¹⁾ E SIA V192, Pfähle

Untersuchungsobjekt:

Beton

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Druckfestigkeit	Betonprüfhammer → S. 70 (<u>Ultraschall</u>) → S. 92	<i>Bohrkern-Druckfestigkeit</i> ¹⁾ [Bohrkernentn.] <i>Würfeldruckfestigkeit</i> ³⁾ [Bohrkernentnahme] Bolzeneindringprüfung [Oberflächenbesch.]
Zugfestigkeit		<u>Abreissprüfung</u> [Oberflächenbeschädigung] → S. 76 Bolzenausziehversuch [Oberflächenbesch.] Anker-/Dübelausziehversuch [Oberfl.besch.] <i>Zugversuch</i> ²⁾ [Bohrkernentnahme]
Elastizitätsmodul	(<u>Ultraschall</u>) → S. 92 (dynamische Messung)	<i>Spannungs-Dehnungsversuch</i> ⁴⁾ [Bohrk.]
Gefüge – Fehlstellen – Porosität – Dichtigkeit – Saugfähigkeit – Luftporen – Qualitätsgefälle – Zementgehalt – Kornaufbau	Augenschein → S. 64 Abklopfen Taschenmikroskop Saugröhrchen → S. 74 <u>Widerstandsmessung</u> → S. 80 (<u>Ultraschall</u>) → S. 92 (<i>Torrent</i>) → S. 75 (<u>Impuls-Echo</u>) → S. 84	<i>Wasserleitfähigkeit</i> ⁵⁾ [Bohrkernentnahme] <i>Porosität</i> ⁶⁾ [Bohrkernentnahme] <i>Dichte</i> [Bohrkernentnahme] <i>Dünnschliff</i> (Mikroskop) <i>Porenkennwerte</i> ⁷⁾ [Bohrkernentnahme] <i>Bruchflächenbeurteilung</i> [Bohrkernentn.] <i>Frostwechselverhalten</i> ⁸⁾ [Bohrkernentnahme] <i>Frost-Tausalzverhalten</i> ⁹⁾ [Bohrkernentnahme] <i>Abriebverhalten</i> ¹⁰⁾ [Bohrkernentnahme]
Hohlräume Einschlüsse	Abklopfen (<u>Ultraschall</u>) → S. 92 (<u>Infrarotthermographie</u>) → S. 88 (<i>Georadar</i>) → S. 90 (<i>Radiographie</i>) (<u>Impuls-Echo</u>) → S. 84	<u>Vakuummethode</u> [Anbohren] → S. 86 Ausmessen [Beton aufspitzen/Fenster öffnen]
Feuchtigkeit	Plasticfolie (abdecken) <u>Widerstandsmessung</u> → S. 80 (<u>Infrarotthermographie</u>) → S. 88 (<i>Georadar</i>) → S. 90	CM-Prüfung [Bruchstückentnahme] Luftfeuchtigkeitsmessung in Bohrlöchern <i>Neutronenstreuung</i> [Bohrkernentnahme trocken] <i>Gravimetrie</i> [Bohrkernentnahme trocken]

Die bei der Entnahme von Proben und der Erteilung eines Laborauftrages zu beachtenden Punkte finden Sie im Datenblatt **«Probenentnahme/Laboraauftrag»** → S. 68 zusammengefasst.

Untersuchungsobjekt:

Beton

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Risse (Feststellung)	Augenschein (Wasser) → S. 64 Risslehre (Vergleichsmasstab) Risslupe (Ultraschall) → S. 92 (Radiographie)	Rissverlauf und Risstiefe abmessen [Bohrkern/Fenster öffnen] <i>Rissanalyse im Dünnschliff</i>
Risse (Bewegung)	Gips-/Glasmarken Wegaufnehmer Setzdehnungsmesser Messuhr (Impuls-Echo) → S. 84	
Karbonatisierung		pH-Messung an Bohrstaub ¹¹⁾ [Anbohren] Sprühtest ¹¹⁾ [Aufspitzen] Sprühtest ¹¹⁾ [Bohrkern-/Bruchstückentn.] <i>Dünnschliff</i> (Mikroskop) ¹¹⁾ [Bruchstückentnahme]
Chloridgehalt	<u>Potentialmessung</u> → S. 78 (nur bei Stahlbeton)	verschiedene chem. Analyseverfahren ¹²⁾ [Anbohren/Bruchstückentnahme]
Sulfatgehalt		<i>Chemische Analyse</i> [Anbohren/Bruchstückentnahme]
Temperatur	Thermometer Thermoelement (Infrarotthermographie) → S. 88	Thermometer/Thermoelement in Bohrloch versetzt
Zusammensetzung	Augenschein → S. 64	Augenschein [Bohrkern-/Bruchstückentnahme] → S. 64 <i>Chem. Analyse</i> [Bohrkern-/Bruchstückentn.] <i>Dünnschliff</i> (Mikroskop) [Bohrkern-/Bruchstückentnahme]
Beschichtung	<u>Schichtdickenmessung</u> → S. 82 (Ultraschall, Gerät nach BAM / ZTV-SIB 90)	<u>Gitterschnitt</u> → S. 96 Keilschnitt <u>Abreissprüfung</u> → S. 76

¹⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfung Nr. 2²⁾ EMPA, Prüfen von Beton³⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfung Nr. 1⁴⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfung Nr. 3⁵⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfung Nr. 5⁶⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfung Nr. 7⁷⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfung Nr. 6⁸⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfung Nr. 8⁹⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfung Nr. 9¹⁰⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfung Nr. 10¹¹⁾ SIA 162/3, Bestimmung der Karbonatisierungstiefe in Beton¹²⁾ SIA 162/2, Bestimmung des Chloridgehaltes in Beton

Untersuchungsobjekt:

Betonstahl (inkl. Spannbettvorspannung)

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Lage/Überdeckung Durchmesser	Betonüberdeckungsmessung – elektromagnetisch → S. 72 – magnetisch – Wirbelstromverfahren (Georadar) → S. 90 (Radiographie)	direkte Messung [Anbohren/Freilegen]
Mechanische Kennwerte – Zugfestigkeit – Fließ-/Streckgrenze – Einschnürung – Dehnung – Zähigkeit – Ermüdungskennwerte – Zusammensetzung (Stahlqualität)		<i>Mechanische Kennwerte</i> ¹⁾ <i>Verformbarkeit und Sprödbbruch</i> ²⁾ <i>Ermüdungsfestigkeit</i> ³⁾ <i>Korrosionsverhalten</i> ⁴⁾ <i>Chemische Analyse</i> <i>Mikrohärte</i> <i>Mikrogefüge im Anschliff</i> [alle Versuche: Ausbau einer Stahlprobe]
Risse	(Ultraschall) → S. 92	<u>Farbeindringprüfung</u> [Stahl freilegen] → S. 98 Magnetpulverprüfung [Stahl freilegen] Zugversuch [Stahl ausbauen] Anschliff (Mikroskop [Stahl ausbauen] (Impedanzmessung) [Aufspitzen]
Korrosion	Augenschein → S. 64 Rostflecken, Abplatzen) <u>Potentialmessung</u> → S. 78	<u>Augenschein</u> [Anbohren/Aufspitzen] → S. 64 <u>Endoskopie</u> [Anbohren/Aufspitzen] → S. 66 <u>Potentialmessung</u> [Aufspitzen] → S. 78 (Pulsmessung) [Aufspitzen] <i>Chemische Analyse</i> [Stahl ausbauen]
Streuströme	<u>Potentialmessung</u> → S. 78 Messung Streuströme	
Wasserstoffversprödung (nur bei Spannstahl)		<u>Farbeindringprüfung</u> [Stahl freilegen] → S. 98 Magnetpulverprüfung [Stahl freilegen] Zugversuch [Ausbauen] <i>Chemische Analyse</i> [Ausbauen]
Elektr. Widerstand	<u>Widerstandsmessung</u> → S. 80	

¹⁾⁻⁴⁾ SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfungen Nr. 33, 34, 38, 39.

Die bei der Entnahme von Proben und der Erteilung eines Laborauftrages zu beachtenden Punkte finden Sie im Datenblatt **«Probenentnahme/Laborauftrag»** → S. 68 zusammengefasst.

Untersuchungsobjekt:

Spannstahl (Kabelvorspannung mit Hüllrohr) ¹⁾

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Lage/Überdeckung Durchmesser	(<u>Georadar</u>) → S. 90 (Radiographie)	direkte Messung [Anbohren/Freilegen]
Mechanische Kennwerte – Zugfestigkeit – Fließ-/Streckgrenze – Einschnürung – Dehnung – Zähigkeit – Ermüdungskennwerte – Zusammensetzung (Stahlqualität)		<i>Mechanische Kennwerte ²⁾</i> <i>Verformbarkeit u. Zähigkeit ³⁾</i> <i>Ermüdungsfestigkeit ⁴⁾</i> <i>Korrosionsverhalten ⁵⁾</i> <i>Relaxation von Spannstahl ⁶⁾</i> <i>Chemische Analyse</i> <i>Mikrohärte</i> <i>Mikrogefüge im Anschliff</i> [alle Versuche: Ausbau einer Stahlprobe]
Risse	(<u>Ultraschall</u>) → S. 92	<u>Farbeindringprüfung</u> [Stahl freilegen] → S. 98 Magnetpulverprüfung [Stahl ausbauen] <i>Zugversuch</i> [Stahl ausbauen] <i>Anschliff</i> (Mikroskop) [Stahl ausbauen] (Impedanzmessung) [Aufspitzen]
Korrosion		<u>Augenschein</u> [Anbohren/Aufspitzen] → S. 64 <u>Endoskopie</u> [Anbohren/Aufspitzen] → S. 66 <u>Potentialmessung</u> [Aufspitzen] → S. 78 (Pulsmessung) [Aufspitzen] <i>Chemische Analyse</i>
Streuströme		<u>Potentialmessung</u> → S. 78 Messung Streuströme
Wasserstoffversprödung (nur bei Spannstahl)		<u>Farbeindringprüfung</u> [Stahl ausbauen] → S. 98 Magnetpulverprüfung [Stahl ausbauen] <i>Zugversuch</i> [Ausbauen] <i>Chemische Analyse</i> [Ausbauen]
Spannkraft	Eingebauter Kraftaufnehmer	Entspannen [Ausbauen] Überspannen/Abheben des Spannkopfes [evtl. Zerstörung Injektion]
Verpressfehler (Spannkanäle)	(nur bei Spannstahl) (<u>Ultraschall</u>) → S. 92	<u>Endoskopie</u> [Anbohren] → S. 66 <u>Vakuummethode</u> [Anbohren] → S. 86 <u>Augenschein</u> [Freilegen] → S. 64
Dichtigkeit Kunststoffhüllrohr	Widerstandsmessung → S. 80	

¹⁾ Matt: Zerstörungsfreie Prüfung von Spanngliedern in bestehenden Brückenbauten; VSS Forschungsbericht Nr. 170, 1989.

¹⁾ Bänziger, Matt: Wegleitung zur Erstellung und Instandsetzung von Sondieröffnungen bei Spanngliedern, VSV, 1998.

^{2) - 6)} SIA 162/1, Betonbauten Materialprüfung, Prüfungen Nr. 33, 42, 38, 39, 40.

Untersuchungsobjekt:

Stahl (Baustahl) ¹⁾

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Mechanische Kennwerte – Zugfestigkeit – Fließ-/Streckgrenze – Dehnungskennwerte – Ermüdungsfestigkeit – Zusammensetzung – Schweissbarkeit	Härteprüfung	<i>Zugversuch mit Dehnungsmessung</i> [Materialprobe entnehmen] <i>Kerbschlagbiegeversuch</i> [Materialprobe] <i>Dauerschwingversuch</i> [Materialprobe] Chem. Analyse [Materialprobe entnehmen]
Risse ²⁾	<u>Augenschein</u> → S. 64 <u>Farbeindringprüfung</u> → S. 98 Magnetpulverprüfung Ultraschall (Röntgen)	
Korrosion	<u>Augenschein</u> → S. 64 Korrosionsgrad Verunreinigungen (Rostwasser) Potentialmessung Laboranalyse (Wischprobe) Analyse Korrosionsprodukte EDX elektrochem. Messmethoden im Labor	Laboranalysen [Materialprobe entnehmen]
Korrosionsschutz	<u>Augenschein</u> → S. 64 Verunreinigungen Blasenbildung Porosität Farbwischtest <u>Schichtdickenmessung</u> <u>magnetisch induktiv</u> → S. 94 Wirbelstrom für Eloxal/Alu (Fassadenbau)	<u>Gitterschnittprüfung</u> → S. 96 Abreissprüfung Schichtdickenmessung mechanisch
Temperatur	Magnethaftthermometer	
Drahtbrüche (Stahlseile)	Induktionsmagnetspule	

¹⁾ SIA 161 (1990), Stahlbauten: Ziffer 6.8, Prüfungen²⁾ SIA 161/1 (1990), Stahlbauten: Ziffer 3: Schweissnahtqualität; Ziffer 4: Prüfungen an Schweissverbindungen

Die bei der Entnahme von Proben und der Erteilung eines Laborauftrages zu beachtenden Punkte finden Sie im Datenblatt **«Probenentnahme/Laboraauftrag»** → S. 68 zusammengefasst.

Untersuchungsobjekt:

Mauerwerk

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Festigkeit		<i>Festigkeitsprüfung</i> [Probe ausbauen]
Aufbau (Mehrschaligkeit) (Eisen)	(<u>Ultraschall</u>) → S. 92 (Seismik) (<u>Georadar</u>) → S. 90 (<u>Widerstandsmessung</u>) → S. 80 (<u>Georadar</u>) → S. 90	<u>Endoskopie</u> [Anbohren] → S. 66 <u>Augenschein</u> [Bohrkernentnahme] → S. 64 <u>Augenschein</u> [Fenster öffnen] → S. 64
Hohlräume	Abklopfen (<u>Ultraschall</u>) → S. 92 (<u>Infrarotthermographie</u>) → S. 88 (Seismik) (<u>Georadar</u>) → S. 90	<u>Endoskopie</u> [Anbohren] → S. 66 Hohlräume inspizieren [Aufspitzen]
Feuchtigkeit	Augenschein → S. 64 <u>Widerstandsmessung</u> → S. 80 (<u>Infrarotthermographie</u>) → S. 88 (Reflektrothermographie) (<u>Georadar</u>) → S. 90	<u>Augenschein</u> [Fenster öffnen] → S. 64 <i>Analyse</i> [Bohrkernentnahme trocken]
Risse	Augenschein → S. 64 (<u>Ultraschall</u>) → S. 92	Rissverlauf aufnehmen [Aufspitzen] Risstiefe feststellen [Bohrkernentnahme]
Schichtdicken	(<u>Ultraschall</u>) → S. 92 (Seismik) (<u>Georadar</u>) → S. 90 (<u>Widerstandsmessung</u>) → S. 80	Schichten messen [Aufspitzen] Schichten messen [Bohrkernentnahme]
Materialunterschiede	(Seismik) (<u>Georadar</u>) → S. 90 (<u>Widerstandsmessung</u>) → S. 80	<u>Augenschein</u> [Aufspitzen] → S. 64 <u>Augenschein</u> [Bohrkernentnahme] → S. 64 Dünnschliff (mikroskop. Gefügeuntersuchung)
Chlorid, Salze allg.	Augenschein → S. 64 (Ausblühungen)	<i>Chemische Analyse</i> [Bohrkern-/Bruchstückentnahme]

Untersuchungsobjekt:

Mauerwerksoberflächenschutz (Putz u.ä.)

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Verbund	<u>Augenschein</u> → S. 64 Abklopfen Kratzprobe	<u>Abreissprüfung</u> [Oberflächenbeschädigung] → S. 76
Porosität	<u>Saugröhrchen</u> → S. 74 <u>Widerstandsmessung</u> → S. 80	<u>Porositätsprüfung</u> [Probeentnahme]
Feuchtigkeit	<u>Widerstandsmessung</u> → S. 80	<u>CM-Prüfung</u> (Probenahme) <u>Trocknen/Wägen</u> (Probenahme)
Zusammensetzung		<u>Bindemittelbestimmung</u> [Probeentnahme] <u>Bindemittelverteilung</u> Probeentnahme <u>Kornverteilung</u> Probeentnahme <u>Dünnschliff</u>
Salzbelastung		<u>Chloridtest</u> [Probeentnahme] <u>Nitrattest</u> [Probeentnahme] <u>Sulfattest</u> [Probeentnahme] <u>chemische Analyse</u> [Probeentnahme]

Untersuchungsobjekt:

Mauerwerksverkleidung (Verkleidungsplatten)

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Befestigung an Mauerwerk	<u>Augenschein</u> → S. 64 <u>Endoskopie</u> → S. 64	<u>Endoskopie</u> [Anbohren] → S. 66 Detailuntersuchung (evtl. im Labor) [Proben demontieren bzw. ausbauen]

Die bei der Entnahme von Proben und der Erteilung eines Laborauftrages zu beachtenden Punkte finden Sie im Datenblatt **«Probenentnahme/Laborauftrag»** → S. 68 zusammengefasst.

Untersuchungsobjekt:

Holzkonstruktionen

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Festigkeitseigenschaften – Druckfestigkeit – Biegefestigkeit – Rohdichte – Faserverlauf – E-Modul – Astigkeit	<u>Augenschein</u> ¹⁾ → S. 64 Eindringwiderstand Belastungsversuch (Ultraschall (Laufzeit)) (Schwingzeitmessung)	<i>Bohrkernanalyse</i> [Bohrkernentnahme] (Bohrkernprüfgerät) <i>Penetrationsverfahren</i> (z.B. Proceq)
Belastungsgrad	(Schallemmissionanalyse)	
Verbindungsmittel	siehe Stahl (Baustahl)	siehe Stahl (Baustahl)
Feuchtigkeit	<u>Augenschein</u> → S. 64 Widerstandsmessung	<i>Bohrkernanalyse</i> [Bohrkernentnahme]
Risse	<u>Augenschein</u> → S. 64	
Fäulnis	<u>Augenschein</u> → S. 64 Eindringwiderstand	<i>Bohrkernanalyse</i> [Bohrkernentnahme] Belastungsversuch <u>Endoskopie</u> → S. 66

¹⁾ SIA 164, Holzbau (Festigkeitssortierung)

Zur Untersuchung von Holz und Holzkonstruktionen finden sie weitere Angaben im Datenblatt **«Holzbauteile»**
 → S. 102 ff

Untersuchungsobjekt:

Kunststoffe

Für die spezifische Prüfung von Kunststoffen ist der Beizug eines Fachmannes erforderlich. Bei einem Augenschein ist auf Versprödungen, Verfärbungen, Risse etc. zu achten.

Untersuchungsobjekt:

Befestigungselemente aus nichtrostenden Stählen

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Risse	Augenschein → S. 64 Endoskopie → S. 64 Potentialmessung Rissnachweisverfahren	<i>detaillierte Prüfung</i> [ausbauen]
Korrosion	Augenschein → S. 64 Endoskopie → S. 64 Chloridbeaufschlagung (Wischprobe) weitere Methoden vgl. Stahl	<i>detaillierte Prüfung</i> [ausbauen]
Tragfähigkeit	Augenschein → S. 64	Ausziehversuch [evtl. Zerstörung] <i>detaillierte Prüfung</i> [ausbauen]

Untersuchungsobjekt:

Boden- und Felsanker

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Tragfähigkeit	Spannprobe ¹⁾ Kontrolle Ankerkraft	Ausziehversuch
Korrosion	Augenschein → S. 64 Potentialmessung	Überbohren [ausbauen]
Wasserdichtigkeit	Augenschein → S. 64 Widerstandsmessung	

¹⁾ E SIA V 191, Vorgespannte Boden und Felsanker

Zum Vorgehen bei der Untersuchung von bestehenden Boden- und Felsankern (Permanentankern) finden Sie weitere Informationen im Datenblatt **«Boden- und Felsanker»** → S. 100

Die bei der Entnahme von Proben und der Erteilung eines Laborauftrages zu beachtenden Punkte finden Sie im Datenblatt **«Probenentnahme/Laborauftrag»** → S. 68 zusammengefasst.

Untersuchungsobjekt:

Elektromechanische Anlageteile

Für die Untersuchung und Beurteilung von elektromechanischen, elektrischen und elektronischen Anlageteilen (Lüftungen, Steuerungen, Signalanlagen, Überwachungsanlagen etc.) ist der Beizug von Spezialisten der entsprechenden Fachbereiche erforderlich. Da die Ursachen von Schäden, insbesondere von Korrosionserscheinungen, vielfach durch die Umgebungsbedingungen und durch die Mängel anderer Bauteile begründet sind, ist eine interdisziplinäre Zustandsuntersuchung und Planung der Erhaltungsmassnahmen unerlässlich. Der Umfang von Erhaltungsmassnahmen an solchen Anlageteilen wird sogar von den entsprechenden Fachleuten (in einer ersten Phase) oft unterschätzt.

Persönliche Notizen:

2.6 Datenblätter zu Untersuchungstechniken

Informationen für den Benutzer der Datenblätter	63
Verzeichnis der Datenblätter:	
Visuelle Untersuchung/Augenschein	64
Endoskopie	66
Probenentnahme/Laborauftrag	68
Betonprüfhammer (Schmidt-Hammer)	70
Betonüberdeckungsmessung (Stahlbeton)	72
Saugröhrchen nach Karstens (Flüssigkeits-Eindringtest)	74
Abreissprüfung (Beton, Putze, Beschichtungen)	76
Potentialmessung (Stahl- und Spannbeton)	78
Elektrische Widerstandsmessung mit 4-Punkte Methode (Beton/Mörtel/Mauerwerk)	80
Schichtdickenmessung (Beschichtungen auf Beton)	82
Impact-Echo Methode (I-E-Methode)	84
Vakuummethode (Spannbeton)	86
Infrarotthermographie (Stahlbeton/Mauerwerk)	88
Georadar (Stahlbeton/Mauerwerk)	90
Ultraschall (Stahlbeton/Pfähle)	92
Schichtdickenmessung (Beschichtungen auf Stahl und Aluminium)	94
Gitterschnittprüfung (Beschichtungen auf Stahl)	96
Farbeindringprüfung (Stahl)	98
Boden- und Felsanker	100
Holzbauteile (tragend)	102

Persönliche Notizen:

Informationen für den Benutzer der Datenblätter

Die Datenblätter sind mit wenigen Ausnahmen nach dem gleichen Schema aufgebaut. Damit soll dem Benutzer die Suche nach der gewünschten Information möglichst erleichtert werden. Die Erläuterung der verwendeten Stichworte finden Sie nachfolgend auf dieser Seite. Diese dienen als grobe Richtschnur bei der Zusammenstellung der Angaben. *Die aufgeführten Informationen sind nicht als Gebrauchsanweisung für die Anwendung einer Untersuchungstechnik oder den Einsatz eines Gerätes gedacht.* Die Informationen können jedoch dem mit einer Bauwerksuntersuchung beauftragten Ingenieur helfen, die richtigen «Werkzeuge» zu finden. Bei Zuzug eines Spezialisten enthalten die Datenblätter soviel grundlegende Informationen, wie für den koordinierenden Ingenieur als Gesprächspartner des Spezialisten erforderlich ist.

Allgemeine Informationen

Ist das Verfahren normiert?
Zerstörungsfrei/zerstörend?
Prüfung am Bauwerk/im Labor

Anwendung

Baustoffe
Bauteile
Bauwerksarten

Zielgrößen

Über welche Zielgrößen werden Informationen gewonnen?
Sind dies direkte oder indirekte Informationen?
Sind die Informationen qualitativ oder quantitativ (Genauigkeit), punktförmig oder flächenhaft?

Messprinzip

Beschreibung des Messprinzips. Welches sind die Messresultate, welches die Einflussfaktoren?

Interpretation

Wie gelangt man vom Messresultat zur Zielgrösse?
Aufwand, Eindeutigkeit der Interpretation.
Gefahr einer Fehlinterpretation.
Reproduzierbarkeit, Streuung.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Ausrüstung, Geräte, Messequippe, Anforderungen an die Messequippe?
Wasser- bzw. Stromanschluss erforderlich?
Weitere Randbedingungen bezüglich Witterung, Zugänglichkeit etc.?

Beschreibung des Ablaufes (Vorbereitungsarbeiten, Geräteanwendung, Auswertung etc.) und allfälliger Betriebsstörungen.

Kosten (Größenordnung)

Beurteilung

Anwendungsbereich?
Leistungsgrenzen?
Zeitbedarf bis zum Vorliegen der Resultate?
Begleitende Prüfungen erforderlich?
Folgeuntersuchungen zur Präzisierung der Resultate?
Nutzen/Aufwand-Verhältnis?

Literatur

Ergänzende Hinweise auf wichtigste weiterführende Literatur.

Visuelle Untersuchung/ Augenschein

Grundsätzliches

Die visuelle Untersuchung bildet in den meisten Fällen die erste Untersuchungsstufe. Im Rahmen der visuellen Untersuchung versucht der Untersuchende mit Hilfe seiner Sinne (Augen, Tastsinn, Ohren etc.) und einfacher Hilfsmittel den Zustand eines Bauwerkes grob zu erfassen. Wie im Beitrag «Visuelle Untersuchung» (→ S. 27) dargelegt, sollen die im nebenstehenden Kasten aufgeführten Fragen beantwortet werden.

Die Antworten auf diese Fragen können bedeutende Konsequenzen für das Bauwerk haben. Einerseits können sich nicht erkannte Schäden bis zur nächsten Inspektion stark ausweiten, andererseits kann ein Entscheid für weitere Untersuchungen grosse Aufwendungen für ergänzende Abklärungen auslösen.

Eine sorgfältige Vorbereitung und Abwicklung der visuellen Untersuchung ist deshalb unerlässlich. Nachfolgend wird auf einige wichtige Punkte hingewiesen.

Vorbereitung

Die visuelle Untersuchung muss wie alle anderen Untersuchungsstufen sorgfältig vorbereitet werden. Die Vorbereitung beginnt mit der Beschaffung der vorhandenen Dokumente (Planunterlagen, Nutzungsplan, Sicherheitsplan, Protokolle früherer Inspektionen etc.). Aufgrund dieser Unterlagen und einer Begehung der Örtlichkeiten wird ein detaillierter Untersuchungsplan mit Personal- und Materialliste erstellt.

Es ist von Vorteil, wenn möglicherweise kritische Stellen bereits vor der Untersuchung aus dem Plan- und Aktenstudium bekannt sind (z.B. ungenügendes Gefälle, Verlauf Vorspannung, frühere Reparaturmassnahmen etc.)

Zugänglichkeit

Die Zugänglichkeit zu den verschiedenen Bauwerksteilen muss abgeklärt werden. Bereits für die visuelle Untersuchung müssen optimale Bedingungen geschaffen werden. Eine wirkliche Beurteilung ist nur möglich, wenn die Voraussetzungen geschaffen werden, dass der Untersuchende direkten Zugang zu allen typischen Bereichen des Bauwerkes hat.

Leitern, Hebebühnen, Gerüste, Untersichtsgeräte etc. wie auch das erforderliche Hilfspersonal zur Bedienung und Umsetzung dieser Geräte sowie zur Sicherung müssen organisiert werden.

Der Aufbau dieses Datenblattes weicht von der üblichen Strukturierung ab. Die visuelle Untersuchung, auch als Augenschein bezeichnet, ist keine Untersuchungstechnik im eigentlichen Verständnis des Handbuchs. Zahlreiche Untersuchungen beschränken sich jedoch auf die visuelle Untersuchung. Ihr kommt deshalb bei der Überwachung und damit bei der Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit unserer Bauwerke zentrale Bedeutung zu. Das Datenblatt gibt dazu einige grundlegende Hinweise.

- Keine Massnahmen bis zur nächsten Inspektion?
- Weitere Untersuchungen notwendig?
- Sofortmassnahmen erforderlich?

Durch die visuelle Untersuchung zu beantwortende Fragen.



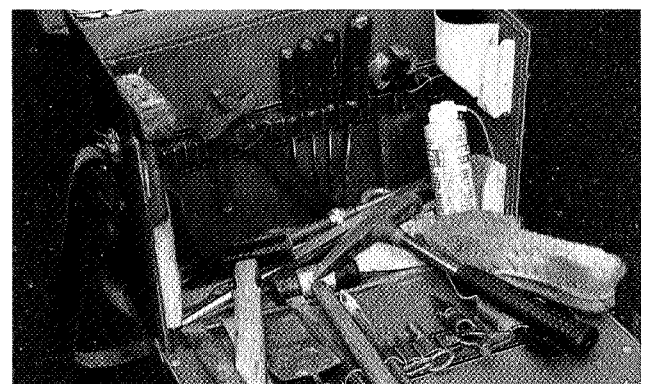
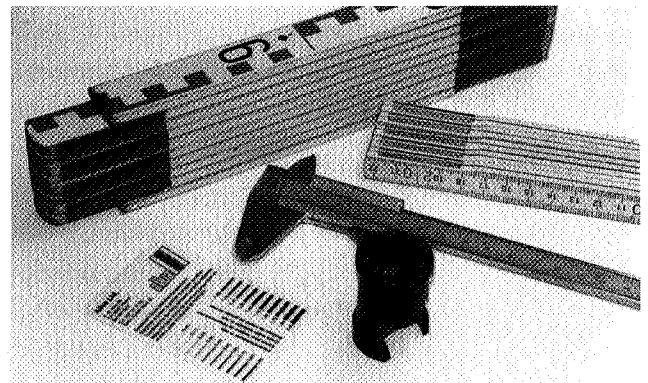
Zugänglichkeit gewährleisten.

Ausrüstung

Eine detaillierte Ausrüstungsliste ist im Beitrag «Visuelle Untersuchung» (→ S. 27) zu finden. Je nach Objekt kann diese Ausrüstung ergänzt oder auch reduziert werden. Die nebenstehenden Bilder veranschaulichen einige wichtige Ausrüstungsteile zur Massaufnahme (Doppelmeter, Rissmassstab, Risslupe etc.) und zur Dokumentation der Untersuchung (Protokoll, Schreibutensilien inkl. Markierkreiden, Fotoausrüstung mit Blitzlicht etc.). Werkzeuge zur Entnahme erster Materialproben (Spitzeisen, Fäustel etc.) dürfen nicht vergessen werden. Aufgrund erster Materialuntersuchungen können nämlich wichtige Schlüsse für die Planung einer allfälligen weiteren Untersuchungsstufe gezogen werden.

Aufzeichnungen

Eine gut vorbereitete Dokumentation erleichtert nicht nur die Durchführung der Untersuchung, sie verbessert auch die Qualität der Untersuchung. Während der Untersuchung muss sich die Untersuchungsequipe auf zahlreiche Details konzentrieren, dazu kommt in den meisten Fällen die körperliche Anstrengung, so dass ohne umfassende Checklisten allzu leicht wichtige Details vergessen werden. Für die Protokollierung bestehen zahlreiche Formulare. Jedes Formular hat seine Vor- und Nachteile. Im untenstehenden Kasten sind Stichworte aus einem Zustandsrapport beispielhaft aufgeführt. Die Beurteilungen sind möglichst vor Ort bezüglich ihrer Dringlichkeit einzuordnen (z.B. in «Beanstandungen» und «dringliche Reparaturen»). Ein wichtiger Teil der Dokumentation ist die Fotodokumentation. Es ist darauf zu achten, dass jede Aufnahme möglichst im Bild lokalisiert werden kann (z.B. mit Fettstift auf Bauwerk, Tafel einblenden etc.). Vgl. auch Checklisten zur visuellen Untersuchung (→ S. 32).



Beispiele zur Ausrüstung:
Dokumentation, Messgeräte, Werkzeuge.

Fahrbahn	Unterbau	Überbau	Überbau
Abdichtung	Pfeiler	STAHL	NATUR-, KUNSTSTEIN
Belag	Widerlager	Rost	Formänderungen
Frostschäden	Widerlagerentwässerung	Anstrich	Risse
Randsteine	Stützmauern	Druckstäbe	Wasseraustritt
Geländer	Fundamente	Schrauben, Nieten	Frostschäden
Geländerbefestigung	Fundamentsetzungen	Schweisstellen	Zustand der Fugen
Konsolköpfe	Feste Lager	Verbundfugen	HOLZ
Dilatationsfugen	Bewegliche Lager	BETON	Zustand
Fahrbahnentwässerung	Werkleitungen	Risse	Fäulnis
Fahrbahnübergänge	Leitungskulissen	Abblätterungen	Schädlinge
Fugen/Fugenverguss		Rostige Armierungen	Grosse Risse
Spurrinnen		Kalkaussinterungen	Belüftung
Risse		Nasse Stellen	Nassstellen

Stichwortliste aus einem Zustandsrapport.

Endoskopie

Allgemeine Informationen

Die Endoskopie ist ein in der Medizin seit vielen Jahren angewandtes Untersuchungsverfahren. Die Geräte wurden für den Einsatz in der Bauwerksuntersuchung weiterentwickelt. Die Anwendung erfolgt am Bauwerk. Zur Einführung des Endoskopes ist oft eine leichte Zerstörung am Bauwerk (Bohrloch $\varnothing$ 10 bis 30 mm) erforderlich.

Anwendung

Mit Hilfe der Endoskopie kann sich der Fachmann Einblick in Hohlräume verschaffen, die dem Auge sonst nicht zugänglich sind. Die Dokumentation erfolgt in der Regel mit Foto- oder Videoaufnahmen durch das Endoskop. Einsatzbeispiele sind: Kontrolle von Spannkabeln, Deckenaufbauten bei Holzbalkendecken, Auflager von Holzbalken im Mauerwerk, Inspektion hinter Fassadenverkleidungen, Feststellung von Leitungen etc.

Zielgrößen

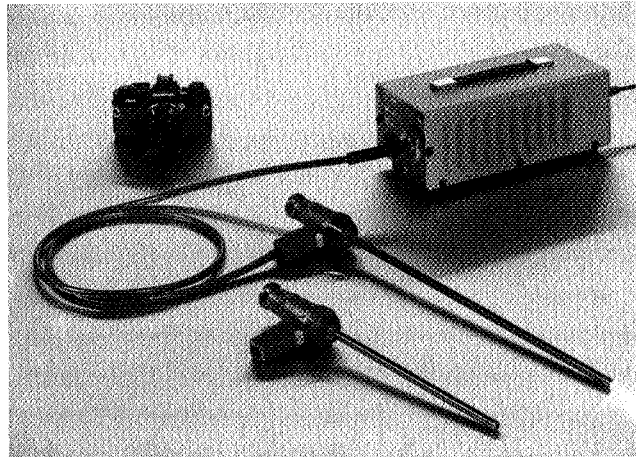
Die Endoskopie erlaubt einen Einblick in verdeckte Hohlräume. In Bohrlöchern lässt sich auch der Materialaufbau (z.B. Schichtgrenzen, Homogenität) feststellen. Die Ergebnisse lassen sich mit Foto- oder Videoaufnahmen dokumentieren.

Messprinzip

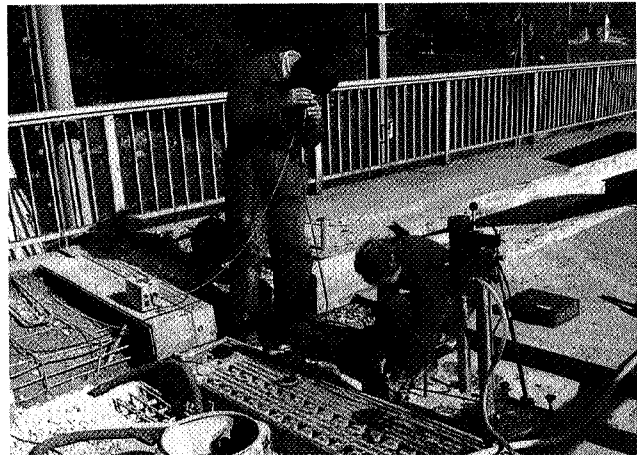
Das Kernelement eines Endoskopes ist ein starres oder flexibles Rohr in das neben einer Spezialoptik auch ein Lichtleiter eingebaut ist. Dieses Rohr wird durch einen kleinen Zugang (z.B. Bohrloch $\varnothing$ 10 bis 30 mm) in den verdeckten Hohlraum eingeführt. Der Hohlraum wird mit dem Lichtleiter beleuchtet. Die Beobachtung erfolgt entweder direkt von Auge oder mit einer am Endoskop angeschlossenen Foto- oder Videokamera. Die Blickrichtung kann durch Einsatz verschiedener Endstücke variiert werden. Speziell ausgerüstete Endoskope erlauben die Durchführung von Messungen sowie die Entnahme von Materialproben. Für eine gute Beurteilung ist die Verwendung eines Stativs hilfreich.

Interpretation

Die richtige Interpretation der mit der Endoskopie gewonnenen Bilder erfordert grosse Erfahrung, da die Bilder aus einer für das menschliche Auge ungewohnten Perspektive aufgenommen werden. Das Bild bietet immer einen relativ stark begrenzten Ausschnitt aus einem Gesamtbild. Bei Anwendung der Endoskopie ohne entsprechendes Training ist aus den genannten Gründen die Gefahr einer Fehlinterpretation gross.



Endoskop mit Kaltlichtquelle.



Endoskop im Einsatz (Gerät mit flexiblem Rohr).

Für die spätere Interpretation und Dokumentation einer Untersuchung mit dem Endoskop ist eine sorgfältige Protokollführung von grosser Bedeutung (Lit. 1).

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Untersuchungen mit dem Endoskop können nur von einem mit der Methode vertrauten Fachmann ausgeführt werden. Eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung der Endoskopie ist ein sehr gutes räumliches Vorstellungsvermögen.

In einem ersten Schritt werden aufgrund vorhandener Unterlagen sowie eines Augenscheins die Untersuchungspunkte festgelegt und das Protokoll vorbereitet. Der Durchmesser der anschliessend gebohrten Sichtkanäle muss auf das verwendete Endoskop abgestimmt werden. Allfällige Feststellungen während des Bohrens (Bohrwiderstand, Hindernisse etc.) sollten festgehalten werden. Vor dem Einführen des Endoskopes müssen die Bohrkanäle mit einem Industriestaubsauger gereinigt werden. Nach abgeschlossener Untersuchung werden die Sichtkanäle wieder verschlossen.

Die Anschaffungskosten für ein Endoskop mit Lichtquelle betragen ca. Fr. 5'000.– und mehr (erforderliche Zusatzausrüstung vgl. Kasten). Pro Untersuchungspunkt ist mit einem Zeitbedarf von ca. einer Stunde zu rechnen (ohne erschwerende Randbedingungen).

Beurteilung

Die Endoskopie ist eine gute und bewährte Methode zur zerstörungsarmen Untersuchung verdeckter Hohlräume. Der Einsatz erfordert grosse Erfahrung, die Einarbeitungszeit ist lang. Der Vorteil der Methode kommt überall dort zum Tragen, wo aufgrund der Beurteilung mit dem Endoskop auf das Freilegen verzichtet werden kann.



Beispiel einer Aufnahme durch das Endoskop, Blick auf freiliegendes Spannkabel in einem Hüllrohr.

- Endoskop mit Lichtquelle und verschiedenen Endstücken
- Bohrausrüstung mit verschiedenen Bohrern
- Industriestaubsauger
- Fotokamera mit Adapter, evtl. Videokamera mit Adapter
- verschiedene Hilfsgeräte (Hammer, Massstab, Messstab für Bestimmung der Bohrlochtiefe, Verlängerungskabel, Beleuchtungsmittel etc.)

Ausrüstung für Untersuchungen mit dem Endoskop.

Literatur

1. Dzierzon M., Zull J.: Altbauten zerstörungsarm untersuchen, Bauaufnahme, Holzuntersuchung, Mauerfeuchtigkeit; Rudolf Müller, Köln, 1990.
2. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V. (DGZfP): Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (B6); Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfungen e. V.; Berlin, 1995.
3. Karl Storz GmbH & Co.: Industrial Endoscopy, 7 th Edition, Tuttlingen / Deutschland, 1999.
4. http://www.bam.de/a_vii/vii_3/kompendium/welcome.html.

Probenentnahme/Laborauftrag

Grundsätzliches

Als Grundlage für die Planung von Erhaltungsmassnahmen sind ausreichende Kenntnisse des Ist-Zustandes eine unabdingbare Voraussetzung. Zur Ermittlung der notwendigen Daten über Struktur, Festigkeitsparameter sowie weitere physikalische und chemische Eigenschaften der Baustoffe sind Laborversuche an repräsentativen Proben aus dem Bauwerk erforderlich.

Probenmengen

Ort, Zahl und Abmessungen der zu entnehmenden Proben sind von der Zielsetzung der Untersuchungen abhängig. Diese muss vom verantwortlichen Ingenieur festgelegt und sollte dem Ausführenden der Laborversuche mitgeteilt werden, damit alle Untersuchungen im Sinne des Auftraggebers konzipiert werden können.

Ort, Zahl und Abmessungen der Proben werden mit Vorteil im Voraus mit dem Labor abgesprochen. Für die üblichsten Fälle können die in der nebenstehenden Tabelle aufgeführten Werte verwendet werden.

Probstellen

Die Anzahl der Teststellen muss so gewählt werden, dass die Ergebnisse für das Bauwerk repräsentativ sind. Im Minimum sind in der Regel 3 Teststellen pro Bauwerksteil zu untersuchen (vgl. auch Planung und Beurteilung von Messungen → S. 36).

Die Probeentnahmestellen sind in geeignete Pläne einzuzichnen und zu vermessen. Die Bezeichnung sollte mit Vorteil einen direkten Bezug zum Bauteil haben (z.B. BK_{WN}-1, Bohrkern Nummer 1 am Widerlager Nord).

Probenahme

Eine sorgfältige und fachgerechte Probenahme ist für korrekte Resultate aus den Versuchen oft entscheidend. Bohrkern aus Betonkonstruktionen sollten keine Armierungen enthalten. Vor dem Anzeichnen des Bohrkerns ist deshalb die Armierung zu orten und anzuzeichnen. Bohrkern sind 3-5 cm tiefer zu bohren als die gewünschte Probenlänge.

Beschreibung und Kennzeichnung

Bei jeder Bohrkernentnahme müssen Entnahmestelle und Orientierung des Bohrkerns festgehalten werden. Diese Angaben haben grundlegende Bedeutung für alle folgenden Untersuchungen. Die Bohrrichtung wird durch das Anzeichnen des Kerns mit einem Pfeil- oder Kernsignet direkt bei der Entnahme festgehalten. Diese Angaben müssen auf einem Entnahmeprotokoll (Beispiel) festgehalten werden. Darin werden auch alle makroskopisch er-

Der Aufbau dieses Datenblattes weicht von der üblichen Strukturierung ab. Das Datenblatt gibt einige grundlegende Hinweise, die bei der Entnahme von Proben aus Betonbauwerken und der Erteilung eines Auftrages an ein Prüflabor zu beachten sind. Die Überlegungen gelten sinngemäss für die Entnahme von Proben und die Erteilung eines Laborauftrages für die Untersuchung anderer Baustoffe.

Untersuchung	Kriterien für Probekörper	Probenmaterial Bohrkern Ø 50 mm	Spitzprobe
Druckfestigkeit SIA 162/1, Prfg Nr. 2	– Länge ≥ 50 mm – keine Eisen oder sonstige Störungen	x	
Spaltzugfestigkeit	– Länge ≥ 40 mm	x	
Haftzugfestigkeit	– ø 50 mm oder 100 mm – min. 1,5-fache Länge des Grösstkorns	x	
Biegezugfestigkeit	– Länge ≥ 3-facher Durchmesser	x oder Prisma	
Chloridgehalt Sulfatgehalt SIA 162/2	– Länge ≥ 10 mm (pro Tiefenstufe) normalerweise ca. 50 mm	x	x (o. Tiefenstufe)
Porositätswerte SIA 162/1, Prfg Nr. 7 oder Wasseraufnahme	– Länge ≥ 50 mm	x	1 Grossprobe (min. 500 g)
Frostbeständigkeit SIA 162/1, Prfg Nr. 8, Frostwechselverhalten oder Nr. 7, Porosität	– Länge ≥ 100 mm – ohne Eisen nach Norm – 2 Probekörper <u>Ausnahmefall:</u> – Länge ≥ 60 mm – Ohne Eisen – 2 Probekörper	x	
Frost-Tausalz- beständigkeit SIA 162/1 Prfg Nr. 9	– wie Frostbeständigkeit	x ø 100 mm	
Dünnschliff/ Gefügeanalyse	– Länge ≥ 40 mm	x	x
Wasserdampfdiffusion	– Mörteldicke 10 bis 15 mm – 3 Probekörper pro Versuch	x	
Wasserleitfähigkeit SIA 162/1, Prfg Nr. 5	– Länge ≥ 50 mm – 5 Probekörper	x	

- 1 Aus grösseren Proben können im Labor die entsprechenden Normgrössen für die Untersuchungen herausgebohrt und -geschnitten werden.
- 2 Die Bestimmung der Karbonatisierungstiefe mit dem Phenolphthalein-Test kann an jeder Probe gemacht werden, wobei die Probe für andere Prüzzwecke erhalten bleibt.

Anforderungen an das Probematerial.

Datum:	Auftrag:	Bauwerksteil:
Bohrkern:	Bohrkern-Nr., Durchmesser, Länge Kerngewinnung (%), Risse	
Beton:	Zuschlagstoff 0/.. Poren, Lunker Ø, Kiesnester	
Armierung:	Eisen Ø, Korrosion	
Besondere Merkmale		
Entnahme durch:		

Checkliste für Probenbezeichnung.

kennbaren Merkmale des Bohrkerns erfasst; diese stellen eine wichtige Informationsquelle für die Beurteilung des Zustandes des Bauwerks dar.

Die Bezeichnung kann auch in einer Tabelle erfolgen (Checkliste vgl. Kasten).

Jeder Auftrag ist schriftlich zu formulieren. Er muss die folgenden Angaben umfassen:

- Auftraggeber
- Auftragserteilung (Ingenieurbüro, Architekt)
- Bauobjekt: allg. Beschreibung des Bauteils, Alter
- Termin
- Zielsetzung der Untersuchung
- Zu prüfende Eigenschaften (Zielgrößen)
- Gewünschte Zahl von Einzelmessungen
- Anordnung der einzelnen Prüfungen innerhalb des Probematerials (Bohrkern)
- Information betreffend eine allfällige Staffelung des Untersuchungsprogrammes (Zwischenentscheide)
- Festlegung der gewünschten Berichterstattung:
 - Labor-Ergebnisse auf Datenblättern
 - Kommentierung der Ergebnisse mit Bezug auf Problemstellung/Bauwerk
 - Kombiniertes Datenblatt mit den Messergebnissen am Objekt, den Laborergebnissen und eingehendem Kommentar.

Auftrag an Prüflabor (die meisten Labors verfügen über vorgedruckte Formulare, die für die Auftragserteilung verwendet werden können).

Übersicht Proben mit Angabe der Laboruntersuchungen

Probe/Nr.	BK ₅₀ -1	BK ₅₀ -2	BK ₅₀ -3	BK ₅₀ -4	BK ₅₀ -5	BK ₁₅₀ -A	BK ₁₅₀ -B	BM ₁₀₋₂₀ -1
Lage: X [m]	0.6	1.0	1.4	7.8	12.2	7.8	15.7	
Y [m]	2.8	5.2	7.9	6.3	7.5	1.9	3.4	
Ø [mm]	50	50	50	50	50	150	150	
Länge [cm]	12	13	12	15	11	20	22	
CI M-%/Bet. [mm]								
0-10								
10-20	x	x	x	x	x	x 2)	x 2)	x
20-30	x	x	x	x	x	x 2)	x 2)	
30-40	1)	1)	1)	1)	1)			
40-50	1)	1)	1)	1)	1)			
Porosität		x	x					
Dünnschliff			x	x				
Druckfestigkeit				x	x			
Karbonat. x					x 2)	x 2)		
Evtl. Skizze 0.0 cm der Probe								
5.0 cm								
10.0 cm								

X: Wert ist zu bestimmen

1) Wert nur bestimmen falls vorherige Stufe ≥ 0.05 % CI/M-Beton

2) Werte von beiden Enden der BK her bestimmen (durch Platte gebohrt)

Beispiel eines Probeübersichtsblattes.

Betonprüfhammer (Schmidt-Hammer)

Allgemeine Informationen

- in der Schweiz nicht normiert (DIN 1048, ASTM C 805-85, ÖNORM B 3303)
- bedingt zerstörungsfrei (abschleifen der Oberfläche)
- der Betonprüfhammer ist das wohl verbreitetste Hilfsmittel zur zerstörungsfreien Feststellung der Betondruckfestigkeit am fertigen Bauwerk.

Anwendung

Prüfung der Druckfestigkeit bzw. der Gleichmässigkeit an fertiggestellten Bauteilen (z.B. Vorfabrikation) und Bauwerken aus Beton oder Mörtel.

Zielgrössen

Mit dem Prüfhammer wird die Prellhärte der Betonoberfläche festgestellt. Daraus ist ein Rückschluss auf die Druckfestigkeit des Betons möglich. Es ist zu beachten, dass nur die Verhältnisse im Oberflächenbereich geprüft werden.

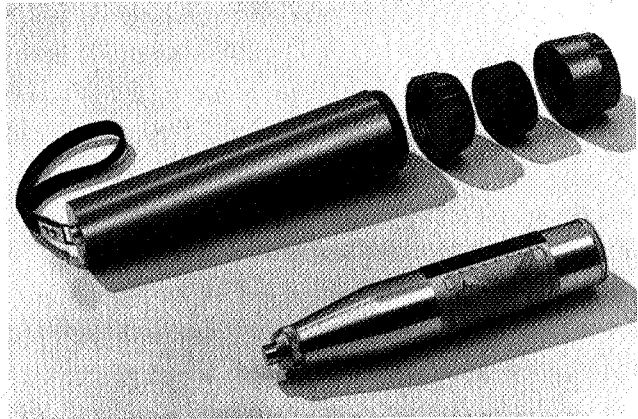
Messprinzip

Bei der Messung wird ein Schlagbolzen gegen die zu prüfende Fläche gedrückt. Gleichzeitig wird ein Schlaggewicht durch eine Federkraft gegen den Schlagbolzen geschleudert. Nach dem Aufprall auf dem Schlagbolzen prallt das Schlaggewicht um ein bestimmtes Mass zurück. Dieses Mass, welches ein Kennwert für die Härte des Materials ist, kann an einer Skala abgelesen werden.

Interpretation

Aus dem Rückprallmass wird anhand von Eichkurven (werden mit dem Gerät geliefert) auf die Druckfestigkeit des Betons oder Mörtels (oder eines anderen Stoffes) geschlossen. Die Eichkurven werden mit Hilfe von Probewürfeln ermittelt, an denen anschliessend an die Prüfung mit dem Betonhammer ein Würfeldruckversuch durchgeführt wird. Bei der Auswertung ist die Schlagrichtung zu berücksichtigen.

Eine Vielzahl von Einflussgrössen wie z.B. die Oberflächenbeschaffenheit, die oberflächennahe Struktur (grosse Zuschlagkörner!) und das Alter, beeinflussen das Messresultat an der Prüfstelle. Um eine repräsentative Aussage zu erhalten, werden deshalb in einem begrenzten Bereich mehrere Messungen vorgenommen. Für die Auswertung muss nach der Elimination der Extremwerte der Mittelwert der restlichen Messwerte verwendet werden.



Betonprüfhammer, einfaches Modell.



Betonprüfhammer, Modell mit elektronischer Anzeige und Auswertung.

Um eine Kalibration des Verfahrens zu erreichen, sind vergleichende Messungen an Bohrkernen oder Würfelpuben des gleichen Betons zu empfehlen.

Voraussetzung für die Ermittlung zuverlässiger Werte ist die eine regelmässige Funktionskontrolle des Gerätes mit Hilfe eines Prüfamboss'.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Der Betonprüfhammer kann durch jeden in der Anwendung geübten Fachmann eingesetzt werden. Fehler wie das Schlagen auf federnde Prüfobjekte (Bauteildicke deshalb mindestens 100 mm), zu geringe Gerätetemperatur und falsche Schlagrichtung sind zu vermeiden. Bei Unebenheiten und älterem karbonatisierten Beton muss die Messfläche angeschliffen werden, damit die normale Betonstruktur freiliegt. Für den Mittelwert aus jeweils 12 Messschlägen (abzüglich Grösst- und Kleinstwert) kann mittels der Eichkurven und unter Berücksichtigung der Schlagrichtung die Würfeldruckfestigkeit bestimmt werden. Neuere Geräte erlauben die elektronische Auswertung und Aufzeichnung der Messresultate.

Die Kosten für die Anschaffung eines kompletten Betonprüfhammers (inkl. Prüfamboss) betragen ca. Fr. 1'500.– (Gerät mit einfacher Ablesung) bis Fr. 4'500.– (Gerät mit elektronischer Anzeige, Aufzeichnung und Auswertung).

Beurteilung

Die Prüfung mit dem Betonprüfhammer hat sich in der Praxis bewährt. Sie ist ein einfaches, preiswertes Verfahren zur Abschätzung der Druckfestigkeit von Beton. Die Prüfung ergibt eine gute Aussage über die Gleichmässigkeit der Betonqualität an einem Bauteil.

Durch Karbonatisierung, Verwitterung und herstellungsbedingte unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit können grössere Abweichungen von der ermittelten Festigkeit zur Festigkeit im Innern des Bauteils resultieren. Es ist zu empfehlen, die Festigkeitsprüfung mit dem Betonprüfhammer an Bohrkernen (Druckfestigkeitsprüfung im Labor) zu kalibrieren.



Einsatz des Betonprüfhammers.

Literatur

1. DIN Deutsches Institut für Normung: DIN 1048: Prüfverfahren für Beton; Teil 1-5, Ausgabe 06/1991.
2. Proceq, Zürich: Firmendokumentation.
3. http://www.bam.de/a_vii/vii_3/kompodium/welcome.html.

Betonüberdeckungsmessung (Stahlbeton)

Allgemeine Informationen

- Verfahren sind nicht normiert.
- Zerstörungsfrei, mit der Ausnahme, dass zur Verifizierung der gemessenen Betonüberdeckung und Bewehrungsstabdurchmesser die Bewehrung lokal freigelegt oder angebohrt werden muss.
- Prüfung direkt am Bauwerk.
- Mit genau geeichten Permanentmagneten können Bewehrungsstäbe gefunden werden, welche die dem Magneten entsprechende Betonüberdeckung unterschreiten. Falls diese Aussage genügt und keinerlei Aufzeichnungen benötigt werden, ist diese Methode sehr effizient.
- Die Betonüberdeckung kann auch mit anderen Verfahren bestimmt werden (Induktionsthermographie, Georadar).

Anwendung

Feststellen von Lage und Betonüberdeckung metallischer Einlagen, insbesondere der Bewehrung bei Stahlbetonbauteilen. Verschiedene Geräte erlauben auch die Bestimmung des Bewehrungsdurchmessers.

Zielgrößen

Während dem Verschieben einer Messsonde auf der Betonoberfläche wird die Veränderung eines künstlich erzeugten Magnetfeldes gemessen. Aus den Beobachtungen kann primär auf den Verlauf der Bewehrung, sekundär auf die Betonüberdeckung geschlossen werden. Zusätzlich kann unter gewissen Bedingungen der Bewehrungsdurchmesser bestimmt werden.

Messprinzip

Magnetisches Wechselfeldverfahren:

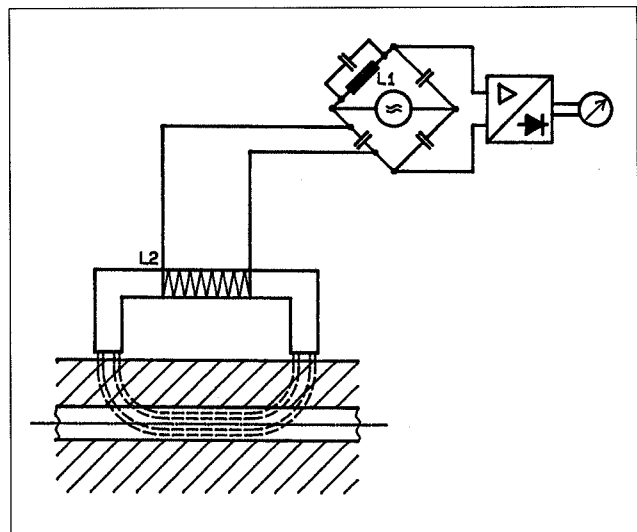
Eine Primärspule erzeugt über eine angelegte Wechselspannung eine Induktionsspannung in einer Sekundärspule. Die Grösse der induzierten Spannung stellt ein Mass für den Anteil und den Abstand von magnetisierbarem Material in der Umgebung dar. Nichtmagnetische Metalle können nicht nachgewiesen werden.

Wirbelstromverfahren:

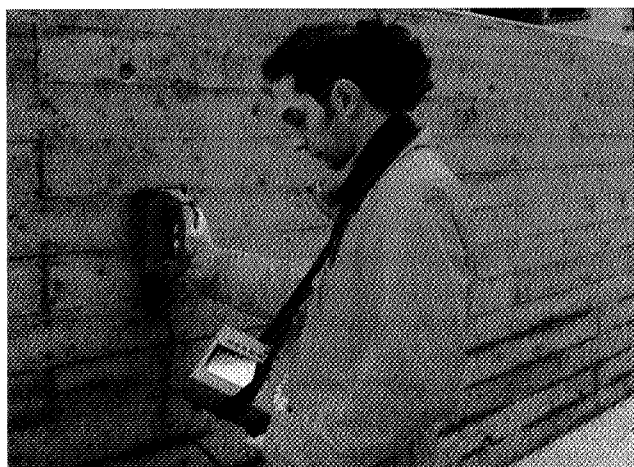
Gemessen wird die Wechselwirkung zwischen einer Induktionsspule und dem im Bewehrungsstab induzierten Wirbelstrom. Betondeckung und Durchmesser werden über eine Regressionsanalyse unabhängig voneinander bestimmt.



Betonüberdeckungsmessgerät (Profometer 4).



Messprinzip einer Einzelspule.



Betonüberdeckungsmessgerät (Ferroskan).

An Bauwerkskanten und bei Bewehrungsabständen, die kleiner sind als die Überdeckung, sind die Messwerte kritisch zu betrachten. Weitere Einflüsse gehen von Stabdurchmesser und Stahlzusammensetzung sowie der messenden Person aus.

Interpretation

Die Datenerfassung, die Datenausgabe und die Datenauswertung unterscheiden sich je nach Gerät. Es ist wichtig das gerätespezifische Vorgehen genau zu beachten.

Bei den meisten Geräten ist der Messaufwand stark reduziert. Sobald sich die Suchsonde über einem Bewehrungsstab befindet, wird dies optisch und akustisch angezeigt. Die Überdeckung kann sofort abgelesen werden. Einige Geräte ermöglichen die Messung grösserer Bereiche mit anschliessender Auswertung am Gerät oder PC. Die Bestimmung des Durchmessers ist mit Einschränkungen ebenfalls möglich. Bei zu kleinen Stababständen ($< 15\text{ cm}$) wird die Durchmesserbestimmung unsicher bis unmöglich. Bei einigen Geräten lässt sich der Durchmesser mit einem separaten Messkopf direkt am Einzelstab bestimmen. Andere Geräte ermöglichen eine indirekte Bestimmung, bei der zuerst eine Aufnahme über den interessierenden Bewehrungsstäben gemacht werden muss. Die Auswertung erfolgt danach am Gerät oder am PC.

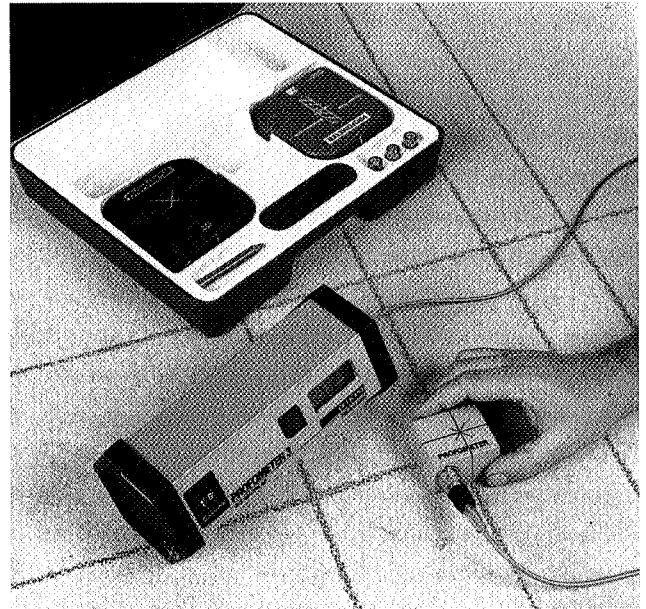
Die Resultate der Durchmesserbestimmung sind kritisch zu betrachten.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Geräte zur Feststellung der Betonüberdeckung, wie sie hier beschrieben sind, können durch einen angelernten Fachmann eingesetzt werden. Es sind keine Einschränkungen für die Anwendung zu nennen.

Der Arbeitsablauf variiert von Gerät zu Gerät. In der Regel wird die Betonoberfläche abgefahren. Bei Anzeige eines Eisens kann die Betonüberdeckung direkt abgelesen werden.



Betonüberdeckungsmessgerät im Einsatz.

Bei Aufnahme von Messlinien (1. Schritt) erfolgt die Bestimmung der Betonüberdeckung in einem zweiten Schritt. Das Bestimmen eines Bewehrungsdurchmessers erfordert einen weiteren Arbeitsgang.

Die Geräteanschaffungskosten betragen ca. Fr. 3'000.– bis Fr. 14'000.–.

Beurteilung

Die in der Schweiz am meisten verbreiteten Geräte (Profometer/Ferroskan) zur Feststellung der Betonüberdeckung erlauben bei richtigem Vorgehen eine sichere Ortung der Lage und eine relativ genaue Bestimmung der Betonüberdeckung der Bewehrung. Das Resultat sollte jedoch stichprobenweise durch Aufspitzen resp. Anbohren überprüft werden.

Die Messung der Bewehrungsdurchmesser ist unter gewissen Umständen möglich. Es empfiehlt sich auch hier, die Resultate durch Freilegen einzelner Bewehrungsseisen zu überprüfen.

Literatur

1. Flohrer C.: DGZfP-Berichtsband 66-CD, Vortrag 4: Messung der Betondeckung und Ortung der Bewehrung, 1999.
2. ZfPBau-Kompendium: http://www.bam.de/a_vii/vii_3/kompendium/welcome.html.
3. Hilti, Schaan: Dokumentation Ferroskan.
4. Proceq, Zürich: Dokumentation Profometer.

Saugröhrchen nach Karstens (Flüssigkeits-Eindringtest)

Allgemeine Informationen

- in der Schweiz nicht normiert
- zerstörungsfrei
- Prüfung erfolgt am Bauwerk

Anwendung

Verfahren kann zur Bestimmung des Saugverhaltens von Baumaterialien (Putz, Mauerwerk) und zur Qualitätsprüfung von Hydrophobierungen eingesetzt werden.

Eine weitere Anwendung besteht in der Abschätzung von Rissabmessungen aus der eingedrun- genen Wassermenge.

Zielgrößen

Über die beobachtete Wasseraufnahmefähigkeit einer Oberfläche wird auf die Porosität geschlossen.

Messprinzip

Gemessen wird die Wassermenge, welche pro Zeiteinheit von der Oberfläche aufgesaugt wird. Die Ablesegenauigkeit kann je nach Röhrchen bis 0.01 ml erreichen.

Interpretation

Für die Auswertung stellt der Hersteller der Prüf- röhrchen Tabellen zur Verfügung, aus denen der Wassereindringkoeffizient bestimmt und ein Rückschluss auf die Porosität ermöglicht wird. Die Porosität im Oberflächenbereich gibt einen Anhaltspunkt über die Dauerhaftigkeit.

Bei einer Instandsetzung wird zur Qualitätskon- trolle der Vergleich vorher – nachher bewertet (z.B. bei Hydrophobierung).

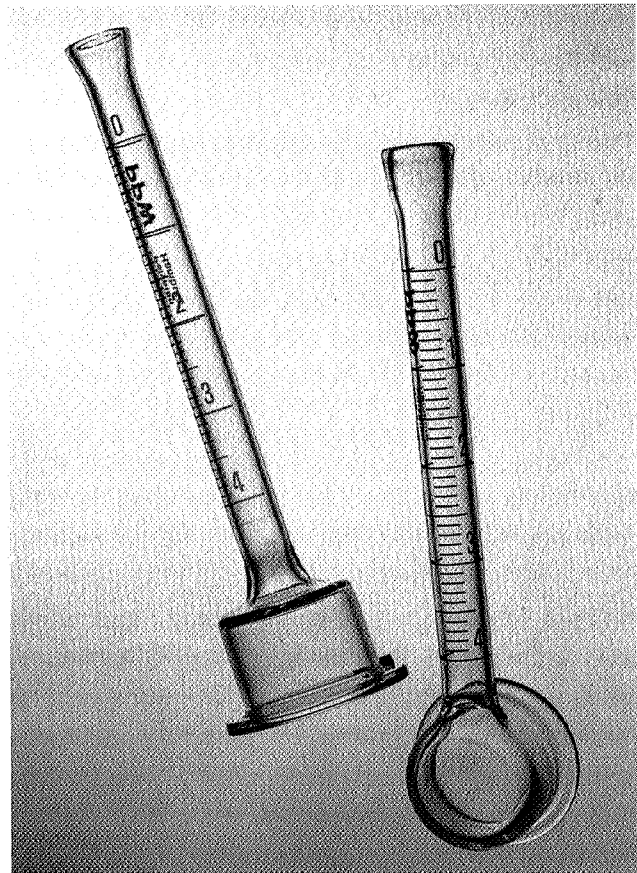
Das Resultat des Versuches wird durch die Witte- rungsbedingungen, insbesondere Vornässung der Oberfläche und starke Temperaturschwan- kungen, beeinflusst.

Der Vorteil gegenüber der Untersuchung der Wasseraufnahme an Bohrkernen im Labor (DIN 52 617) besteht in der genauen Bestimmung des Wassereindringkoeffizienten unter den tatsäch- lichen Bedingungen am Bauwerk. Die Resultate sind jedoch wegen der unterschiedlichen Ver- suchsdurchführung nicht vergleichbar.

Arbeitsablauf

(Geräteaufwand und Kosten)

Die Anwendung der Methode kann durch einen geübten Fachmann erfolgen, spezielle Vorkennt- nisse sind nicht erforderlich.



Saugröhrchen nach Karstens.

Das Röhrchen wird an die zu untersuchende Fläche angeklebt und mit Wasser gefüllt. Der Durchmesser des Röhrchens wird je nach Fragestellung gewählt. Die Auswertung erfolgt aufgrund des beobachteten Wasserverlustes pro Zeiteinheit. Die Wasser- und Lufttemperatur während der Prüfung müssen festgehalten werden.

Einschränkungen für den Einsatz der Methode bildet ein allzu poröser oder unebener Untergrund sowie tiefe Temperaturen, welche das Ankleben der Röhrchen problematisch machen. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt ist das Messen nicht möglich.

Die mehrmals verwendbaren Röhrchen kosten pro Stück ca. Fr. 25.–.

Beurteilung

Das Verfahren eignet sich zur Abschätzung der Saugfähigkeit (Porosität) eines Untergrundes sowie zur Überprüfung der Wirkung einer Hydrophobierung (Vergleichsmessung vor und nach der Applikation).

Die Aussage der Methode beschränkt sich auf die Oberfläche.

Bei Rissen kann aufgrund der aufgenommenen Wassermenge eine Abschätzung der Rissabmessungen vorgenommen werden.

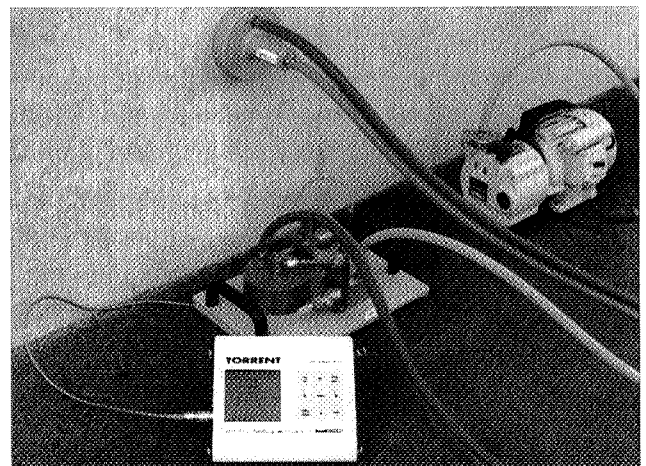
Es handelt sich um ein preiswertes Verfahren mit begrenzter Genauigkeit und begrenzter Aussagekraft, das vor allem als Relativmessung eingesetzt werden kann.

Torrentmeter

Für die Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen ist die Durchlässigkeit des Oberflächenbetons einer der Hauptfaktoren. Mit der Torrent-Methode (Zweikammer-Vakuumszelle) kann ein Permeabilitätskoeffizient bestimmt und die Qualität des Oberflächenbetons beurteilt werden. Für eine aussagekräftige Beurteilung sind mehrere Messungen nötig.

Wichtige Einflussgrößen sind die Betonfeuchtigkeit und das Betonalter. Bei feuchtem Beton muss zusätzlich der elektrische Widerstand gemessen werden. Für älteren Beton ist die Einteilung in Qualitätsklassen nicht ohne weiteres anwendbar.

Die Resultate der Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit Labormethoden wie Kapillarwasser-Saugfähigkeit oder Sauerstoffpermeabilität.



Torrentmeter.

Literatur

1. Karstens R.: Bauchemie für Studium und Praxis; Lüdecke Verlagsgesellschaft, 7. Auflage, 1983.
2. Proceq, Zürich: Torrent Permeability Tester; Produktinformation.
3. Torrent R.J.: Über die Permeabilität des Überdeckungsbetons, 1995.

Abreissprüfung (Beton/Putze/Beschichtungen)

Allgemeine Informationen

- in der Schweiz nicht normiert
- Prüfvorschrift für Oberflächensysteme: ZTV-SIB 90
- Prüfvorschriften nach DIN 1048, Teil 2
- Prüfverfahren führt zu einer lokalen Zerstörung der Oberfläche

Anwendung

Mit Hilfe des Verfahrens können Rückschlüsse auf die Zugfestigkeit des geprüften Materials (Beton, Mörtel) bzw. die Haftzugfestigkeit aufgebracht Beschichtungen gemacht werden.

Zielgrößen

Mit dem Verfahren wird die Abreisskraft eines aufgeklebten Stempels bestimmt. Aus dieser Abreisskraft lässt sich auf Zugfestigkeit bzw. Haftzugfestigkeit zurückschliessen.

Messprinzip

Das Messprinzip ist äusserst einfach. Ein auf die Prüffläche aufgeklebter Stempel wird mit Hilfe eines Gerätes senkrecht weggezogen. Gemessen wird die Abreisskraft.

Die Prüffläche wird mit einer Kernbohrung von der umgebenden Oberfläche separiert. Die erforderliche Kernbohrung muss mit einem gut fixierten Gerät ausgeführt werden, damit keine Schädigung der Probefläche eintritt. Der Stempel muss genau senkrecht zur Oberfläche aufgeklebt und in axialer Richtung gezogen werden, weil sonst ungewollte Biegemomente zu falschen Messwerten führen.

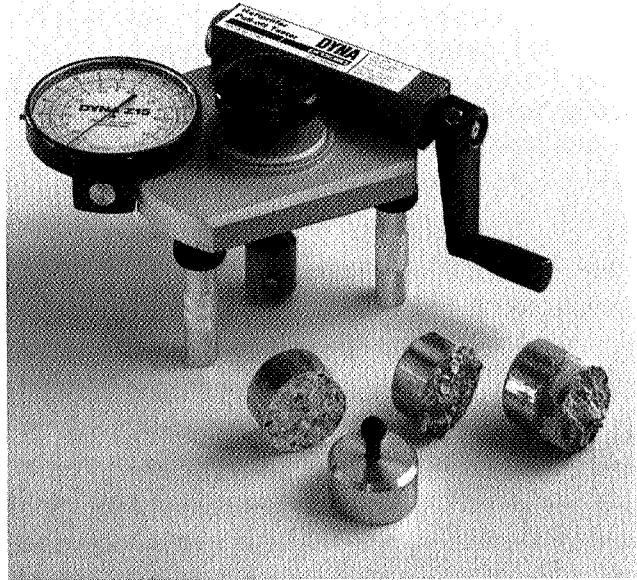
Der Prüfstempel muss mit annähernd konstanter Belastungsgeschwindigkeit gezogen werden. Kraftgesteuerte, elektromechanische Geräte führen zu höherer Genauigkeit als manuell über eine Kurbel gesteuerte Geräte.

Sind auf der Prüffläche Beschichtungen vorhanden, ist darauf zu achten, dass der verwendete Kleber diese Beschichtungen nicht angreift, da sonst die Resultate verfälscht werden.

Untersuchungen zeigen auch eine Abhängigkeit der Resultate von der Betonfeuchtigkeit (Lit. 2).

Interpretation

Mit der gemessenen Abreisskraft kann über eine einfache Rechnung die Zugspannung beim Abreissen der Probe ermittelt werden. Neben der Abreisskraft ist für die Beurteilung aber auch das Aussehen der Bruchfläche resp. die Bruchart (Zus Schlag gebrochen, Matrix gebrochen, Bruch in Schichtgrenze etc.) wichtig und zu protokollieren.



Abreissprüfgerät mit Handkurbel.

Die Streuung der Resultate der Abreissprüfung an verschiedenen Stellen eines Objektes ist naturgemäss relativ gross – die Zugfestigkeit von Beton und Mörtel variiert sehr stark. Einzelmessungen haben eine sehr beschränkte Aussagekraft.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

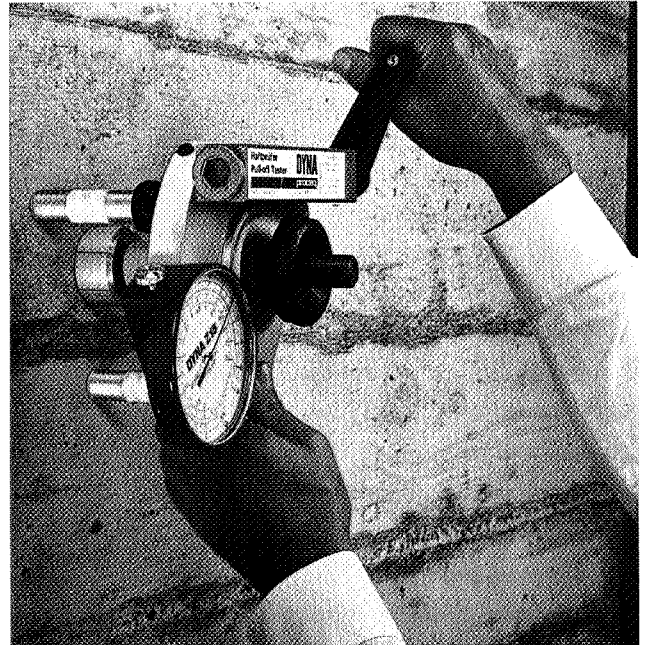
Die Prüfung muss äusserst sorgfältig durchgeführt werden, da die Versuchsdurchführung einen grossen Einfluss auf das Resultat hat. Es ist deshalb Erfahrung mit dem Gerät erforderlich.

Vor dem Aufkleben des Abreissstempels ist die Prüffläche zu reinigen und mit einer Kernbohrung (Tiefe ca. 10 bis max. 50 mm) zu definieren. Der Prüfstempel von genügender Stärke (Dicke $\geq$ halber Bohrdurchmesser) muss senkrecht zur Oberfläche aufgeklebt werden. Mit einer entsprechenden Vorrichtung wird nach Aushärten des Klebers der Stempel senkrecht abgezogen und die Abreisskraft bestimmt.

Die Anschaffungskosten eines Gerätes für die Abreissprüfung (ohne Diamantbohrausrüstung) betragen Fr. 5'000.– bis Fr. 7'000.– (manuell gesteuert) resp. Fr. 12'000.– bis Fr. 15'000.– (elektronisch gesteuert). Für die Durchführung eines Versuches ist inkl. Vorbereitung mit einem Zeitaufwand von rund 0.5 h (ohne Erhärtungszeit des Klebers) zu rechnen.

Beurteilung

Die Abreissprüfung ist eine allgemein anerkannte und bewährte Prüfung zur Feststellung der Zugfestigkeit eines Stoffes resp. der Haftzugfestigkeit zwischen verschiedenen Schichten (auch bei Beschichtungen). Einzelwerte haben eine beschränkte Aussagekraft. Voraussetzung für ein repräsentatives Resultat ist eine sorgfältige Versuchsdurchführung.



Abreissprüfung am Objekt.

Der Aufwand für die Durchführung der Prüfung am Objekt ist häufig nicht viel geringer als derjenige für die Entnahme eines Bohrkernes mit anschliessender Direktzugprüfung im Labor. Das Prüfergebn ist jedoch sofort verfügbar.

Auf unebenen Flächen und bei kalter Witterung ist die Durchführung dieses Versuches erschwert. Neben der Abreisskraft ist auch die Abreissstelle und das Aussehen der Bruchfläche festzuhalten.

Literatur

1. ZTV-SIB 90: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen; Deutsches Bundesministerium für Verkehr, 1990.
2. DIN 1048: Prüfverfahren für Beton, Teil 1-5, Ausgabe 06/19, Deutsches Institut für Normung.
3. Heidrich G. et al.: Einflüsse auf die Ergebnisse von Haftzugprüfungen; Bautenschutz + Bausanierung 13 (1990), p. 31 - 33.
4. ZfPBau-Kompendium: http://www.bam.de/a_vii/vii_3/kompendium/welcome.html.
5. Proceq, Zürich: Produktdokumentation.

Potentialmessung (Stahl- und Spannbeton)

Allgemeine Informationen

- geregelt im Merkblatt SIA 2006
- zerstörungsfrei (Anschluss an Bewehrung und eventuelle Beobachtungsfenster zur Eichung der Interpretation sind lokal zerstörend)
- Prüfung erfolgt am Bauwerk
- flächendeckende Anwendung möglich

Anwendung

Anwendung im Rahmen der Überwachung, Planung, Instandsetzung und Qualitätssicherung von Bauteilen aus Beton (z.B. Brücken, Stützmauern, Tunnels, Hochbauten etc.). Es werden zwei Verfahren, die Punktmessung und die Potentialfeldmessung unterschieden.

Die universell einsetzbare Punktmessung – sie erfordert nur einen geringen messtechnischen Aufwand – gibt Hinweise auf Korrosionsherde, erlaubt in der Regel aber keine Darstellung des Potentialfeldes.

Der engmaschige Messraster der Potentialfeldmessung ermöglicht es, auf der Betonoberfläche das Potentialfeld auszumessen und darzustellen.

Zielgrößen

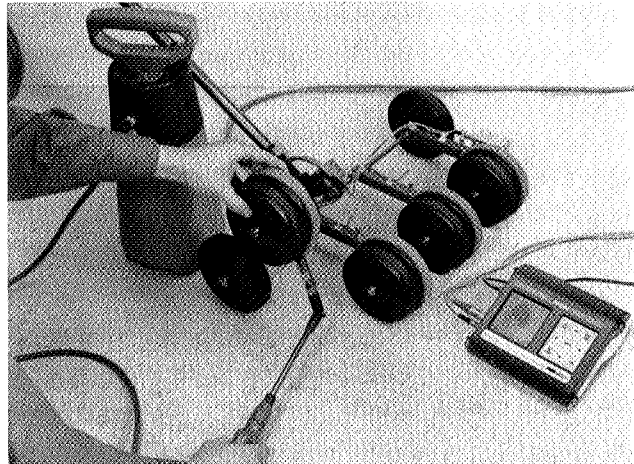
Bei der Potentialmessung wird das elektrochemische Korrosionspotential auf der Betonoberfläche gemessen. Korrodierende Stähle unterscheiden sich von intakten, nicht korrodierenden Stählen, welche im alkalischen, chloridfreien Beton liegen, durch ein um mehrere 100 mV negatives Korrosionspotential. Aufgrund der festgestellten Potentialunterschiede auf der Betonoberfläche können korrodierende Bereiche der Bewehrung aufgespürt werden. Die eigentlichen Messresultate müssen interpretiert werden. Dies erfordert Fachkompetenz.

Messprinzip

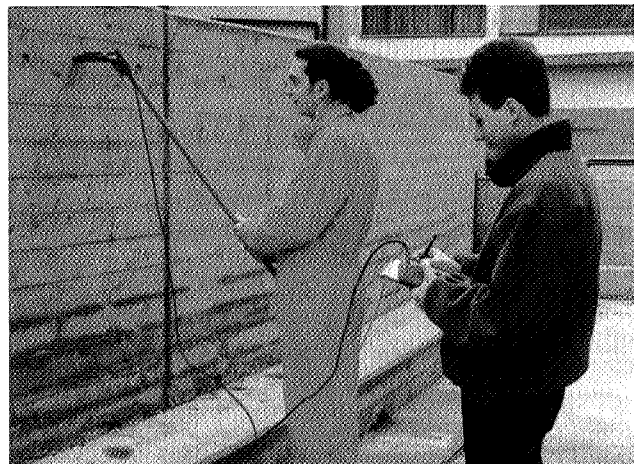
Eine Referenz- oder Bezugs elektrode mit einem bekannten, konstanten Potential wird mit einem feuchten Schwamm als Unterlage auf die zu messende Stelle aufgedrückt und über ein hochohmiges Voltmeter mit der Bewehrung verbunden. Dabei wird der niederohmige Pol an die freigelegte, blanke Bewehrung angeschlossen. Grosse Datenmengen werden mit EDV-Programmen verarbeitet und graphisch dargestellt.

Interpretation

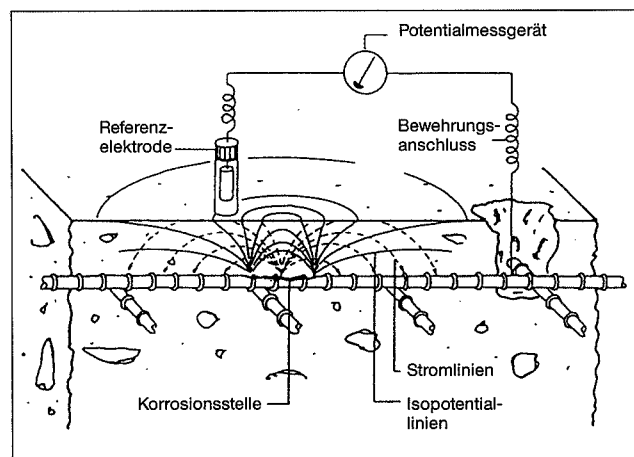
Da im Beton verschiedene Einflussgrößen die Potentiale beeinflussen (z.B. Überdeckung der Bewehrung, Wassergehalt des Betons, Risse etc.) gibt es keine festen Grenzwerte. Ein relativer Vergleich der an der Oberfläche gemessenen Potentiale un-



Mehrfachradelektroden.



Einzelelektrode.



Prinzip der Potentialmessung (Lit. 6).

ter Berücksichtigung der Einflussgrößen ist als Indikator für Korrosionsbereiche sinnvoller. Die «Eichung» anhand parallel zur Potentialmessung geöffneter Beobachtungsfenster ist für die Interpretation hilfreich.

Die Interpretation durch den Spezialisten liefert flächendeckende, qualitative bis halbquantitative Aussagen bezüglich:

- Lage und Ausmass von Korrosionsherden
- Hinweise zum Korrosionszustand der Bewehrung
- Chloridverseuchung des Betons
- Bereiche mit erhöhter Betonfeuchtigkeit

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

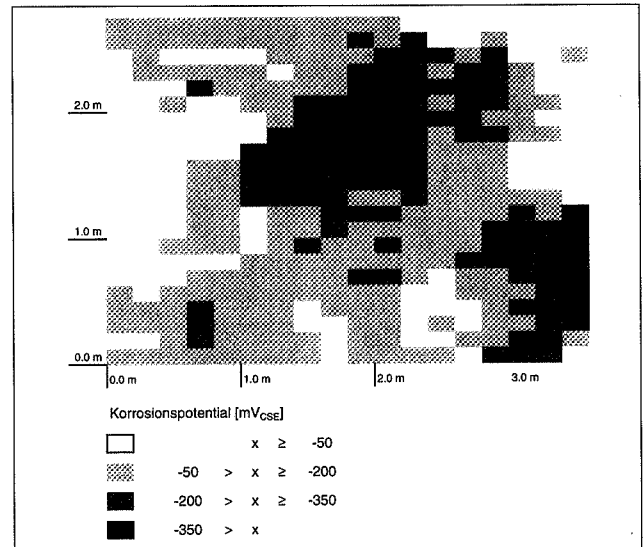
Die Durchführung der Messung und Interpretation soll nur durch erfahrenes und entsprechend ausgebildetes Personal erfolgen.

Die Messflächen müssen zugänglich sein, wobei die Messungen von einer Hebebühne, von einem mobilen Gerüst oder bei Brücken von einem mobilen Untersichtgerät aus durchgeführt werden können.

Elektrisch isolierende Schichten (Beläge, Abdichtungen etc.) oder ein durchgehender Wasserfilm auf der Betonoberfläche beeinträchtigen oder verunmöglichen die Messung.

Die Interpretation und die Umsetzung der Messresultate kann, ausser im Fall grosser Datenmengen, direkt am Objekt erfolgen.

Für Messung und Interpretation ist mit Kosten von ca. 5.– bis 50.– Fr./m² zu rechnen, abhängig von der Zugänglichkeit und Geometrie der Oberfläche sowie von der Art der Messung.



Ausschnitt aus der grafischen Auswertung eines Potentialfeldes.

Beurteilung

Die Potentialmessung eignet sich gut als zerstörungsfreie Untersuchung zum raschen Auffinden und Erfassen von korrodierenden Bewehrungsstäben im Beton. Sie eignet sich sowohl zum frühzeitigen Erkennen von Mängeln und zur Abschätzung deren Ausmasse (Punktmessung) als auch zum exakten Lokalisieren von Korrosionsherden und deren Ausmassen (Potentialfeldmessung). Angaben bezüglich der Chloridverseuchung sind möglich (Ausmass des erforderlichen Betonabbruches).

Die Resultate der Potentialmessung eignen sich insbesondere für die gezielte Anordnung von Bohrkernen und Beobachtungsfenstern. Die Potentialmessung sollte deshalb direkt anschliessend an die visuelle Inspektion durchgeführt werden.

Literatur

1. Elsener B., Böhni H: Elektrochemische Untersuchung der Korrosion von Armierungsstahl im Beton; Schweizer Ingenieur und Architekt Heft 14, 1984, p. 264-269.
2. Elsener B., Böhni H.: Lokalisierung von Korrosion im Stahlbeton; Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 19, 1987, p. 528-533.
3. Hunkeler F.: Die Potentialmessung als Mittel der Bauwerksinspektion am Beispiel von Brückenplatten; Schweizer Ingenieur und Architekt Heft 12, 1991, p. 272-278.
4. SIA-Dokumentation D0126: Potentialmessung, ein wesentliches Instrument für die Beurteilung von Bauwerken; 1995.
5. Hunkeler F.: Grundlagen der Korrosion und der Potentialmessung bei Stahlbetonbauten; ASTRA Forschungsbericht 510; Mai 1994.
6. SIA: SIA Merkblatt 2006: Durchführung und Interpretation der Potentialmessung an Stahlbetonbauten.

Elektrische Widerstandsmessung mit 4-Punkte Methode (Beton/Mörtel/Mauerwerk)

Allgemeine Informationen

- nicht normiert
- zerstörungsfrei

Anwendung

Messung des elektrischen Widerstandes von Beton an der Oberfläche von Bauteilen bzw. Bauwerken aus Beton, Mörtel oder Mauerwerk.

Zielgrößen

Elektrischer Widerstand resp. elektrische Leitfähigkeit von Beton, Mörtel oder Mauerwerk als Messgröße für Feuchtigkeit (Porosität) bzw. Korrosionsgefährdung der Bewehrung.

Messprinzip

Bei der Messung wird der Spannungsabfall zwischen zwei Elektroden (B,C) im elektrischen Feld (A,D) gemessen. Mit Hilfe der Abstände zwischen den Elektroden wird der spezifische Widerstand berechnet.

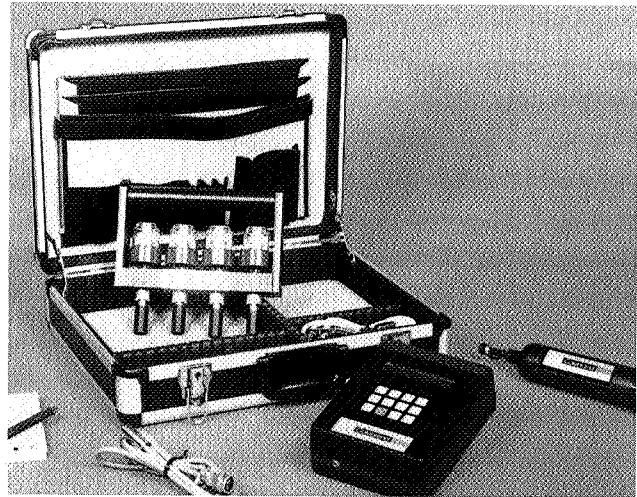
Die Messung wird durch eine dichte, nahe der Betonoberfläche verlaufende Bewehrung verfälscht. Dieser Einfluss kann durch 90°-Drehung des Gerätes überprüft werden.

Interpretation

Mit Hilfe verschiedener Messungen am gleichen Bauteil können qualitativ Zonen höherer Feuchtigkeit (= höheres Korrosionsrisiko) ermittelt werden. Das absolute Messergebnis widerspiegelt mit Feuchte, Porosität (W/Z-Faktor, Alter des Betons etc.) und Ionengehalt eine ganze Reihe von Faktoren, die sich alle in Richtung höherer Korrosionsgefährdung für die Bewehrung auswirken. Das Messresultat ist mit der Ablesung am Gerät sofort verfügbar. Die Messung kann damit sehr rasch durchgeführt werden.

Die Streuung der Ergebnisse bei Wiederholmessungen beträgt ca. 20 - 30 %. Die Unterschiede in der Leitfähigkeit verschiedener Betonqualitäten betragen jedoch Größenordnungen!

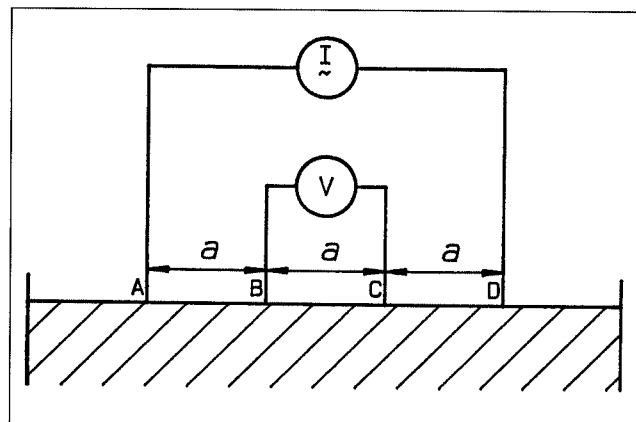
Die Gefahr einer Fehlinterpretation besteht bei Vorhandensein nicht erkannter Beschichtungen, Schichttrennungen oder Abplatzungen der oberflächennahen Baustoffschichten.



Messausrüstung für Widerstandsmessung.



Messgerät mit elektronischer Aufzeichnung.



Messprinzip.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Das Messgerät kann durch einen in der Bedienung angelernten Fachmann eingesetzt werden. Die Beurteilung der Resultate erfordert Erfahrung und ein gutes Verständnis der verschiedenen Einflüsse auf die Leitfähigkeit des Betons.

Die Energieversorgung erfolgt über Batterien. Für die Messung werden die vier Elektroden gegen den Beton gedrückt. Die Resultate können aufgezeichnet und später elektronisch weiterverarbeitet werden.

Bei der Messung darf auf der Oberfläche keine Wasserlache liegen. Ansonsten bestehen keine Einschränkungen bei der Anwendung.

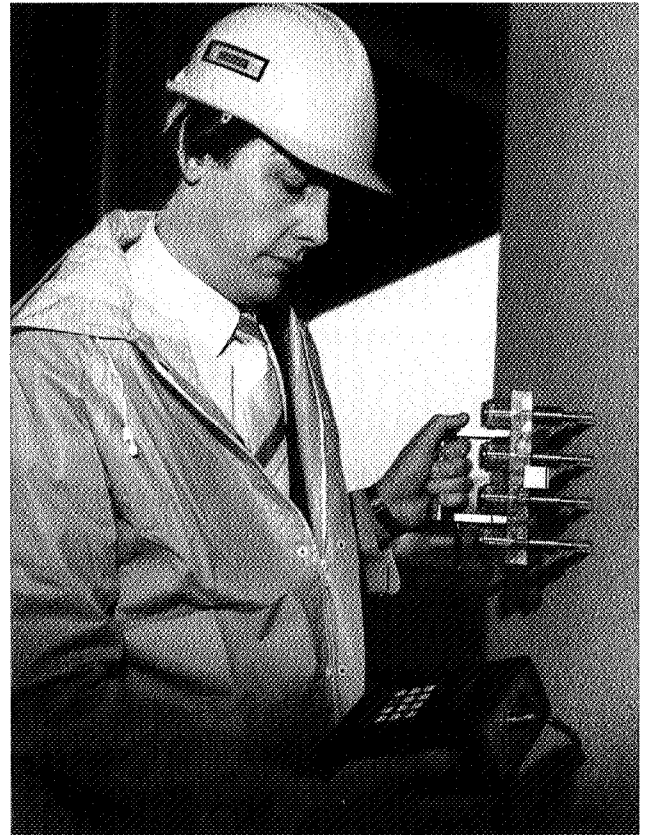
Die Anschaffungskosten betragen ca. Fr. 6'000.-.

Beurteilung

Die Messmethode bildet eine sinnvolle Ergänzung zur Potentialmessung mit der Einzelelektrode bzw. in ausgewählten Bereichen.

Die Resultate liegen (bei homogener Überdeckung) sofort vor. Begleitende Prüfungen sind nicht erforderlich, zur besseren Interpretation evtl. erwünscht (Untersuchungen an Bohrkernen).

Der Aufwand ist im Verhältnis zur gewonnenen Information niedrig.



Messgerät im Einsatz.

Literatur

1. Elsener B.: Elektrische Leitfähigkeit und Ionenmigration in Beton; SIA-Dokumentation D 065, Elektrochemische Schutzverfahren für Stahlbetonbauwerke, 1990.
2. Millard et al.: Assessing the electrical resistivity of concrete structures for corrosion durability studies, Corrosion of Reinforcement in Concrete, Publ. Elsevier Applied Science, 1990, p. 303 - 313.
3. Colebrand: Resistivity Logger; Produktinformation, APRO International SA, Rolle.
4. Proceq, Zürich; Produktinformation.

Schichtdickenmessungen (Beschichtungen auf Beton)

Allgemeine Informationen

- zerstörungsfreie, zerstörungsarme und zerstörende Prüfung
- Prüfung während oder nach der Applikation direkt am Objekt

Anwendung

Kontrolle der Dicke von Dünn- oder Dickbeschichtungen auf Beton am Bauwerk, auch von einzelnen Arbeitsschritten der Beschichtungsarbeiten als Zwischenabnahmen.

Zielgrößen

Das Resultat der Messung ist eine quantitative Information über die vorhandene bzw. applizierte Schichtstärke ohne Aussage über die Qualität der Beschichtung. Während der Applikation können die Einhaltung des Sollverbrauchs oder Schwankungen in der Applikationsmenge umgehend festgestellt werden.

Messprinzip

A: Nassschichtdickenmessung

Die Messung erfolgt unmittelbar nach der Applikation innerhalb der Topfzeit mit einem Messkamm oder einem Messrad aus rostfreien Edelstahl.

B: Trockenschichtdickenmessung

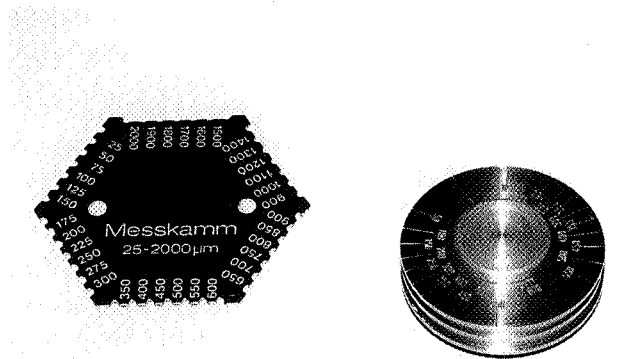
1. Ultraschall (zerstörungsfrei):

Bei der Messung auf Ultraschallbasis ist in der Messsonde ein Sender/Empfänger integriert, welcher hochfrequente Ultraschallschwingungen aussendet. Diese Schwingungen werden an den Grenzflächen zwischen den unterschiedlichen Materialien teilweise reflektiert und vom Empfänger registriert. Aufgrund der Laufzeiten der Schwingungen wird die Schichtdicke berechnet.

2. Schichtdickenprüfgerät nach BAM, ZTV-SIB 90 (zerstörungsarm)

Die Messung erfolgt durch Durchstechen der Beschichtung mit einer Messsonde. Das Verfahren stellt eine Differenzdickenmessung in Anlehnung an DIN 50 933 dar.

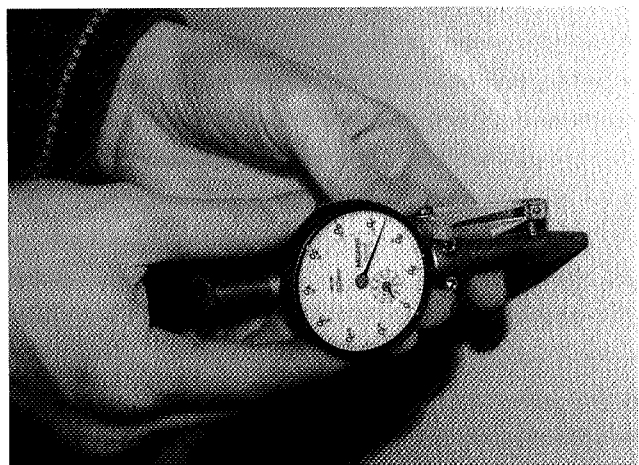
Das Messgerät ist vor jeder Messreihe auf einer ebenen Glasplatte zu justieren. Bei der senkrecht zur Beschichtungsoberfläche durchzuführenden Messung wird das Gerät mit hervorstehender Nadelspitze bis zu einem spürbaren Widerstand mit mässigem Druck in die Oberflächenschutzschicht eingestochen. Anschliessend kann das Gerät arretiert und die Schichtdicke an der Messuhr abgelesen werden.



Nassschichtdickenmessgeräte, links: Messkamm, rechts: Messrad.



Ultraschallmessgerät.



Schichtdickenprüfgerät nach BAM, ZTV-SIB 90.

3. Keilschnitt-Verfahren nach DIN 50 986 (Zerstörung der Oberfläche)

Die Oberfläche wird mit einer Schneidvorrichtung unter einem bestimmten Winkel eingeschnitten, die Schnittkante mit einem Messmikroskop gemessen und die Schichtdicke trigonometrisch berechnet.

Interpretation

Nassschichtdickenmessungen werden vorwiegend durch die ausführenden Unternehmer zur Eigenkontrolle durchgeführt, damit erforderliche Korrekturen unmittelbar nach Vorliegen der Messergebnisse durchgeführt werden können. Sie eignen sich insbesondere bei Schichtstärken im Millimeterbereich (z.B. OS 9), weniger im μm -Bereich. Die Verminderung der Schichtstärke durch das Aushärten ist zu berücksichtigen.

Die verschiedenen Verfahren der Trockenschichtdickenmessung haben Vor- und Nachteile:

Messgeräte auf *Ultraschallbasis* ermöglichen auf einfache Weise eine rationelle Messung. Sie verlangen jedoch genügend Kenntnisse über Untergrund, Schichtaufbau und Sollsichtstärken, da der Messbereich allenfalls eingegrenzt werden muss. Das Verfahren eignet sich für Messungen im μm - bis mm-Bereich. Je nach Gerätetyp können die Einzelwerte pro Gruppe gespeichert, auf den PC übertragen und ausgewertet werden. Es besteht auch die Möglichkeit, die Mittelwerte der Gruppen vor Ort anzeigen zu lassen.

Das *Schichtdickenprüfgerät* nach BAM, ZTV-SIB 90 eignet sich vor allem für weiche Beschichtungen im mm-Bereich. Die Ablesung erfolgt manuell und wird in einem Protokoll festgehalten.

Das *Keilschnitt-Verfahren* nach DIN 50 986 zerstört die Beschichtungsoberfläche, es wird deshalb nur selten eingesetzt.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Bei allen Schichtdickenmessverfahren sind in Abhängigkeit der Untergrundrauigkeit beträchtliche Schwankungen bei den Ergebnissen zu erwarten. Aus diesem Grund sind insbesondere bei dünnen Beschichtungen mehrere Messwerte zu einer Messung zusammenzufassen.

A: Nassschichtdickenmessung:

Die Messungen können von einer Person und allenfalls einem Protokollführer durchgeführt werden.

An die Ausführenden sind keine besonderen Anforderungen zu stellen. Die Kosten für die Messgeräte betragen bis einige 100 Franken.

B: Trockenschichtdickenmessung

Trockenschichtdickenmessungen auf Ultraschallbasis stellen höhere Anforderungen an die Ausführenden. Einerseits ist mit der Messsonde sehr sorgfältig umzugehen, andererseits setzt die Festlegung der Messbereiche genügend Kenntnisse über die Oberflächenbeschaffenheit des Betons, den Beschichtungsaufbau und das Messprinzip voraus. Es kann ab und zu vorkommen, dass zumindest fragliche Resultate angezeigt werden. Im Zweifelsfall ist zu entscheiden, ob die gemessene Schichtdicke am Dünnschliff im Labor überprüft werden soll. Die Kosten für die Messgeräte betragen je nach Gerätetyp mehrere 1'000 Franken.

Die Schichtdickenmessung nach BAM, ZTV-SIB 90 stellt keine grösseren Anforderungen an die Ausführenden. Das Messgerät ist periodisch auf einer Glasplatte zu eichen. Es ist wichtig, stets mit gleichem und nicht zu grossem Druck die Beschichtung mit der Nadelspitze bis zu einem spürbaren Widerstand zu durchstechen. Die Kosten für dieses Messgerät betragen einige 100 Franken.

Beurteilung

Nassschichtdickenmessgeräte sind während der Applikation unerlässlich, sie können allerdings die Trockenschichtdicken-Messgeräte nicht ersetzen.

Das Messgerät auf Ultraschallbasis mit automatischer Registrierung eignet sich bei geringen Schichtstärken im Bereich bis einige 100 μm und möglichst ebenen Untergründen, d.h. keinen vorstehenden Körnern, am besten. Es ist allerdings periodisch mit Messungen an Eichplättchen zu eichen, was mit einigem Aufwand verbunden ist. Bei grösseren Schichtstärken mit weichen Beschichtungsstoffen eignet sich das Schichtdickenmessgerät nach BAM (Vorteil: recht zuverlässige Messwerte; Nachteil: geringfügige Zerstörung der Beschichtung, manuelle Ablesung und Erfassung der Messergebnisse), allenfalls das Messgerät auf Ultraschallbasis (mit genau den entgegengesetzten Vor- und Nachteilen).

Literatur

1. ZTV-SIB 90: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Bundesminister für Verkehr.
2. ASTM Norm D 6132: Standardtestmethode für nicht zerstörende Messungen der Trockenfilmdicken von aufgetragenen organischen Schichten auf mineralischen Substraten mittels eines Ultraschallgerätes.

Impact-Echo Methode (I-E-Methode)

Allgemeine Informationen

- nicht normiert
- zerstörungsfrei
- Prüfung erfolgt am Bauwerk

Anwendung

Messen von Bauteildicken einseitig zugänglicher Bauteile, Lokalisierung von Ablösungen, Hohlräumen und Fehlstellen, Messen von Risstiefen, Kontrolle von Spannkabelinjektionen.

Zielgrößen

Mit der I-E-Methode wird die Frequenz der Schallreflexion in einem Bauteil gemessen. Über die Schallgeschwindigkeit wird die Tiefenlage der Reflexionshorizonte bestimmt.

Messprinzip

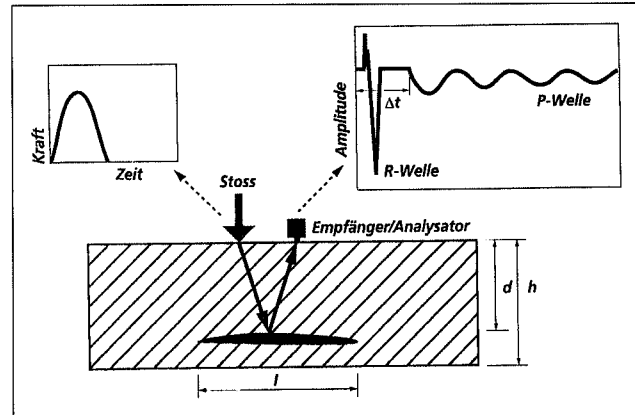
Ein mechanischer Schlag (Impact) löst eine Schallwelle (Druckwelle) im Bauteil aus, welche an Grenzflächen reflektiert wird. An der Oberfläche wird der Zeitverlauf der Schwingungsamplitude gemessen. Durch FFT-Transformationen lässt sich die Frequenz berechnen, mit der der Schallimpuls zwischen der Oberfläche und einer Grenzfläche hin und her reflektiert wird. Mit Hilfe der Schallgeschwindigkeit im Bauteil lässt sich die Tiefe des Reflektors bestimmen. Ist die Schallgeschwindigkeit nicht bekannt, kann sie an einem Bohrkern ermittelt werden. Neuere I-E-Messgeräte erlauben die Messung der Schallgeschwindigkeit direkt am Bauteil.

Interpretation

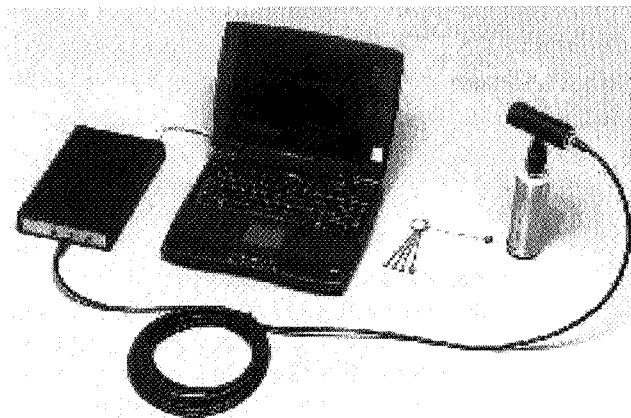
Die Interpretation der Messergebnisse erfordert viel Erfahrung. Schwierigkeiten bereiten vor allem die Einflüsse der Bauteilgeometrie und der Bewehrung. Für Messaufgaben mit parallelen Grenzflächen ist das Verfahren gut geeignet, da genügend Schallenergie zwischen diesen reflektiert wird. Dicken von Bauteilen (bis ca. 1 m) und die Tiefenlage von Ablösungen lassen sich sicher bestimmen.

Werden Punktmessungen in einem Raster entlang von Linien durchgeführt, können sie zu 2D-Bildern zusammengesetzt werden. Dadurch kann die Aussagesicherheit erhöht werden.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Messung ist eine sorgfältige Vorbereitung. Es muss überprüft werden, ob dieses Verfahren für die Lokalisierung der zu erwartenden Fehlstellen geeignet ist und bei gegebener Bauteilgeometrie eine genügend sichere Aussage liefern kann.



Messprinzip des Impact-Echo Verfahrens.



Messausrüstung.

Arbeitsablauf

(Geräteaufwendungen und Kosten)

Die Messungen werden i.R. von zwei Personen durchgeführt. Die benötigte Zeit für die Installation vor Ort, das Vorbereiten der Messfläche und die Kalibrierung der Apparate ist nicht zu unterschätzen.

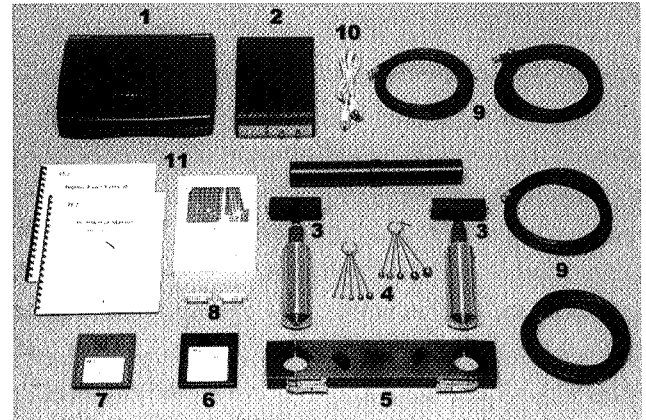
Die erste Messperson ist für die Signalgebung und die korrekte Manipulation (gleichmässiger Anpressdruck!) des Messkopfes zuständig. Die zweite Messperson bedient den Computer, überprüft laufend die Qualität der empfangenen Signale und führt das Messprotokoll.

Beurteilung

Die Impact-Echo-Methode wurde in verschiedenen Fällen erfolgreich für Dickenmessungen an Betonbauteilen mit nahezu parallelen Oberflächen, für die Kontrolle des Verbundes zweier Schichten (z.B. alter-neuer Beton, Belag-Untergrund) und das Bestimmen von Risstiefen im Beton angewendet.

Die Lokalisierung von Fehlstellen (Kiesnester) ist schwieriger und nur bei sauberen und glatten Oberflächen möglich.

Hingegen haben Versuche gezeigt, dass die Kontrolle von Spannkabelinjektionen – mit Ausnahme von Fällen mit idealer Bauteilgeometrie – sehr schwierig bis unmöglich ist.



Messausrüstung:

1. Notebook
2. Analoges/Digitales Datenempfangsgerät
3. Messköpfe
4. Impulsgeber
5. Distanzhalter
6. Impact-Echo Anwendungssoftware
7. Impact-Echo Testsoftware
8. PC-Stecker (Software-Schlüssel)
9. Kabel
10. Verbindungskabel PC-Datenempfangsgerät
11. Bedienungsanleitung und Verfahrensbeschriftung

Literatur

1. ASTRA, Forschungsbericht, Applicabilité de la méthode Impact-Echo, Juni 2000.
2. <http://www.impact-echo.com>.
3. ZfPBau-Kompendium: http://www.bam.de/a_vii/vii_3/kompendium/welcome.html.
4. J. Krieger: Ultraschall- und I-E-Verfahren zur Zustandsuntersuchung von Spannkäben, DGZfP-Berichtsband 66-CD, Vortrag 6, Januar 1999.

Vakuummethode (Spannbeton)

Allgemeine Informationen

Das für die Untersuchung verwendete Gerät wird primär als Hilfsgerät beim Injizieren von Spannkabeln eingesetzt. Es kann jedoch auch dazu verwendet werden, angebohrte Spannkabel auf ihre Verfüllung zu überprüfen und das Ausmass allfälliger Hohlräume festzustellen.

Anwendung

Vorwiegend zur Bestimmung von Hohlräumen bei nicht verpressten Spannkabeln.

Zielgrößen

Bestimmen des Ausmasses eines Hohlraumes in Spannkabeln. Vor einer Injektion wird diese Information für die Bereitstellung der erforderlichen Menge von Injektionsmörtel benötigt.

Messprinzip/Interpretation

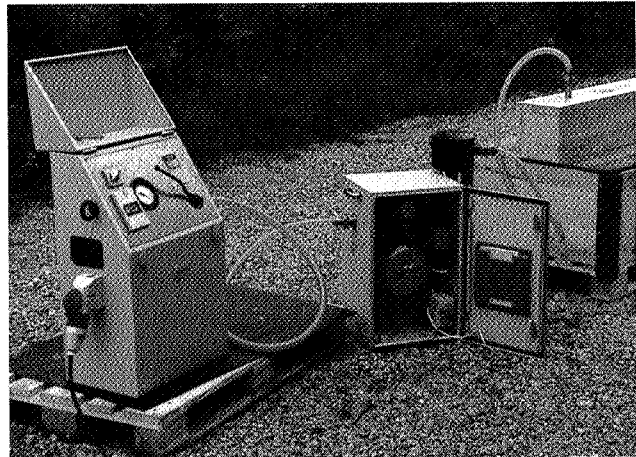
Das Gerät misst während dem Evakuieren das Volumen der abgesaugten Luft und bestimmt daraus die Grösse des vorhandenen Hohlraumes (in Liter).

Voraussetzung für den Einsatz dieses Gerätes ist ein geschlossener, dichter Hohlraum.

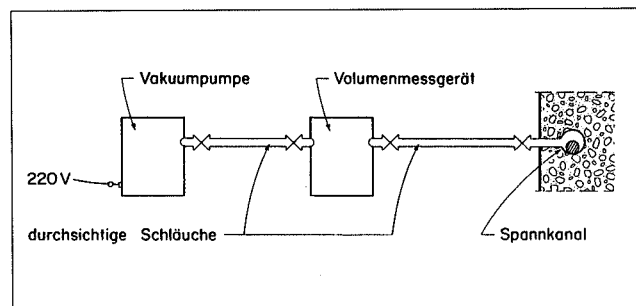
Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Für die Anwendung des Vakuumverfahrens ist ein Spezialgerät erforderlich, über das nur wenige spezialisierte Firmen (Injektionstechnik) verfügen. Für das Anbohren des Spannkabels wird eine Bohrausrüstung mit Abschaltautomatik eingesetzt (Maschine schaltet bei Kontakt des Bohrers mit Metall automatisch ab). Nach dem Öffnen des Hüllrohres erfolgt der Einblick in das Hüllrohr mit einem Endoskop. Ist ein Hohlraum vorhanden, wird ein Injektionschlauch eingeklebt. Jetzt kann das Vakuumgerät angesetzt und die Vakuumpumpe angeschlossen werden. Das Volumenmessgerät wird zwischen Hohlraum und Vakuumpumpe eingesetzt. Es misst während der Evakuierung das Volumen der abgesaugten Luft.



Vakuumpumpe mit Volumenmessgerät.



Schema Vakuumverfahren für die Hohlraumbestimmung mit dem Volumenmessgerät.

Beurteilung

Das Gerät eignet sich zur Bestimmung des Hohlraum Inhaltes von abgeschlossenen und dichten Hohlräumen. Das Hohlraumvolumen kann direkt am Gerät abgelesen werden. Das Volumen der Schlauchverbindung vom Hüllrohr zum Messgerät (bekannt) muss noch abgezogen werden.

Über die Genauigkeit des Messverfahrens wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt (Lit. 3, p. 51f). Die Genauigkeit ist bei kleinen Hohlräumen relativ schlecht (Abweichung bei 1 Liter Hohlraumvolumen ca. 50%), bei grösseren Hohlräumen aber bedeutend besser (bei 10 Liter Hohlraumvolumen ca. 10%). Die Untersuchungen basierten auf dem Vergleich mit dem Mörtelverbrauch für die anschliessende Injektion.

Literatur

1. Lange H.: Das Vakuumverfahren, eine neue Methode zum Injizieren von Spanngliedern; VII. FIP-Kongress, New York, 1974.
2. Kordina K., Osterroth H.H.: Zum nachträglichen Verpressen schwer zugänglicher Spannglieder; Bauingenieur 62 (1987), p 159-164.
3. Jungwirth D. et al.: Dauerhafte Betonbauwerke (p. 51f); Beton-Verlag, Düsseldorf, 1986.
4. Bänziger, Matt P.: Wegleitung zur Erstellung und Instandsetzung von Sondieröffnungen bei Spanngliedern, VSV, 1998.

Infrarotthermographie (Stahlbeton/Mauerwerk)

Allgemeine Informationen

- nicht normiert
- zerstörungsfrei (Entnahme von Bohrkernen zur Eichung der Interpretation ist lokal zerstörend)
- Prüfung erfolgt am Bauwerk (berührungslos)
- Prüfung erfordert wenig Zeit
- die Verkehrsbehinderung bei der Untersuchung von Strassenbauwerken ist gering.
- Die Infrarotthermographie wird seit längerer Zeit im Bauwesen zur Überprüfung der Wärmedämmung von Gebäuden eingesetzt. Sie findet zudem verbreitet Anwendung zur Fehlerentdeckung an Stromübertragungsnetzen und im Maschinenbau. Im Bereich Ingenieurbauwerke wird das Verfahren in neuerer Zeit für Zustandserfassung und Überwachung eingesetzt.

Anwendung

- Untersuchung flächenhafter Bauteile aus Beton, Stahlbeton, Mauerwerk etc. (z.B. Tunnelauskleidungen, Fahrbahnplatten etc.).
- Zugänglichkeit ist nur auf einer Seite des Bauteils erforderlich.

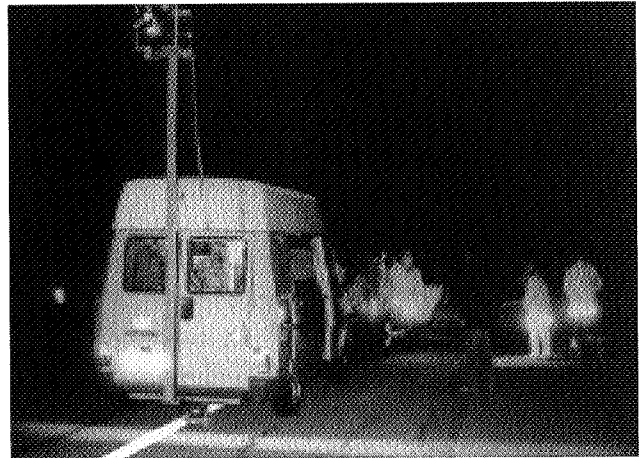
Zielgrößen

Gemessen wird die flächenhafte Temperaturverteilung auf der Oberfläche des Bauteils. Daraus sind auch Rückschlüsse auf Feuchtigkeit und Fehlstellen (Hohlräume) möglich.

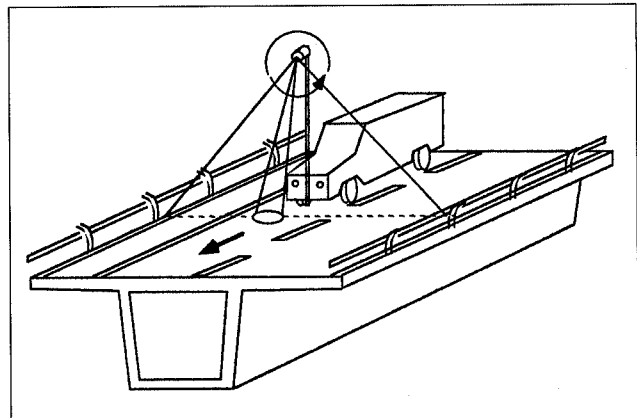
Messprinzip

Die Infrarotthermographie ist ein optisches Untersuchungsverfahren, das im Bereich der für das menschliche Auge unsichtbaren Wärmestrahlung, der Infrarotstrahlung (Wellenlänge $0.75 \mu\text{m}$ bis $800 \mu\text{m}$) arbeitet. Die Erfassung erfolgt mittels einer speziellen Kamera resp. eines Scanners. Die Aufnahme mit Scanner erlaubt eine direkte automatische Aufbereitung und Weiterverarbeitung der Aufzeichnungen. Resultat der Untersuchung ist ein Abbild der Verteilung der Oberflächentemperatur des Bauteils.

Voraussetzung für die Untersuchung ist ein Temperaturgefälle zwischen Bauteil und Umgebung. Die Messergebnisse können durch Oberflächenbeschichtungen und Wärmeströmungen (Abwärme von Motoren und Fahrzeugen!) beeinflusst werden.



Aufnahmefahrzeug mit Infrarotscanner-Kamera im Messeinsatz.



Prinzip der Untersuchung einer Brückenfahrbahn mit der Infrarotthermographie.

Interpretation

Die Interpretation der Verteilung der Oberflächen-temperatur lässt Rückschlüsse auf all jene Besonderheiten oberflächennaher Bereiche zu, die sich durch unterschiedlichen Wärmetransport und somit unterschiedliche Temperaturgradienten an der Oberfläche äussern. Insbesondere lassen sich Vernässung und Fehlstellen, aber auch Konstruktion, Inhomogenitäten und Hohlstellen im oberflächennahen Bereich orten. Die Interpretation erfordert entsprechende Erfahrung, eine Eichung an parallel entnommenen Bohrkernen erhöht die Aussagesicherheit. Die Reproduzierbarkeit der Untersuchung ist bei sorgfältigem Vorgehen gut. Die schwierige Interpretation der Ergebnisse wird durch eine synchronisierte Aufnahme mit einem optischen Scanner wesentlich erleichtert.

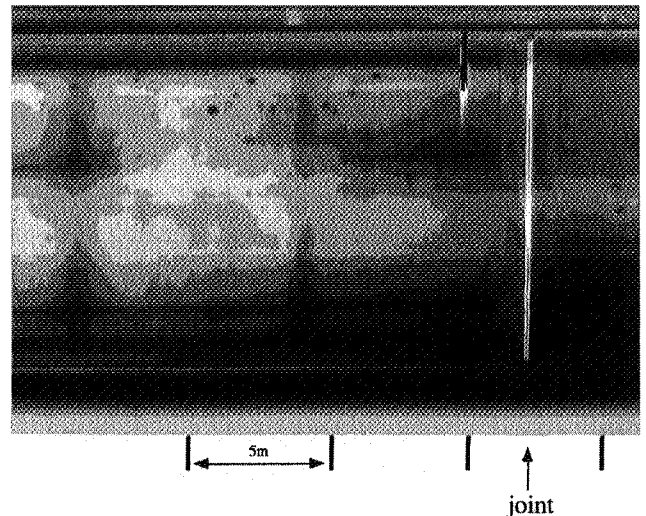
Arbeitsablauf

(Geräteaufwand und Kosten)

- Die Durchführung der Untersuchung ist nur durch einen Spezialisten mit Spezialgeräten und einer grossen Erfahrung möglich.
- Die Messflächen müssen von einer Seite her gut zugänglich sein, grossflächige Untersuchungen erfolgen in der Regel mit einem auf einem Fahrzeug montierten Scanner (vgl. Abbildung).
- Die Messungen werden meist nachts ausgeführt (Einflüsse der Sonnenstrahlung ausgeschaltet).
- Die Untersuchung ist rasch, die Verkehrsbeeinträchtigung bei Verkehrsbauten ist gering.
- Kosten: ca. 8.– bis 20.– Fr./m².

Beurteilung

Die Infrarotthermographie ist für gezielte Fragestellungen eine bedingt praxistaugliche Untersuchungsmethode. Sie eignet sich für grossflächige Untersuchungen, welche entsprechend den Resultaten mit weiteren Untersuchungsmethoden



Resultat einer Infrarotscanneraufnahme einer Brückenplatte.

lokal verfeinert werden können. Für Zustandsaufnahmen empfiehlt sich eine Kombination thermografischer und optischer Aufnahmen.

Zur Zustandsuntersuchung von Brückenfahrbahnen konnte sich diese Methode nicht durchsetzen. Zur Untersuchung von Tunneln v.a. hinsichtlich Wassereintritte wird sie jedoch heute verschiedentlich eingesetzt.

Durch den Vergleich neuer mit früheren Aufnahmen lassen sich Zustandsveränderungen an einem Bauwerk vollflächig verfolgen.

Für spezielle Fragestellungen sind weitergehende Verfahren, die nicht allein auf der Messung der dem Bauteil eigenen Temperaturunterschiede beruhen, in Entwicklung, heute aber noch nicht praxistauglich (Infrarot-Reflektografie, Induktions-Thermografie, Transient-Thermografie, Vibrations-Thermografie).

Literatur

1. Bosset de C.: Méthodes combinées pour l'auscultation des ouvrages; Mitteilung Nr. 118 der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Zürich, 1988.
2. DGZfP Merkblatt B5: Merkblatt über thermografische Untersuchungen an Bauteilen und Bauwerken, 1993.
3. Florin C.: DGZfP-Berichtsband 66-CD: Zustandsaufnahme an Stahlbetonbauten, Brücken, Stollen, Strassen und Tunneln, 1999.
4. ZfPBau-Kompendium: http://www.bam.de/a_vii/vii_3/kompendium/welcome.html.
5. Spacetec Datengewinnung GmbH, Freiburg / Deutschland: Produktinformation.

Georadar (Stahlbeton/Mauerwerk)

Allgemeine Informationen

- nicht normiert
- zerstörungsfrei (Entnahme von Bohrkernen zur Eichung der Interpretation lokal zerstörend)
- Prüfung am Bauwerk (eine Seite zugänglich!)
- geringer Zeitaufwand auch bei grossflächigen Untersuchungen
- geringer Platzbedarf der Messeinrichtung
- Das Georadarverfahren wird seit vielen Jahren in der Geophysik zur Erkundung oberflächennaher Schichten (u.a. zur Lokalisierung von Leitungen) eingesetzt. Das Verfahren wurde seit einigen Jahren mit grossen Anstrengungen für die Anwendung im Bauwesen weiterentwickelt

Anwendung

Anwendungsmöglichkeiten bieten sich bei flächenhaften Bauteilen aus Beton, Stahlbeton und Mauerwerk, z.B. Brückenplatten, Tunnelschalen, Strassen (Asphalt oder Beton) und Stützmauern. Zugänglichkeit ist nur auf einer Seite des Bauteils erforderlich.

Zielgrössen

Die Untersuchung liefert ein Bild der an Grenzschichten reflektierten elektromagnetischen Impulse. Die zu unterscheidenden Schichten müssen sich bezüglich ihrer Dielektrizitätskonstante unterscheiden. Die Interpretation der Untersuchungsergebnisse ermöglicht die Ortung von Bewehrung, Ankern, Lunkern, Hohlstellen, Abdichtfolien und das Feststellen von Strukturschädigungen und Wassereintritt. Es ist eine quantitative Aussage zur Lage georteter Objekte und eine qualitative Aussage über Material und Art des Einbauteils möglich. Die Messung erfolgt entlang einer Linie, das Resultat sind demzufolge einzelne Messprofile.

Messprinzip

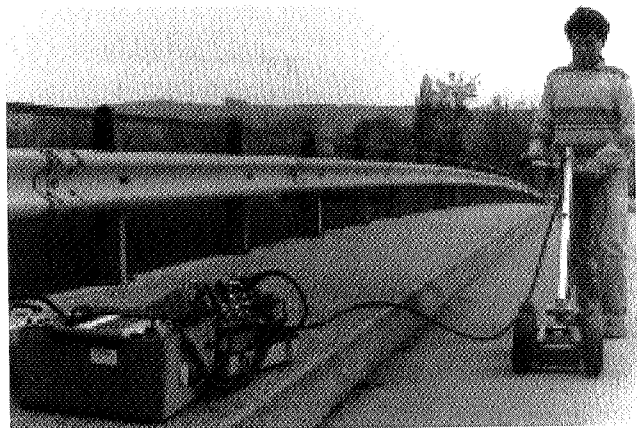
Vom Sender werden kurze elektromagnetische Impulse in das zu untersuchende Material gestrahlt. Die Zeitdifferenz zwischen Sendeimpuls und dem Eintreffen der reflektierten Welle beim Empfänger ist ein Mass für die Tiefe des reflektierenden Objekts. Die Frequenz (50 bis 1000 MHz) wird je nach gewünschter Auflösung und Eindringtiefe gewählt. Eine Änderung der Frequenz erfordert den Austausch der Sender- und Empfänger-Antenne.

Interpretation

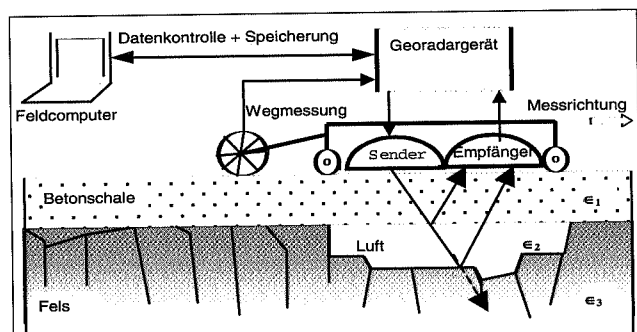
Eine Profilmessung liefert ein ungefähres Abbild eines Querschnitts des untersuchten Bauteils.



Georadargerät.



Georadar im Einsatz.



Messprinzip des Georadarverfahrens.

Die Zuordnung der Radarprofile zu georteten Objekten (Hohlstelle, Bewehrung) muss durch erfahrene Spezialisten geschehen. Mit steigenden Anforderungen an die Genauigkeit der Ergebnisse erhöht sich auch der Aufwand. Bei entsprechend kleinem Profilabstand ist eine 3-dimensionale Aufbereitung möglich.

Die Interpretation der Messungen liefert eine eindeutige Aussage über die Lage georteter Objekte und ermöglicht bedingte Aussagen über Art und Material von Einbauteilen und Strukturschädigungen. Die Reproduzierbarkeit der Messung ist sehr gut.

Arbeitsablauf

(Geräteaufwand und Kosten)

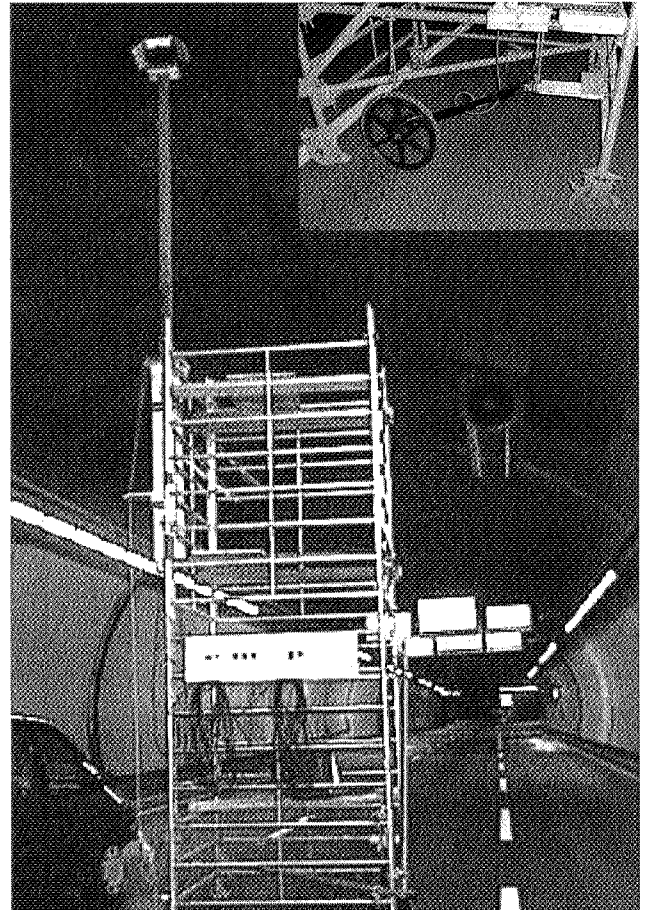
- Durchführung und Interpretation der Messung nur durch erfahrene Spezialisten.
- Die Messflächen müssen zugänglich sein, wobei das Messgerät (Antenne mit Kabelverbindung zum Steuergerät) auch auf einer Lastwagenhebebühne o.ä. montiert werden kann.
- Sämtliche bekannten Informationen (Leitungen, Bewehrung etc.) sollten vor der Testmessung beschafft werden. Für die Testmessung sollte genügend Zeit zur Verfügung stehen.
- Die eigentliche Messung erfordert wenig Zeit, die Verkehrsbehinderung bei Strassenbauwerken ist gering.
- Metallische Beschichtungen verhindern, nasse Oberflächen erschweren eine Untersuchung.
- Kosten: es ist mit Kosten von $\geq 5'000.-$ Fr. pro Einsatz zu rechnen (6.– bis 30.– Fr./m², je nach Dichte der Messstreifen und gewünschter Ortsauflösung).

Beurteilung

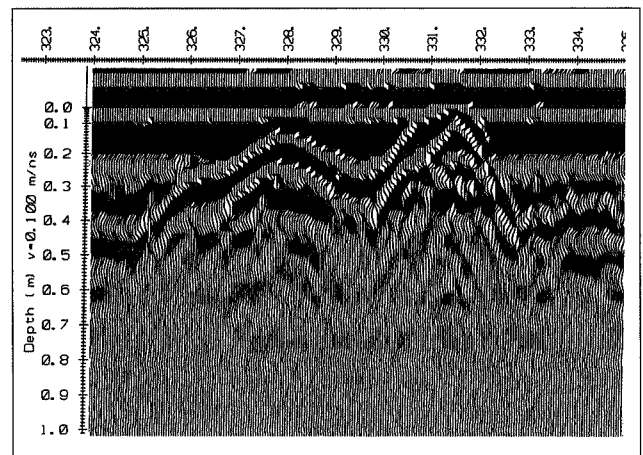
Die Georadarmethode ist bedingt für Routineuntersuchungen an Bauwerken geeignet. Das Verfahren zeigt seine Stärken besonders bei Untersuchungen flächenhafter Bauwerke (Brückenplatten, Tunnel-schalen etc.), da hier die automatisierte Messwertaufnahme voll ausgenutzt werden kann. Die Aussagesicherheit der Interpretation hängt wesentlich von der Erfahrung des Spezialisten ab. Die heutigen Datenverarbeitungsprogramme erlauben, die Radardaten auf einem PC effizient zu analysieren.

Literatur

1. Bosset de C.: Méthodes combinées pour l'auscultation des ouvrages; Mitteilungen Nr. 118 Schweizerische Gesellschaft für Boden und Felsmechanik, Zürich, 1988.
2. Meier, E., Huggenberger, P.: Georadar zur Kartierung der obersten 10 bis 20 Meter des Untergrundes, Wasser, Energie, Luft, Jahrgang 84, Heft 5/6, Baden, 1992.
3. Persoons J.E., Granier M.: Der Georadar, Spitzentechnik für Boden- und Materialuntersuchungen; Bau, Heft 3, 1991.



Georadar im Einsatz (Tunnelgewölbe) mit Wegmesser (kleines Bild oben rechts).



Ausschnitt aus Georadarbild einer Tunnelwand.

Ultraschall (Stahlbeton/Pfähle)

Allgemeine Informationen

- nicht normiert
- zerstörungsfrei (ausser: Entnahme von Bohrkernen zur Eichung bzw. spezielle Bohrungen zur Führung von Sender resp. Empfänger).
- Prüfung erfolgt am Bauwerk
- die Materialprüfung mit Ultraschall wird im Behälter-, Rohrleitungs-, Stahl- und Maschinenbau seit vielen Jahren erfolgreich angewendet (Prüfung von Schweissnähten, hochwertigen Walz-, Schmiede- und Gusswerkstücken aus Metallen (DIN 54126) und Kunststoffen), im Holzbau wird sie für die Qualitätssortierung eingesetzt.

Anwendung

- Untersuchung von beidseitig zugänglichen Betonbauteilen (Durchschallungsprüfung)
- Prüfung von Ortsbetonpfählen und Ortsbetonschlitzwänden, Prüfröhre müssen vorgängig eingelegt werden

Zielgrössen

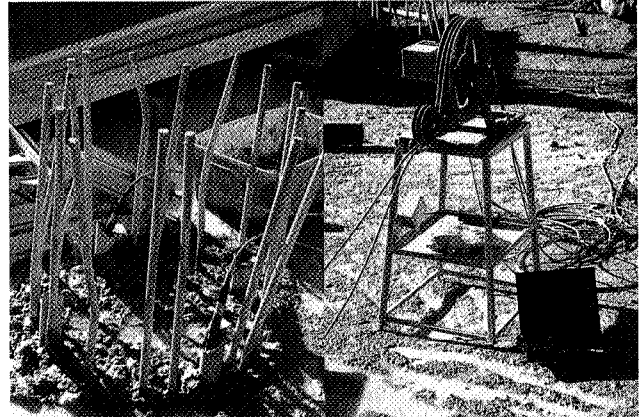
Aus der Signallaufzeit zwischen Sender und Empfänger sowie der Veränderung des Signals zwischen Sender und Empfänger (Dämpfung der Amplitude) können Rückschlüsse auf Hohlräume und bedingt auf Elastizitätsmodul und Festigkeit (Eichung erforderlich) gemacht werden.

Messprinzip

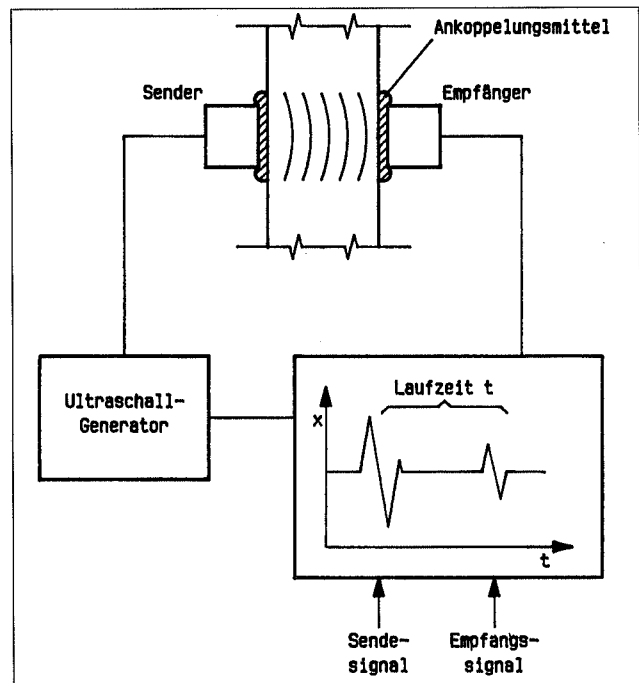
Für die Prüfung des inhomogenen Baustoffes Beton steht die Durchschallungsprüfung im Vordergrund. Sender und Empfänger sind einander gegenüberliegend an den beiden Aussenflächen des Bauteils angebracht. Die Sonden werden mit einem speziellen Ankoppelungsmittel (z.B. Vaseline) mit dem Bauteil verbunden. Die einwandfreie Ankoppelung hat einen grossen Einfluss auf die Zuverlässigkeit des Resultates. Die verwendete Frequenz ist abhängig vom Material und dem Untersuchungsziel (bei Beton oft 40 bis 60 kHz, damit Wellenlängen von 65 bis 100 mm). Bei der Prüfung von Pfählen werden Sender und Empfänger in parallelen, vorgängig im Pfahl eingelegten und mit Wasser gefüllten Röhren ($\varnothing$ 1.5-2") geführt.

Interpretation

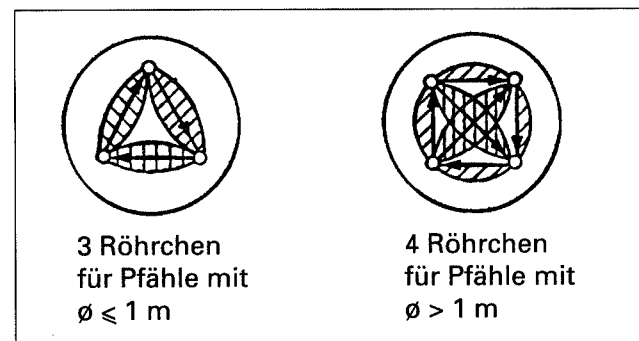
Aus der Veränderung der Laufzeiten und der Amplitudendämpfung entlang einer Messlinie lassen sich Rückschlüsse auf Inhomogenitäten und Fehlstellen im Beton ziehen. Die Interpretation ist vorwiegend quantitativ. Die Wellenlänge be-



Ultraschallmessausrüstung für Pfahlprüfung.



Messprinzip für Durchschallungsprüfung.



Messanordnung bei der Pfahlprüfung.

schränkt die Auflösung. Fehlstellen, die kleiner als die Wellenlänge sind, können nur schwer festgestellt werden. In Bereichen mit hohen Bewehrungskonzentrationen sind praktisch keine Aussagen möglich.

Die Prüfungen können relativ gut reproduziert werden. Es empfiehlt sich zur Vermeidung von Messfehlern Doppelmessungen vorzunehmen. Unsicherheiten bestehen bei der Interpretation.

Arbeitsablauf

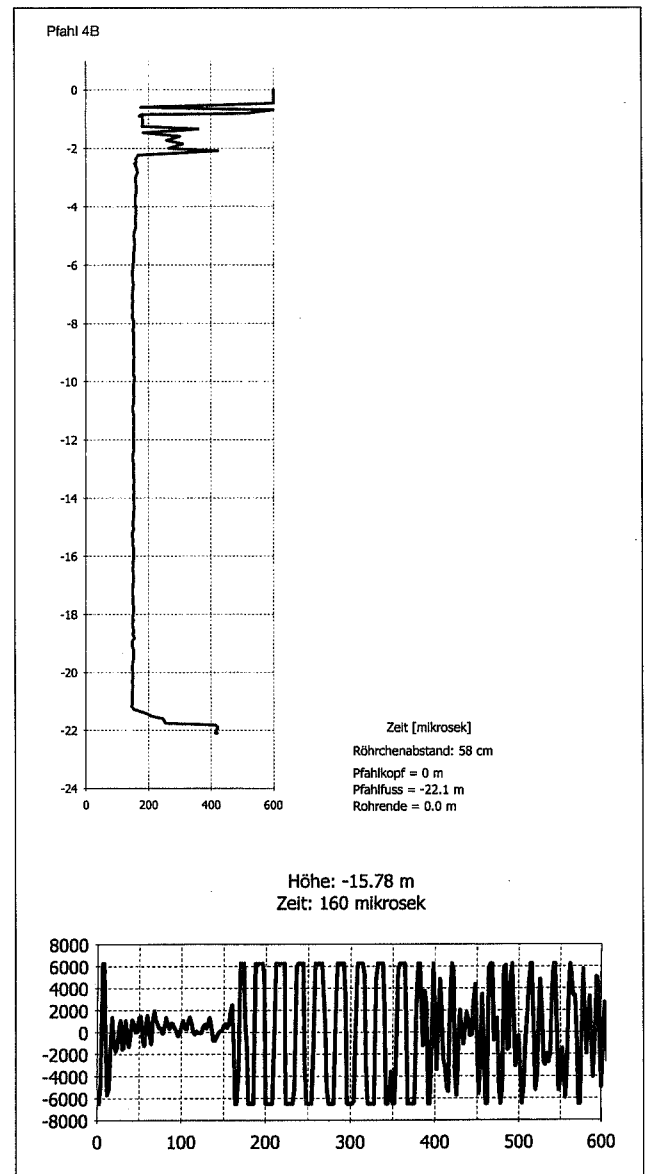
(Geräteanwendung und Kosten)

- Durchführung der Messung sowie Interpretation ist nur durch den Spezialisten möglich. Es sind Spezialgeräte (tragbar) erforderlich.
- Kosten: Für einen Messeinsatz (Pfähle) ist mit Grundkosten von 200.– bis 500.– Fr. zu rechnen, dazu kommen die Messkosten von ca. 15.– bis 25.– Fr. pro Laufmeter Pfahl; Messrohre ca. 20.– bis 30.– Fr. pro Laufmeter Rohr.

Beurteilung

Für die Prüfung von Ortsbetonpfählen (Pfahlschaftbereich) kann die Ultraschallprüfung als praxisbewährt beurteilt werden, wenngleich noch einige Fragen offen sind. Die Prüfung lässt keinen direkten Rückschluss auf die Betonqualität ausserhalb des Messrohrkranzes zu (Überdeckung der Bewehrung!). Eine erste Interpretation der Messresultate ist unmittelbar nach der Untersuchung möglich.

Für die Prüfung anderer Betonbauwerke und von Mauerwerk ist die Ultraschallprüfung als beschränkt praxistauglich zu beurteilen. Sie wird für Sonderfälle eingesetzt und durch den Spezialisten ausgeführt. Bei der Qualitätskontrolle von Beton kann sie in Kombination mit dem Betonprüfhammer eingesetzt werden.



Messresultat einer Pfahlprüfung.

Literatur

1. SGBFM: Kapp H.: Zerstörungsfreie Pfahlprüfmethoden: Möglichkeiten und praktische Erfahrungen; Fierz H.: Zerstörungsfreie Prüfung von Betonpfählen; Mitteilungen Nr. 99 der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Zürich, 1978.
2. Hürzeler H., Wullimann R.: Pfahlprüfung mit Ultraschall; Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 19, 1990, p. 508ff (Diskussionsbeiträge zu diesem Artikel im Heft 38, 1990, p. 1067ff (Steiger A.), Heft 43, 1990, p. 1249ff (Scheller E.) sowie Heft 6, 1991, p. 125ff (Andres F.).
3. Teodoru G.: Zerstörungsfreie Betonprüfungen: insbesondere Anwendung von Ultraschall, kritische Betrachtungen; Beton-Verlag, Düsseldorf, 1989.
4. Geotest AG, Zollikofen: Pfahlkontrolle mit Ultraschall, Firmendokumentation.
5. Steiger Baucontrol AG, Luzern: Pfahlprüfungen, Firmendokumentation.
6. Bruneau C.: Qualitätskontrolle von Pfählen; Bau, Heft 8, 1990.

Schichtdickenmessung (Beschichtungen auf Stahl und Aluminium)

Allgemeine Informationen

- normiert in DIN EN ISO 2178 resp. DIN EN ISO 2360
- zerstörungsfreie Prüfung
- Prüfung direkt am Bauwerk oder im Werk
- SBB verwenden zusätzliche Richtlinie (Lit. 4)

Anwendung

Kontrolle der Dicke von Neubeschichtungen am Bauwerk oder an Bauteilen in der Werkstatt, gegebenenfalls kombiniert und in Etappen (Grundbeschichtung im Werk, Gesamtbeschichtung am Bauwerk). Nachprüfung alter Beschichtungen (Restwerte), z.B. vor Beschichtungserneuerungen (Überholungen).

Für Beschichtungen auf magnetisierbaren Stählen wird die magnetinduktive Methode, für nicht-magnetisierbare Untergründe (Aluminium, Kupfer, austenitische Stähle) die Wirbelstrommethode eingesetzt.

Zielgrößen

Information über die vorhandene Schichtdicke (partiell oder ganzflächig je nach Anzahl der Messpunkte) ohne Aussage über die Qualität der Beschichtung.

Messprinzip

Magnetinduktive Methode:

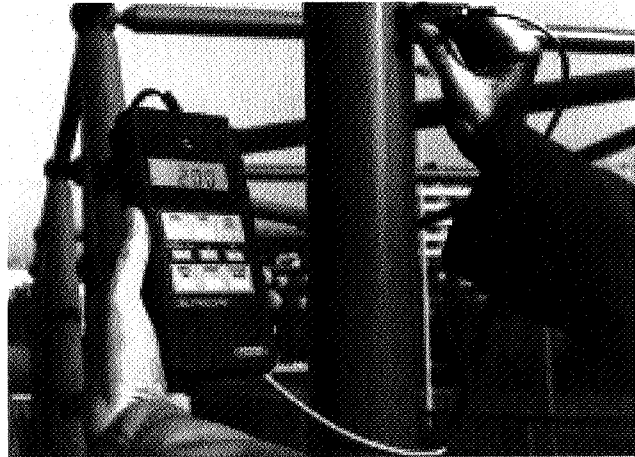
(für magnetisierbaren Untergrund: Stahl/Gusseisen). Die Messung beruht auf dem Magnetismus zwischen dem Stahl unter der Beschichtung und der Messsonde. Je dicker die Beschichtung, desto grösser die Abschwächung des erzeugten Magnetfeldes.

Wirbelstrommethode:

(für nichtmagnetisierbaren, metallischen Untergrund: Aluminium, Kupfer, austenitische (rostfreie) Stähle). Die Messung beruht auf der Erregung von Wirbelströmen im Trägermaterial, deren Stärke abhängig ist von der Dicke der Beschichtung. Gemessen wird die Rückwirkung des Magnetfeldes der Wirbelströme auf das ursprüngliche Magnetfeld.

Für beide Verfahren stehen elektronische Geräte mit Einzelmesswertspeicherung und Auswertungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Messwerte können an einen Drucker oder PC übertragen werden. Für das magnetinduktive Verfahren gibt es auch einfache, rein manuelle Geräte.

Die Messung muss auf der trockenen, ausgehärteten Beschichtung erfolgen.



Schichtdickenmessgerät, die Geräte der beiden Verfahren – magnetinduktiv oder Wirbelstrom – unterscheiden sich durch die Messsonde.

	Messungen von dünnen Schichten	Messungen von dicken Schichten
	richtig	richtig
a) Eichen		
b) Messen		

Die Eichung des Messgerätes auf einem Untergrund von gleicher Rauhgkeit, mittels Eichfolien, ist bei der Messung dünner Beschichtungen (bis 90 µm Mindestschichtdicke) unerlässlich (Kasten: Auszug aus Lit. 1, Ziffer 367).

Interpretation

Geräte mit Einzelmesswertanzeige ohne Speicherung genügen für erste generelle Prüfungen. Sie sind für umfangreiche Kontrollen nicht geeignet. Elektronische Geräte ermöglichen eine automatische statistische Auswertung. Damit ist rasch ein aussagekräftiges Resultat verfügbar.

Mit der Anzahl der Messpunkte (empfohlene Messpunktdichte vgl. Lit. 1, Ziffer 373) steigen Eindeutigkeit und Aussagekraft, die Streuung nimmt ab.

Die Gefahr einer Fehlinterpretation besteht bei Messung auf nicht durchgehärteten Schichten oder bei mangelhafter Eichung (vgl. Kasten).

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Die Messungen können von einer Person (Anforderung: durchschnittliches technisches Verständnis für Messvorgänge und für das angewandte Messprinzip) vorgenommen werden (allenfalls zusätzlicher Protokollschreiber). Eine Einschränkung durch Witterungseinflüsse ist praktisch nicht gegeben. Immerhin empfiehlt es sich, nasse Flächen vor der Messung trocken zu reiben. Als Zugang zu den Messstellen sind je nach Objekt Gerüste erforderlich.

Vor Beginn der Messarbeiten sollten die zu kontrollierenden Bereiche sowie die Messpunktdichte (Lit. 1, Z 373) festgelegt werden.

Beim einfachen Gerät bewirkt die Drehung eines Skalenknopfes eine Änderung des Abstandes eines Dauermagneten zum Untergrund. Ist ein vorgegebener Sollwert der Anziehungskraft erreicht, kann der Messwert von einer Skala abgelesen und protokolliert werden. Bei elektronischen Geräten ist die Bedienungsanleitung zu beachten, die Auswertung (Mittelwerte berechnen, Mindestwerte feststellen) erfolgt bei diesen Geräten automatisch. Die Kosten für die Anwendung sind niedrig. Die Anschaffungskosten für ein elektronisches Gerät betragen einige tausend Franken (je nach Typ).

Beurteilung

Sehr gute Methode zur sicheren Bestimmung von Schichtdicken. Mit anspruchsvolleren digitalen Geräten ist eine vollständige Auswertung mit Mittel-, Grösst- und Kleinstwert, Standardabweichung und Histogramm sowie Summenverteilung möglich.

Die Methode kann nur bei vollständig ausgehärteten Beschichtungen eingesetzt werden (für Nassschichtdickenmessung gibt es spezielle Geräte (vgl. Schichtdickenmessung auf Beton), Genauigkeit ist jedoch geringer). Geringer Zeitbedarf, Messresultate liegen sofort vor, begleitende Prüfungen sind nicht erforderlich. Das Nutzen/Aufwand-Verhältnis ist sehr gut.

Bei Beschichtungen auf Stahl ist es manchmal erforderlich, die Dicken der einzelnen Schichten zu kennen. Dies ist weder mit dem magnetinduktiven noch mit dem Wirbelstromverfahren möglich. Hier kommt das Keilschnittverfahren nach DIN 50 986 (vgl. unter Schichtdickenmessung auf Beton S. 82) oder das Ultraschallmessverfahren zur Anwendung.

Literatur

1. SZS: SN 555001, B3 Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen, Korrosionsschutz durch Beschichtungen und Überzüge, TK-SZS, 1993.
2. DIN EN ISO 2178, Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen – Messen der Schichtdicke-Magnetverfahren, 1995.
3. DIN EN ISO 2360, Nichtleitende Überzüge auf nichtmagnetischen Grundmetallen – Messen der Schichtdicke-Wirbelstromverfahren, 1995.
4. SBB/ASB: Richtlinien für den Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen (Brücken- und Hochbau sowie artgleiche Bauwerke), 1995.

Gitterschnittprüfung (Beschichtungen auf Stahl)

Allgemeine Informationen

- das Verfahren ist in der SN EN ISO 2409 normiert
- die Gitterschnittprüfung führt zu einer lokalen Zerstörung der Beschichtung. Die Prüfung sollte deshalb selektiv durchgeführt werden, bei schlechtem Ergebnis ist eine Ausdehnung auf das ganze Bauwerk meist unvermeidlich, Kostenfolgen für Reparatur beachten!
- Prüfung erfolgt am Bauwerk, evtl. können Vorversuche an Probestücken mit gleicher Beschichtung vorgenommen werden.

Anwendung

Überprüfung der Haftung von Beschichtungen auf harten (Stahl) und weichen (Holz/Putz) Untergründen, sowohl für alte bestehende wie auch für Neubeschichtungen (Ersatz oder Überholung, Begriffe vgl. Lit. 1). Bei Überholung besonders angezeigt zur Kontrolle der Haftung der noch verbleibenden Altbeschichtung.

Zielgrößen

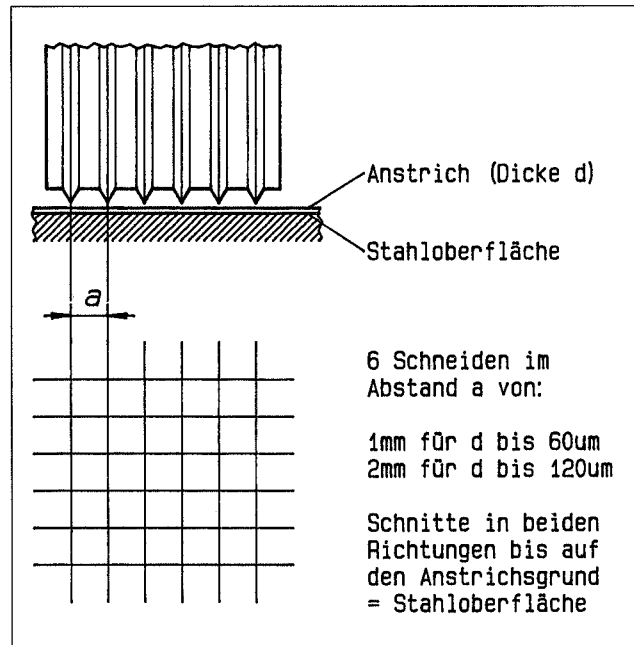
Optische Beurteilung des Prüfergebnisses durch Gegenüberstellen mit Vergleichsbildern. Das Ergebnis ist eine qualitative Aussage über die Güte (Gt 0 bis Gt 5) der Haftung einer Beschichtung auf ihrem Untergrund.

Messprinzip

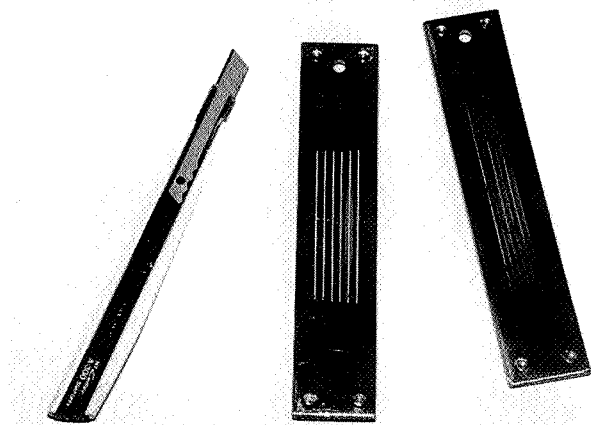
Eine gitterförmig (rechtwinklig) durchschnittenene Beschichtung blättert bei mangelnder Haftung vom Untergrund ab. Der Abstand der Schnitte untereinander (je sechs pro Richtung) muss in Abhängigkeit der Beschichtungsdicke gewählt werden. Das Ergebnis der Prüfung (%-Anteil abgeplatzter Fläche) wird anhand einer Vergleichstabelle ermittelt.

Interpretation

Der Aufwand für die Interpretation ist sehr gering. Die Beurteilung erfolgt visuell, unmittelbar nach der Durchführung der Prüfung. Das Resultat liegt an Ort und Stelle vor. Das Ergebnis ist eindeutig, Fehlinterpretationen sind kaum möglich. Die Prüfung ist lokal zerstörend, sie kann deshalb an der selben Stelle nicht wiederholt werden. Weil die Haftung der Beschichtung je nach örtlicher Qualität der Beschichtung meist streut, widerspiegelt sich dies auch in der Streuung der Ergebnisse verschiedener Prüfungen am gleichen Bauwerk.



Mehrschneidengerät und Anordnung der Schnitte.



Einschneidegerät («Japanmesser») mit Schablonen.

Arbeitsablauf

(Geräteaufwand und Kosten)

Die Durchführung der Gitterschnittprüfung stellt keine besonderen Anforderungen an den Prüfer. Die Schnitte werden entweder mit einem Einschneidegerät («Japanmesser») und einem Lineal (evtl. Schablone) oder einem speziellen Mehrschneidegerät durchgeführt. Das Einschneidegerät ist zu bevorzugen, das Mehrschneidegerät ist für Schichtdicken $> 120 \mu\text{m}$, für sehr harte Beschichtungen und für weiche Untergründe nicht geeignet.

Die je 6 Schnitte sind rechtwinklig anzuordnen. Der Schnittabstand wird aufgrund der Schichtdicke (vorgängig messen) festgelegt. Er ist normiert. Nach dem Schneiden mit einer weichen Bürste einige Male diagonal zu den Schnitten hin und her bürsten.

Danach sofort die Beurteilung vornehmen.

Bei Prüfungen im Freien ist trockene Witterung Voraussetzung. Je nach Lage der Prüfstellen sind Gerüstungen etc. erforderlich.

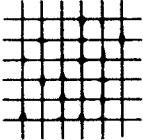
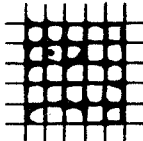
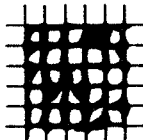
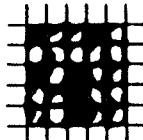
Für die Protokollierung werden Fotos empfohlen. Die Kosten für das Gitterschnittgerät und die Durchführung der Prüfung sind gering, die Reparatur der Prüfstellen und die Gerüstungen sind wesentlich aufwendiger und stark von den lokalen Verhältnissen abhängig.

Beurteilung

Die Gitterschnittprüfung ist eine aussagekräftige Prüfung zur Beurteilung der Qualität der Haftung auf harten (Stahl) und weichen (Holz, Putz) Untergründen. Die Prüfung liefert mit kleinem Aufwand eine gute und zuverlässige Aussage.

Die Reparaturkosten für die Prüfstellen müssen beachtet werden. Vor der Durchführung der Gitterschnittprüfung sollte die Schichtdicke der Beschichtung gemessen werden.

Die Gitterschnittprüfung liefert keine quantitative Aussage über die Haftfestigkeit einer Beschichtung. Diese kann mit der Abreissprüfung (→ S. 76) (Haftzugprüfung) nach ISO/DIN 4624 gemessen werden.

Aussehen der Oberfläche im Bereich des Gitterschnittes, an der Abplatzen aufgetreten ist (Beispiel für je 6 Schnitte)	
Gt 0 Die Schnittländer sind vollkommen glatt; keines der Quadrate des Gitters ist abgeplatzt.	—
Gt 1 An den Schnittpunkten der Gitterlinien sind Splitter der Beschichtung abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche nicht wesentlich grösser als 5% der Gitterschnittfläche.	
Gt 2 Die Beschichtung ist längs der Schnittländer und/oder an den Schnittpunkten der Gitterlinien abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche deutlich grösser als 5%, aber nicht wesentlich grösser als 15% der Gitterschnittfläche.	
Gt 3 Die Beschichtung ist längs der Schnittländer teilweise oder ganz in breiten Streifen abgeplatzt, und/oder einige Quadrate sind ganz oder teilweise abgeplatzt. Eine Gitterschnittfläche, die deutlich grösser als 15%, aber nicht wesentlich grösser als 35% ist, ist betroffen.	
Gt 4 Die Beschichtung ist längs der Schnittländer in breiten Streifen abgeplatzt, und/oder einige Quadrate sind ganz oder teilweise abgeplatzt. Eine Gitterschnittfläche, die deutlich grösser als 35%, aber nicht wesentlich grösser als 65% ist, ist betroffen.	
Gt 5 Jedes Abplatzen, das nicht mehr als Gt 4 eingestuft werden kann.	—

Vergleichstabellen nach SN EN ISO 2409 für Beurteilung Güte der Haftung:
Gitterschnitt-Kennwerte und Beschreibung.

Literatur

1. SZS: SN 555001, B3 Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen, Korrosionsschutz durch Beschichtungen und Überzüge, Herausgegeben von der TK-SZS, 1993.
2. SN EN ISO 2409: Lacke und Anstrichstoffe – Gitterschnittprüfung.

Farbeindringprüfung (Stahl)

Allgemeine Informationen

- nicht normiert
- zerstörungsfrei
- Prüfung kann am Bauwerk selbst oder an Bauteilen bereits in der Werkstatt vorgenommen werden.

Anwendung

Das Verfahren wird zur Feststellung von Rissen in Stahlkonstruktionen angewandt. Es eignet sich auch zur periodischen Prüfung ermüdungsrissgefährdeter Bauteile alter Tragwerke. Die Anwendung erfolgt zweckmässigerweise selektiv an Orten, wo der Verdacht auf Rissbildung besteht (Schweissnähte, kritische Stellen an diesen; bei alten Konstruktionen: schlecht ausgebildete Anschlüsse, Verlaschungen, Trägeranschlüsse, Nietungen).

Zielgrössen

Ein allfälliger Riss wird optisch sichtbar gemacht.

Messprinzip

Eine niedrigviskose Flüssigkeit hat die Eigenschaft auch in feinste Risse einzudringen. Die zu prüfende Stelle wird mit einer entsprechenden, meist roten Farbe (auf alkoholischer Basis) bestrichen bzw. besprüht. Besteht ein Riss, so dringt der Farbstoff in den Riss ein. Anschliessend wird die Oberfläche mit einem (Farb-)Verdünner vollkommen gereinigt und danach eine hygroskopische, aufgeschlämmte, feinstpulvrige Kreide aufgetragen (meist im Sprayverfahren, auf Alkoholbasis). Ist ein Riss vorhanden, so saugt die Kreideschicht den im Riss vorhandenen roten Farbstoff auf und der Riss wird in der weissen Kreideschicht sichtbar.

Interpretation

Eine Interpretation ist nicht erforderlich, ein allfälliger Riss wird sichtbar.

Voraussetzung für ein zuverlässiges Prüfergebnis ist eine einwandfreie Vorreinigung des Prüfbereiches.

Eine Fehlinterpretation ist z.B. bei Walzüberlappungen, die aber von Auge eigentlich erkennbar sind, möglich.

Die Prüfung kann an der gleichen Stelle wiederholt werden.



Ausrüstung für Farbeindringprüfung.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Die Prüfung kann von einem instruierten Fachmann alleine ausgeführt werden. Die Ausbildung kann an speziellen Kursen der Schweizerischen Vereins für Schweisstechnik, Basel, absolviert werden. Für die Prüfung bestimmter Bauteile (Druckbehälter, Komponenten von Kernanlagen etc.) muss sich der Prüfer über eine Lizenz ausweisen.

Die Materialien für die Prüfung: hochviskose, meist rote Farbe auf Alkoholbasis, Pinsel, Wischlappen zur Reinigung, Reinigungsmittel (Verdüner), pulverige, aufgeschlämmte Kreide (häufig Spray) sind relativ billig. Durchführung der Prüfung vgl. Messprinzip.

Die Prüfung kann nur bei absolut trockener Witterung durchgeführt werden. Nach Regen müssen die Prüfbereiche vorgewärmt und getrocknet werden (Vorsicht, dass bei Verwendung einer leichten Flamme ein allfälliger Korrosionsschutz nicht beschädigt wird).

Für die Protokollierung werden Fotos empfohlen.

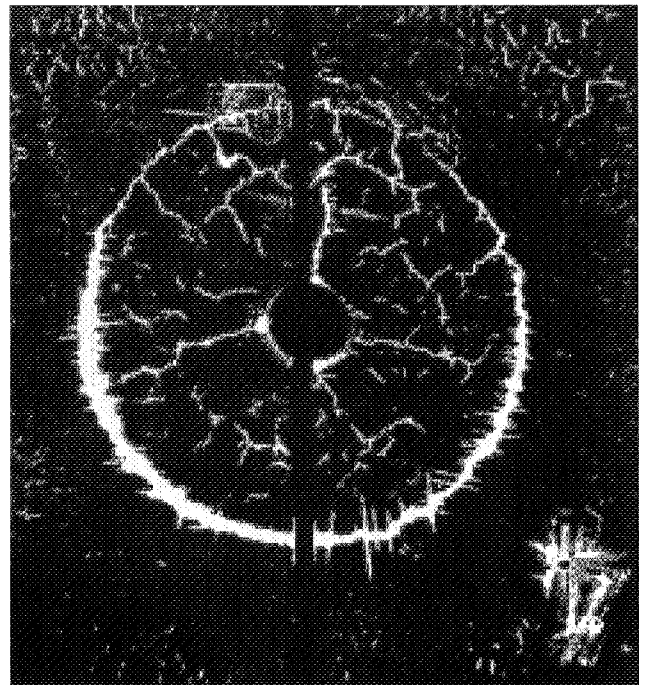
Die Kosten für die eigentliche Prüfung sind gering, für allenfalls erforderliche Gerüstungen sind sie objektabhängig.

Beurteilung

Die Farbeindringprüfung ist eine zweckmässige und effiziente Prüfung zur Feststellung von Rissen in Stahlkonstruktionen. Ein allfälliger Riss wird optisch erkennbar. Allerfeinste Risse ($\leq 2 - 3 \mu\text{m}$) und u.U. Walzfehler feinsten Art können nicht festgestellt werden. Als begleitende oder Folgeprüfungen kommen die Magnetflussprüfung sowie die Prüfung mit Ultraschall oder Röntgen in Frage. Das Nutzen/Aufwand-Verhältnis der Farbeindringprüfung ist sehr gut.



Farbeindringprüfung am Objekt.



Mit der Farbeindringprüfung sichtbar gemachte Risse an einem Werkstück.

Literatur

1. ISO: ISO 4987, Stahlguss; Farbeindringprüfung, 1992.
2. ISO: ISO 9916, Gussstücke aus Aluminium- und Magnesiumlegierungen; Farbeindringprüfung, 1991.

Boden- und Felsanker

Grundlagen

Die Projektierung und Ausführung von permanenten Ankern ist erstmals 1977 in der Norm SIA 191 «Boden- und Felsanker» geregelt worden. 1993 hat das ASTRA (damals ASB) «Richtlinien für permanente Boden- und Felsanker» herausgegeben. Seit 1995 gilt für vorgespannte Anker E SIA V 191 «Vorgespannte Boden- und Felsanker». 1999 hat das ASTRA die Richtlinie «Boden- und Felsanker» publiziert, welche – wie schon die Richtlinie von 1993 – die Zustandserfassung und -beurteilung von Ankern älterer Bauart behandelt. Die Projektierung und Ausführung von ungespannten Ankern (Nägel) wurden 1995 im Merkblatt SIA 2010 geregelt. Es wird im Jahr 2000 durch SIA 191/1 «Ungespannte Boden- und Felsanker (Nägel) mit Vollverbund» ersetzt. Die nachfolgenden Hinweise gelten primär für vorgespannte Anker.

Ausgangslage

Konstruktion und Überprüfbarkeit von permanenten Boden- und Felsankern sind stark abhängig vom eingesetzten Produkt. Bis zum Inkrafttreten der Norm SIA 191 (1977) wurden sehr viele verschiedene Ankersysteme eingesetzt.

Zusätzlich erschwerend für die Beurteilung eines bestehenden Ankers ist der Umstand, dass die Qualität eines Ankers stark von der Sorgfalt bei der Erstellung abhängt. Die Erstellung erfolgt aber nicht durch die Lieferfirma, sondern in der Regel durch eine Bohrunternehmung. Teilweise übernimmt diese sogar die Spannarbeiten. Die Bohrunternehmung, die in der Regel den Ankerlieferanten wählt, arbeitet in den meisten Fällen als Unterakkordant eines Hauptunternehmers.

Um die Qualität der eingesetzten Anker zu gewährleisten, verlangt E SIA V 191 (1995) für jedes Ankersystem eine erstmalige Prüfung. Seit Juli 1998 erlaubt das ASTRA nur noch den Einsatz von Ankern, die diese erstmalige Prüfung bestanden haben.

Zustandserfassung und -beurteilung

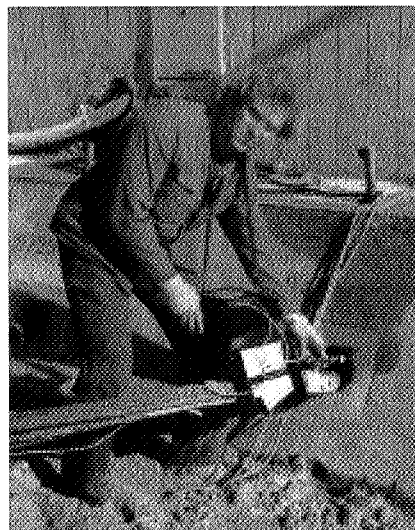
Permanente Anker bilden oft äusserst sicherheitsrelevante Bauelemente. Bei der Zustandserfassung und -beurteilung muss diesen deshalb hohe Priorität eingeräumt werden. Die Beurteilung bestehender Anker ist sehr schwierig, in vielen Fällen ist der Beizug spezialisierter Ingenieure erforderlich. Deformationsmessungen am Bauwerk, wie sie bereits die SIA 191 (1977) vorschrieb, können Aufschluss über Verhalten und Zustand einer Verankerung geben. Bei den ge-

Der Aufbau dieses Datenblattes weicht von der üblichen Strukturierung ab. Für die Zustandserfassung von permanenten Ankern besteht heute kein gesichertes Verfahren.

In Absprache mit verschiedenen Fachleuten und in Anbetracht der grossen Problematik, haben sich die Verfasser entschieden, das heute bekannte Wissen in einer etwas allgemeineren, von der üblichen Datenblattstruktur abweichenden Form wiederzugeben.



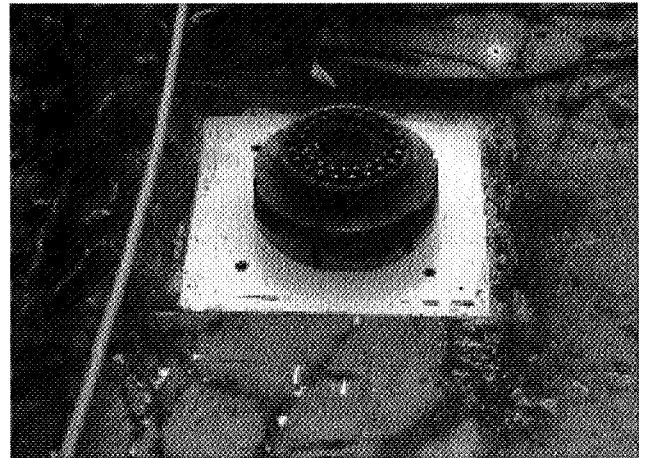
Kraftmessung mit Abhebeversuch.



Widerstandsmessung an einem permanenten Anker.

mäss der SIA 191 erstellten Verankerungen sind eine gewisse Anzahl Anker als Kontrollanker auszubilden, die auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft werden können (Abhebeversuch und Spannprobe). Die übrigen, nicht als Kontrollanker ausgerüsteten Anker, können in den meisten Fällen nicht näher überprüft werden, vielfach sind sie nicht einmal ohne weiteres zugänglich. Zur Beurteilung des Korrosionszustandes eines Ankers älterer Bauart stehen heute keine zuverlässigen Untersuchungstechniken zur Verfügung.

Trotz der grossen Schwierigkeiten können einige zusätzliche Hinweise für die Zustandserfassung von Ankern gegeben werden. Der Beizug spezialisierter Ingenieure wurde schon genannt. In einem ersten Schritt müssen möglichst genaue Unterlagen über den Aufbau der eingebauten Anker und über die Dimensionierungsannahmen beschafft werden. Die Unterscheidung zwischen Freispiel- und Vollverbundankern ist im Hinblick auf weitere Prüfungen wichtig. Die Angaben auf den Plänen müssen unbedingt vor Ort verifiziert werden. Angaben über Aufbau der Anker und verwendete Stahlqualität sind teilweise bei den Ankerlieferanten archiviert. Von dort können allenfalls auch in den Bauwerksunterlagen fehlende Spannprotokolle beschafft werden. Der Augenschein vor Ort kann weitere Hinweise über den Zustand der Anker geben. Wasseraustritte aus der Ankerkopfhaube, verrostete Hauben und Ankerköpfe lassen insbesondere zusammen mit weiteren Kenntnissen über den Ankeraufbau Rückschlüsse auf mögliche Mängel zu. Kraftmessung und Kontrolle der Deformationen des Bauwerkes sind in der SIA 191 vorgesehene Massnahmen. Nur bei Ankern, die gemäss E SIA V 191 (1995) umfassend korrosionsschutz ausgebildet sind, kann der Korrosionsschutz mit einer elektrischen Widerstandsmessung überprüft werden.



Freigelegter und gereinigter Ankerkopf.

Literatur

1. SIA: E SIA V 191, Vorgespannte Boden- und Felsanker, Zürich 1995.
2. SIA: Merkblatt 2010: Ungespannte Boden und Felsanker, 1995;
Ersatz durch: SIA: SIA 1991/1 «Ungespannte Boden- und Felsanker (Nägel) mit Vollverbund», 2000.
3. SIA: SIA-Dokumentation D 031 zur Tagung Korrosion und Korrosionsschutz, Teil 4, Anker und Spannkabel, Zürich, 1989.
4. ASTRA: Richtlinie Boden- und Felsanker, 1999.
5. Hunkeler F. et al.: Streustromschutzmassnahmen bei Boden- und Felsankern, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 33/34, 1987, S. 978 ff.
6. Steiger A. et al.: Permanentanker: Korrosionsschutz und Dauerhaftigkeit, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 33/34, 1987, S. 973 ff.

Holzbauteile (tragend)

Erhaltung von Holzbauteilen

Wie bei allen Bauwerken ist bei Bauteilen aus dem natürlichen Baustoff Holz zur Vorbereitung von Instandhaltungs-, Instandsetzungs- oder Erneuerungsmassnahmen eine möglichst zutreffende Zustandserfassung und -beurteilung durchzuführen. Holz weist im Vergleich mit den meisten anderen Baustoffen ein breiteres Spektrum von Eigenschaften auf. Ausserdem kann es unter speziellen Voraussetzungen biologisch abgebaut werden. Der biologische Abbau unterliegt verschiedenen Gesetzmässigkeiten. Dies erschwert die Zustandserfassung. In vielen Fällen ist deshalb ein erfahrener Fachmann beizuziehen. Der Einsatz von Hilfsmitteln (besondere Untersuchungstechniken) erfordert grosse Erfahrung, nicht zuletzt zur Vermeidung von Fehlinterpretationen.

Zielsetzung

Bei der Durchführung von Massnahmen an älteren Bauten sind meist auch Holzbauteile betroffen, die entweder Teil der Tragkonstruktion sind, als Raumtrennung eingesetzt werden, dekorativen Charakter haben oder gemischte Funktionen aufweisen. Je nach Art des Bauteils bzw. seiner Funktion(en) sind die Anforderungen an die Instandsetzung unterschiedlich. Aus naheliegenden Gründen sind Sicherheitsaspekte in erster Linie bei tragenden Bauteilen wichtig. Aus den verschiedenen üblichen Zielsetzungen (Kasten) ergeben sich unterschiedliche Anforderungen.

Zustandserhebung

Bei der Zustandserhebung von älteren Bauwerken aus Holz treten bestimmte Fragestellungen schwerpunktmässig auf, so beispielsweise der Befall durch Pilze und Insekten sowie die Materialqualität (aus wirtschaftlichen Gründen wurde auch früher oft möglichst billiges Material verwendet).

Für die Beurteilung gerade dieser Fragen ist Fachwissen und Erfahrung unabdingbar. Es ist deshalb in den meisten Fällen notwendig, einen Fachmann, z.B. einen Zimmermann, einen spezialisierten Ingenieur oder einen Holzschutzfachmann zu konsultieren. Der Entscheid über den Beizug von Spezialisten bei der Zustandserhebung ist möglichst frühzeitig zu fällen!

Der Aufbau dieses Datenblattes weicht von der üblichen Strukturierung ab. Da die Zustandserfassung und -beurteilung von Holzbauteilen meist den Zuzug eines Fachmannes erfordert und der Einsatz von Untersuchungstechniken ebenfalls meist nur durch den Fachmann sinnvoll ist, haben sich die Verfasser in Absprache mit den zuständigen Fachstellen zu dieser von der üblichen Datenblattstruktur abweichenden Darstellung der wichtigsten Informationen entschlossen.

Erkennen und Beheben von Mängeln und Schäden:

- Undichtigkeiten
- Korrosion
- Befall durch Pilze und Insekten
- Abnutzung und mechanische Schäden
- Tragkonstruktion zu schwach (von Anfang an oder durch spätere Modifikationen)
- Veränderungen durch hohe dynamische Belastungen (insbesondere im Brückenbau: Verschiebungen von Bauteilen, mechanische Zerstörung durch Überbeanspruchung)

Geänderte Ansprüche, Nutzungsänderungen

- Bauphysikalisch (Isolation)
- Raumaufteilung
- Innenausbau
- Höhere Lasten

Mögliche Zielsetzung bei der Instandsetzung von Holzbauteilen.

Untersuchungen

Die Untersuchung des Zustandes alter Holzbau- teile erfolgt meist als visuelle Beurteilung, techni- sche Geräte gelangen kaum zum Einsatz. Oftmals ist die visuelle Beurteilung erschwert durch be- schränkte Zugänglichkeit (z.B. Balkenlagen zwis- chen einem Bodenbelag und einer Deckenver- kleidung, die nicht beschädigt werden sollten). Die in den Kästen aufgelisteten Untersuchungen mit ergänzenden Hinweisen können als Check- liste für das Vorgehen bei der Zustandserhebung dienen. Die Liste kann naheliegenderweise nie vollständig sein. Die Reihenfolge ist auch kein Hinweis auf die Priorität, jedes Objekt verlangt ein spezifisches, geplantes Vorgehen.

Holzfeuchte

Messung i.a. mit elektrischem Holzfeuchte- messgerät. Wichtig ist es, die feuchtigkeitskriti- schen Stellen zu kennen (z.B. Balkenköpfe in durchlässigem Mauerwerk, in Bereichen von Dachundichtigkeiten, im Auflagerbereich von Brücken, Spritzwasserbereich etc.).

Abbau durch Pilze

Günstige Lebensbedingungen:

- Holzfeuchte über 20 %
- Temperatur zwischen 5° und 35° C

Feststellung visuell, Geruch, weiche Stellen, Fruchtkörper, Sondierung mit Bohrer

Befall durch Insekten

Günstige Lebensbedingungen:

- Holzfeuchte über 10 %
- Temperatur zwischen 10° und 40° C

Feststellen von Ausflugslöchern, Bohrmehl

Mechanische Schädigungen

Beobachtung von Rissen (nicht Schwindrisse), Stauchungen, Quetschungen

Schädigung von Verbindungsmitteln

Korrosion, Überbeanspruchung, Abnutzung

Verformungsbedingte Beeinträchtigung

insbesondere bei Auflagern und Verbindungen

Ermittlung des Erhaltungszustandes.

Holzqualität

(Astigkeit, Schrägfaserigkeit, Dichte etc.)

Als Hilfsmittel können die in der SIA-Norm 164, Holzbau (Lit. 1) angegebenen Kriterien für die Festigkeitssortierung von Holz verwendet wer- den.

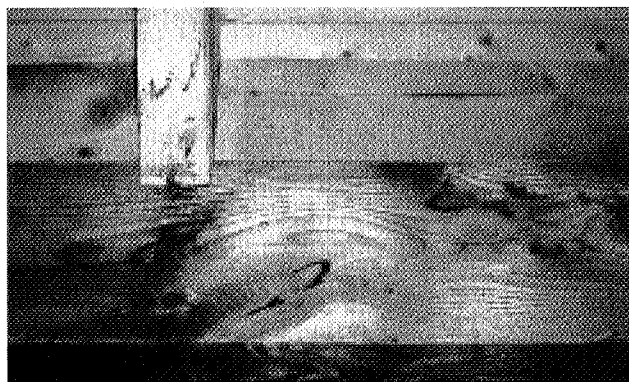
Schnittart

(mit/ohne Splint, mit/ohne Mark, Baumkante etc.)

Material und Vergütung von Verbindungsmitteln

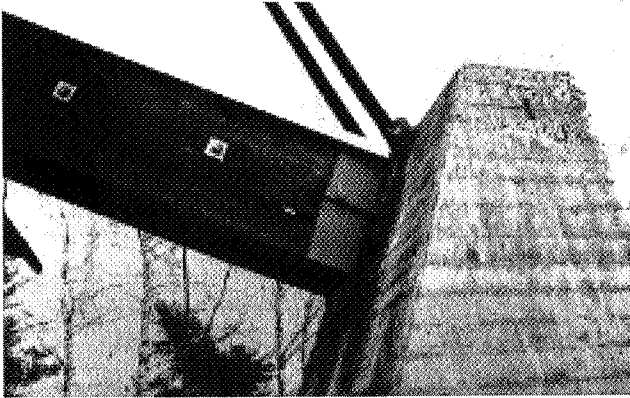
Vorhandensein und Qualität eventueller Holzbehandlungen

Ermittlung der Art und Qualität der Materialien (Aus- gangsqualität).

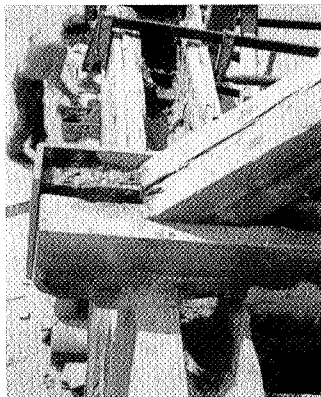


Die Beurteilung der Holzqualität erfordert grosse Fach- kenntnis. Die Pfette auf dem Bild weist ein unzulässiges Mass an Strukturstörungen auf (Faserabweichungen, Äste, Überwallungen).

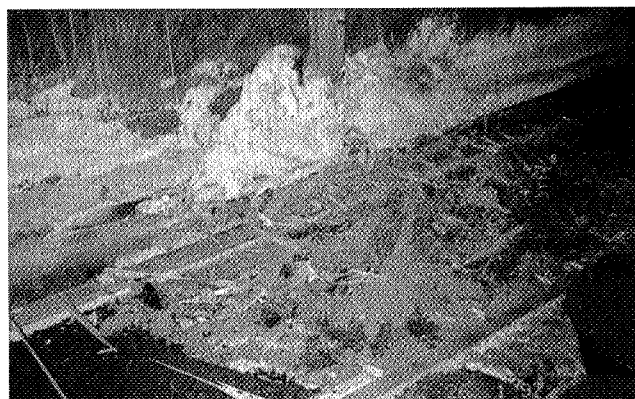
Fortsetzung auf der nächsten Doppelseite.



Die Resttragfähigkeit dieses Brettschichtträgers ist durch Kernfäule (Moderfäuleerreger «Fungi imperfecti») reduziert. Deren Ausmass ist schwierig festzustellen. Im vorliegenden Fall wurde die Ausdehnung durch Bohrungen mit einem dünnen, langen Bohrer näherungsweise ermittelt.



Durch Kernfäule geschädigter Zuggurt einer Brücke.



Befall durch den echten Hausschwamm (*Serpula lacrimans*). Dieser sehr gefährliche Pilz kann sich sehr rasch und weiträumig ausdehnen, er kann zum Einsturz von Holzkonstruktionen führen. (Verdacht bei folgenden Voraussetzungen: Dunkelheit, Wärme, kein Durchzug, Feuchtigkeit; Anzeichen: watteartiger Luftmycel, Strangmycel, Verlust der Festigkeit, Würfelbruch, Volumenverkleinerung und Gewichtsverlust bis 70%; Beurteilung unbedingt durch Fachperson; Achtung: Verschleppungsgefahr!)

Art des Tragwerkes, statisches System

Meist einfache Stabsysteme, aber auch komplizierte Systeme zusammenwirkend mit anderen Tragsystemen (z.B. Wänden).

Änderung des ursprünglichen Tragsystems

Infolge der leichten Bearbeitbarkeit werden aus Nutzungsgründen gelegentlich sehr ungünstige Veränderungen am Tragwerk vorgenommen.

Querschnittsabmessungen

Inkl. Querschnittsschwächungen, Einschnitte, Bohrungen.

Art der Anschlüsse, Verbindungen und Auflager

Auch Bearbeitungsgenauigkeit von kraftübertragenden Kontaktflächen.

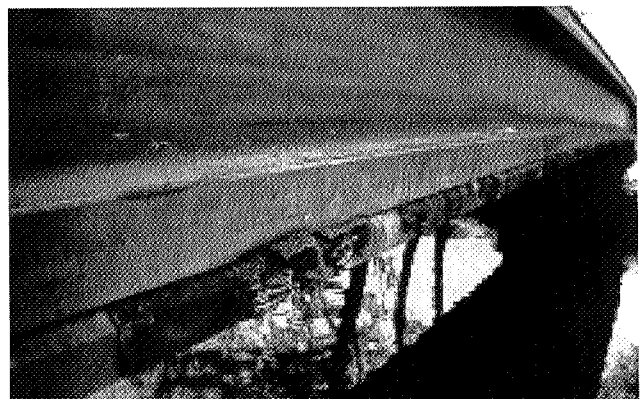
Verformungen

Infolge Trocknung, hoher Lasten, Kriechverformungen bei Biegebeanspruchungen etc.

Verschiebungen

Insbesondere bei Setzungen, mangelnder Gesamtaussteifung von Gebäuden oder dynamischen Belastungen (Brücken).

Ermittlung geometrischer Grössen.



Ein Befall durch holzerstörende Pilze (infolge unzweckmässiger Konstruktion) ist selten so offensichtlich wie bei dieser Brücke. Versteckte Mängel und Schäden sind naheliegenderweise wesentlich heikler.



Verformungsmessungen sind ein Mittel, nicht nur um die Dimensionierung, sondern auch um den Erhaltungszustand eines Tragwerkes zu überprüfen. Derart aufwendige Belastungsprüfungen sind allerdings nur in Ausnahmefällen möglich.

Undichtigkeiten

Eindringen von tropfbarem Wasser (Dach, Wände, Fenster, Abdeckungen etc.)

Kapillare Feuchtigkeit

i.a. in Wänden mit hoher Kapillarporosität, z.B. Bruchsteinmauerwerk.

Kondenswasser

Bauphysikalische Probleme.

Konstruktive Mängel

Auch durch nachträgliche Modifikationen.

Nutzungsänderungen

Höhere Lasten, Innenfeuchte, Temperaturverhältnisse etc.

Mikroklima

Beschattung, Bewuchs.

Überbeanspruchung

Insbesondere auch mechanische Ursachen, z.B. höhere Verkehrslasten und -intensität bei Brücken.

Ermittlung der Ursachen von Veränderungen und Schäden.

Literatur

1. SIA: SIA 164, Holzbau; Zürich, 1981/92.
2. Dzierzon M., Zull J.: Altbauten zerstörungssarm untersuchen, Bauaufnahme, Holzuntersuchung, Mauerfeuchtigkeit; R. Müller, Köln, 1990.
3. Mönck W.: Schäden an Holzkonstruktionen, Analyse und Behebung; VEB Verlag für Bauwesen, Berlin-München, 1987/97.
4. Kolbitsch A.: Altbaukonstruktionen, Charakteristika, Rechenwerte, Sanierungsansätze; Springer-Verlag, Wien, 1989.
5. Dartsch B.: Bauen heute in alter Substanz; Rudolf Müller, Köln, 1990.
6. Schulze H.: Zur Tragfähigkeit alter Holzkonstruktionen; Bautechnik 76, 1999, Heft 11, p. 103ff.

Informationsquellen:

EMPA, Eidgenössische Materialprüfungsanstalt Dübendorf, Abteilung Holz

Lignum, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz, Zürich

Persönliche Notizen:

3 Strassen

Strassen, Definition und Abgrenzung	109
3.1 Untersuchungsmethodik für Strassen	110
3.2 Übersicht über Untersuchungstechniken	115
3.3 Datenblätter zu Untersuchungstechniken	119

Hinweis

Weitere Informationen zur Untersuchung von Ingenieurbauwerken an Strassen (Stützmauern, Brücken etc.) finden Sie im Kapitel 2, Ingenieurbauwerke.

Persönliche Notizen:

Strassen, Definition und Abgrenzung

Der Begriff «Strasse» wird im Rahmen dieses Handbuches für den Oberbau von Verkehrsflächen verwendet. Spezialbauten, wie auch die elektromechanische Ausrüstung sind unter den Begriff der Ingenieurbauwerke eingeordnet. Strassen bilden ausgedehnte, zu Netzen verbundene Linienbauwerke. Bei ihrer Realisierung sind meist weniger Beteiligte involviert als bei Ingenieurbauwerken. Die Projektierung und Ausführung richtet sich nach den Normen der VSS sowie ergänzender Richtlinien der verschiedenen Bauherren. Der Normierungs- und Standardisierungsgrad ist hoch. Bei starkem Verkehr sind besonders die Strassenoberflächen einem hohen Verschleiss ausgesetzt. Deren Lebensdauer ist deshalb kürzer als diejenige von Ingenieurbauwerken. Für Betrieb und Erhaltung ist in der Regel ein klar definierter Eigentümer bzw. Betreiber verantwortlich. Für die Untersuchung ist der Strassenoberbau und insbesondere die Strassenoberfläche relativ gut zugänglich. Charakteristisch ist, dass bei der Untersuchung in den meisten Fällen die Vermeidung einer Beeinträchtigung des Verkehrs eine prioritäre Randbedingung darstellt.

3.1 Untersuchungsmethodik für Strassen

Einleitung

Wenn sich auch im Strassenbau die Untersuchungsmethodik nicht grundsätzlich von der Vorgehensweise bei anderen Sparten des Ingenieurwesens unterscheidet – d.h. dass auch im Strassenbau die Schadenanalyse einerseits die Diagnose (Gegenüberstellung von Symptomen oder Schadenbildern und Anlagemängeln) und andererseits die Festlegung der eigentlichen Therapie, also die Wahl der geeigneten Erhaltungsmassnahmen, umfasst – so bestehen doch einige wesentliche Unterschiede, die hervorgehoben werden sollen.

In der Einleitung zu diesem Handbuch wird für das Alter der Bausubstanz des Hochbaues ein Richtwert von 50 Jahren erwähnt. Im Vergleich dazu wäre die Bausubstanz im Strassenbau (mit einem Wiederbeschaffungswert von 150 bis 200 Milliarden Franken) eigentlich sehr jung und infolgedessen von der Notwendigkeit eines grossflächigen Erneuerungsbedarfes noch weit entfernt. Ein solcher Schluss würde die Tatsache verkennen, dass die im Strassenbau angewandten Dimensionierungskriterien sich grundlegend von denjenigen bei den übrigen Ingenieurbauwerken unterscheiden, und dass die anvisierten Zeiträume kürzer sind. Während im Hochbau mit der angestrebten Verhinderung eines Tragwerkversagens bereits günstige Voraussetzungen für eine hohe Lebensdauer geschaffen werden, wird im Strassenbau bei der Dimensionierung des Strassenoberbaues und insbesondere der Strassenoberfläche im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit mit einer Verschleisslimitierung gearbeitet. Da die Strassen durch die Nutzung einem hohen Verschleiss ausgesetzt sind, stehen Dimensionierungszeiträume von rund 20 Jahren im Vordergrund.

In Kenntnis dieser Unterschiede kommt man zum richtigen Schluss, dass Strassennetze mit einer Altersstruktur von 20 bis 40 Jahren – was den tatsächlichen Verhältnissen sehr nahe kommen dürfte – einem erhöhten Instandsetzungs- und Erneuerungsbedarf unterliegen. Dies schliesst aber nicht aus, dass einerseits bereits vor Ablauf der angestrebten Gebrauchsdauer infolge auftretender Schäden Erhaltungsmassnahmen ergriffen werden müssen, dass es andererseits auch Strassen gibt, die je nach Verkehrsbelastung selbst nach 50 Jahren noch ihre Zweckbestimmung ohne wesentliche Erhaltungsmassnahmen erfüllen können.

Erhaltung

Die Gesamtheit aller Massnahmen an der Strassenverkehrsanlage zur Überwachung und Sicherstellung der Funktion als Betriebselement und Bauwerk.

Betrieblicher Unterhalt

Massnahmen zur Gewährleistung des sicheren Funktionierens aller Teile einer Strassenverkehrsanlage, wie Reinigungs-, Kontroll-, Pflegearbeiten, Winterdienst und kleinere Reparaturen (Sofortmassnahmen) zur Funktionserhaltung.

Baulicher Unterhalt

Instandsetzung und Verstärkung

– Instandsetzung:

Periodisch wiederkehrende, umfassende Massnahmen zur Gewährleistung des ursprünglichen Soll-Zustandes, wie grössere zusammenhängende Reparaturen.

– Verstärkung:

Massnahmen zur Gewährleistung des erforderlichen Soll-Zustandes, wie Erhöhen der Tragfähigkeit der Strasse, Verstärken von Kunstbauten und Nebenanlagen

Erneuerung

Wiederherstellung durch Ersatz einer Teilstrecke oder eines Teils einer Strassenverkehrsanlage, sofern mit der Verstärkung der erforderliche Soll-Zustand insgesamt oder in wesentlichen Teilen nicht erreicht werden kann.

Begriffe der Erhaltung gemäss VSS: SN 640 900, Management der Strassenerhaltung.

Mit der fortschreitenden Fertigstellung des Nationalstrassennetzes nimmt die Ausrichtung des Strassenbaues auf den Neubau ab. Gleichzeitig haben die ältesten Abschnitte des Nationalstrassennetzes die Grenze der Gebrauchsdauer erreicht. Dies äussert sich in vermehrt auftretenden Unterhalts- und Erneuerungsproblemen, was im Strassenbau zu einer zunehmenden Beachtung der Aspekte der Erhaltung geführt hat.

Erhaltungsmassnahmen müssen ohne oder mit einer minimalen Beeinträchtigung des Verkehrs abgewickelt werden. Verkehrsbeeinträchtigungen verursachen vor allem bei hohem Verkehrsaufkommen grosse volkswirtschaftliche Verluste. Die Vorbereitung und Durchführung von Erhaltungsmassnahmen stellen aufgrund dieser Randbedingungen hohe Anforderungen an die Planer und Ausführenden.

Damit die Investitionen im Strassenbau nicht verloren gehen, müssen die für die Erhaltung erforderlichen Mittel zeitgerecht eingeplant und bereitgestellt werden. Die Gesamtheit dieser Tätigkeiten ist unter dem Begriff des «Managements der Strassenerhaltung» zusammengefasst. Seit 1989 sind innerhalb der Normensammlung der VSS verschiedene Normen zu diesem Themenkreis erschienen.

Mehrstufiges Vorgehen

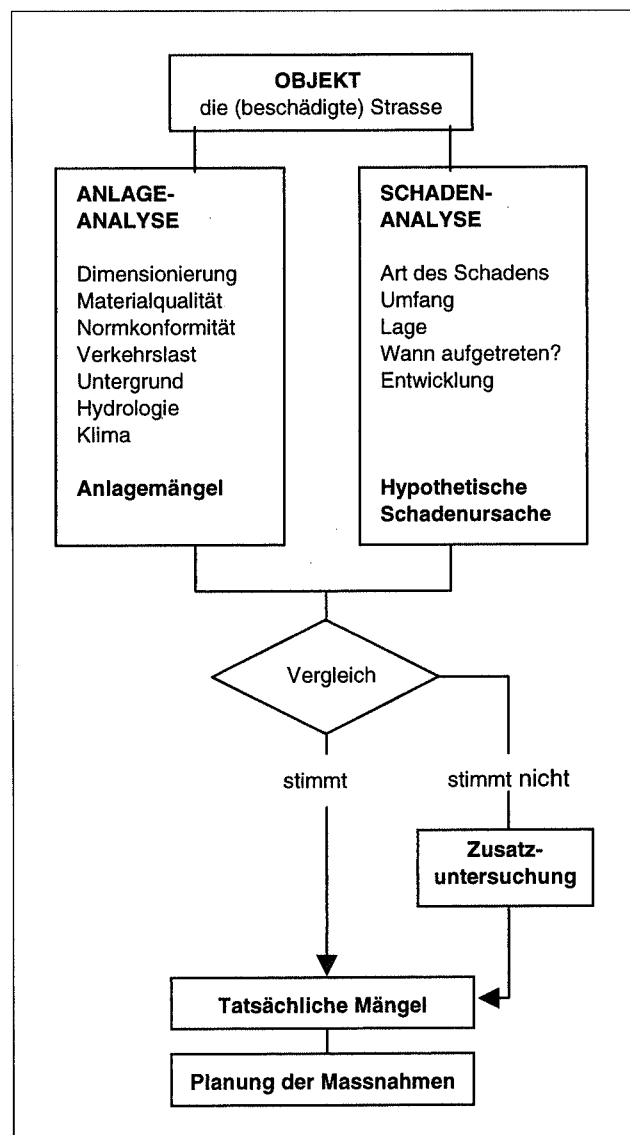
Zustandserfassung und Schadenanalyse

Der Anwendung von Untersuchungstechniken kommt nach den Grundsätzen des Managements der Strassenerhaltung eine zentrale Bedeutung zu. Die Ergebnisse der laufenden und systematischen Überwachung sind nebst den Meldungen über festgestellte Mängel die Grundlagen für die Schadenanalyse. Für die Schadenanalyse werden, sofern erforderlich, Zusatzuntersuchungen durchgeführt. Für die systematische Zustandserfassung (gleichbedeutend mit Überwachung/Inspektion in anderen Bereichen des Bauwesens) kommen je nach Zielsetzung die nachfolgenden Vorgehensweisen zur Anwendung:

Als Hilfsmittel für die mittelfristige Gesamtplanung von Erhaltungsmassnahmen wird auf der Ebene eines Strassennetzes in regelmässigen Abständen eine Zustandsaufnahme durchgeführt. Die Intervalle zwischen den Aufnahmen und der Untersuchungsumfang richten sich nach der funktionellen Hierarchie der Strasse. Mögliche Erhebungswerte sind: die Ebenheit im Längs- und Querprofil, die Griffigkeit und die Oberflächenschäden (Grobaufnahme).

Die Daten der periodischen Zustandserfassung werden mit Hilfe umfassender Datenbankprogramme (z.B. Strada DB) für das Erhaltungs- und Betriebsmanagement eingesetzt.

Als Hilfsmittel für die Planung einer einzelnen Erhaltungsmassnahme wird vor deren Ausführung ei-



Schadenanalyse.

ne Detailaufnahme der Oberflächenschäden durchgeführt. Diese Aufnahme bildet den eigentlichen Einstieg in die Schadenanalyse. Aufgrund der Schadenanalyse, basierend auf einer ersten Untersuchungsstufe, werden gezielt zusätzliche Untersuchungen veranlasst, die zur Feststellung des Gesamtausmasses der Mängel und deren Ursachen erforderlich sind. Bei diesen Zusatzuntersuchungen handelt es sich im wesentlichen um Laboruntersuchungen an Bohrkernen aus dem Belag sowie um Tragfähigkeitsmessungen. Detaillierte Angaben zu den Untersuchungen an Belägen sind in der VSS-Normengruppe «Erhaltung von Fahrbahnen» (Lit. 2) enthalten.

In den nachfolgenden Übersichtstabellen liegt der Hauptakzent auf der Erhebung der Oberflächeneigenschaften der Verkehrsflächen. Dazu kommen ausnahmslos zerstörungsfreie Untersuchungstechniken zur Anwendung. Sind für die Ermittlung der Ursache eines festgestellten Mangels zusätzliche Kenntnisse etwa über die Materialeigenschaften, den Schichtverbund, den Schichtverlauf etc. erforderlich, müssen entsprechende Zusatzuntersuchungen im Feld und/oder Labor veranlasst werden. Neben der Entnahme von Bohrkernen kommt in speziellen Fällen auch das Öffnen von Sondierschlitzten oder das Herausschneiden grösserer Probestücke aus dem Belag in Frage.

Zusätzlich zur Palette der normierten Materialprüfungen (VSS-Normensammlung Band VIII) können je nach Ausgangslage auch weitere, nicht normierte Untersuchungsmethoden zur Anwendung kommen. Dabei sei darauf hingewiesen, dass mit der zunehmenden Verwendung von modifizierten bituminösen Bindemitteln gewisse in der Chemie übliche Untersuchungsmethoden (Gaschromatographie, IR-Spektralanalyse etc.) auch im Strassenbaulabor vermehrt Anwendung finden werden.

Das umfangreiche SHRP-Forschungsprogramm (Lit. 4) der USA hat anfangs der 90er Jahre verschiedene, sogenannte Performance-Prüfungen hervorgebracht. Verschiedene dieser Prüfungen (z.B. beschleunigte Alterung, Druckschwellversuch, Gyratorversuch) finden auch in der Schweiz im Zusammenhang mit der Evaluation und Prüfung von höchstbelasteten Belägen Anwendung.

Der Inhalt des Kapitels «Strassen» dieses Handbuches behandelt die Untersuchung des Strassenoberbaues, insbesondere der Strassenoberflächen. Hinweise für die Untersuchung von Einzelbauwerken und elektromechanischen Ausrüstungen sind im Kapitel «Ingenieurbauwerke» abgehandelt. Aus dem Blickwinkel des Managements der Strassenerhaltung ist die Notwendigkeit der periodischen Überwachung dieser Anlageteile hervorzuheben. Auch die weiteren Ausrüstungsteile wie z.B. Leitplanken, Lärmschutzwände, vertikale und horizontale Signalisation etc. müssen überwacht und unterhalten werden.

Teilelemente der Strassenanlage.

Literatur

1. VSS: SN 640 900: Management der Strassenerhaltung, VSS, 1989, Zürich.
2. VSS: «Unterhalt»; VSS Normensammlung Band V.
3. VSS: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées (Studie über Methoden zur Erfassung des Strassenzustandes); VSS-Forschungsbericht 166, 1988.
4. SHRP: Verschiedene Forschungsberichte zu Ergebnissen der SHRP-Projekte (USA).
5. AIPCR: Inventaire des appareils de mesure des caracteristiques de surface des chaussées, 1995.
6. FEHRL: Inventory of high-speed longitudinal and transverse road evenness measuring equipment in Europe, 1999.

Persönliche Notizen:

3.2 Übersicht über Untersuchungstechniken

Informationen für den Benutzer der Übersichtstabellen	116
Verzeichnis der Übersichtstabellen	
Strassenoberbau	117
(Fahrbahn aus Asphalt oder Beton)	

Der Inhalt des Kapitels «Strassen» dieses Handbuches behandelt die Untersuchung des Strassenoberbaues, insbesondere der Strassenoberflächen. Hinweise für die Untersuchung von Einzelbauwerken und elektromechanischen Ausrüstungen sind im Kapitel «Ingenieurbauwerke» abgehandelt. Aus dem Blickwinkel des Managements der Strassenerhaltung ist die Notwendigkeit der periodischen Überwachung dieser Anlageteile hervorzuheben. Auch die weiteren Ausrüstungsteile wie z.B. Leitplanken, Lärmschutzwände, vertikale und horizontale Signalisation etc. müssen überwacht und unterhalten werden.

Informationen für den Benützer der Übersichtstabellen

Die Tabellen geben eine Übersicht über die Untersuchungstechniken, die für die Untersuchung eines bestimmten Bauteiles oder Baustoffes zu Hilfe genommen werden können. Es wurde versucht, möglichst alle als praxistauglich eingestuften Untersuchungsmethoden zu berücksichtigen. In einzelnen Fällen werden aber auch Untersuchungstechniken aufgeführt, die nur beschränkt als praxistauglich beurteilt werden können. Aus den Tabellen ist zudem ersichtlich, ob und wo allenfalls weitere Angaben zu einer Untersuchungstechnik im Handbuch gefunden werden können.

Hinweis auf Datenblätter

Untersuchungstechniken, die im Teil «Datenblätter» noch eingehender beschrieben werden, sind in der Übersicht **unterstrichen**. Hinter der Untersuchungstechnik ist der Hinweis eingefügt (→), auf welcher Seite das Datenblatt zu finden ist.

Einfache Untersuchungstechniken

Untersuchungstechniken, die mit wenig Aufwand, oft schon im Rahmen einer ersten visuellen Untersuchung durch den Ingenieur selbst eingesetzt werden können, sind in der Übersicht durch **Fettdruck** hervorgehoben.

Laboruntersuchungen

Untersuchungen, die in der Regel im Labor und durch entsprechende Fachleute ausgeführt werden, sind in der Übersicht in **Kursivschrift** dargestellt. Diese Untersuchungen sind fast immer zerstörend, weil für die Laboruntersuchung in der Regel eine Probe aus dem Bauwerk entnommen werden muss.

Beschränkt praxistaugliche Untersuchungstechniken

Untersuchungstechniken, die in der Übersicht in **Klammern** gesetzt sind, werden als nur beschränkt praxistauglich eingestuft. Diese Untersuchungen sind in der Regel mit relativ grossem Aufwand verbunden, zudem ist die Interpretation der Resultate sehr anspruchsvoll. In speziellen Fällen können solche Untersuchungstechniken jedoch zu einer besseren Beurteilung beitragen.

Untersuchungsobjekt:

Strassenoberbau (Fahrbahn aus Asphalt oder Beton) ¹⁾

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Tragfähigkeit (Asphaltbelag)	Deflektionsmessung – Benkelmann-Balken ²⁾ – <u>Deflectographie</u> → S. 130 – <u>Fallgewichtsgesetz</u> → S. 132 – Lastplattenversuch	Lastplattenversuch auf tiefen Schichten des Oberbaues/Unterbaues [Sondierschlitz]
Tragfähigkeit und Auflageverhältnisse (Betonbelag)	Deflektionsmessung – <u>Fallgewichtsgesetz</u> → S. 132 – Lastplatten und Nivellement – <u>Collograph</u> → S. 128	Lastplattenversuch auf tiefen Schichten des Oberbaues/Unterbaues [Sondierschlitz]
Risse	Augenschein <u>ARAN</u> (inkl. Video) → S. 126 <u>Gerpho</u> (inkl. Film) → S. 126	Rissverlauf feststellen [Bohrkernentnahme]
Ebenheit quer ³⁾	4-m-Latte Planum <u>ARAN</u> → S. 124 <u>QPM</u> → S. 124	
Ebenheit längs ³⁾	<u>Goniograph</u> → S. 122 <u>Winkelmessgerät ISETH</u> → S. 122 <u>ARAN</u> → S. 126 <u>APL</u> → S. 122	
Griffigkeit ⁴⁾	Pendel Ausflussmesser <u>Skiddometer</u> → S. 134 <u>Collograph</u> → S. 128 <u>Gerpho</u> → S. 126	
Fugenschäden (Betonbeläge)	Augenschein <u>ARAN</u> → S. 126 <u>Collograph</u> → S. 128 <u>Gerpho</u> → S. 126	
Schichtaufbau	Georadar	Sondage [Bohrkern, Sondierschlitz]
Materialqualität ⁵⁾		Laborversuche nach SN-Normen (VSS), evtl. zusätzlich weitere Versuche [Bohrkernentnahme, Sondierschlitz, andere Probeentnahmen]
Strassenraum (Inventar)	<u>ARAN</u> → S. 126 <u>Videocar</u>	

¹⁾ SN 640 925a, Zustandserfassung und Bewertung von Strassen²⁾ SN 640 330, Deflektion³⁾ SN 640 520a/521b, Ebenheit, Prüfung der Geometrie bzw. Qualitätsanforderungen⁴⁾ SN 640 510b/511b, Griffigkeit, Messverfahren bzw. Bewertung⁵⁾ VSS-Normen, Band VIII, Baustoffe

Persönliche Notizen:

3.3 Datenblätter zu Untersuchungstechniken

Informationen für den Benutzer der Datenblätter	121
Verzeichnis der Datenblätter	
Längsebenheit	122
Querebenheit	124
Zustandsaufnahme visuell	126
Collographe LCPC	128
Deflectographe Lacroix	130
Fallgewichts-Deflektionsmessgerät	132
SRM 91, Stuttgarter Reibungsmesser	134

Verschiedene für die Untersuchung von Strassen eingesetzte Untersuchungstechniken sind in der Normensammlung der VSS eingehend beschrieben. Diese Normen sind weit verbreitet und deshalb leicht zugänglich. Im Rahmen der VSS Normen erläuterte Verfahren werden deshalb in diesem Handbuch nicht in einem Datenblatt beschrieben.

Persönliche Notizen:

Informationen für den Benutzer der Datenblätter

Die Datenblätter sind mit wenigen Ausnahmen nach dem gleichen Schema aufgebaut. Damit soll dem Benutzer die Suche nach der gewünschten Information möglichst erleichtert werden. Die Erläuterung der verwendeten Stichworte finden Sie nachfolgend auf dieser Seite. Diese dienen als grobe Richtschnur bei der Zusammenstellung der Angaben. *Die aufgeführten Informationen sind nicht als Gebrauchsanweisung für die Anwendung einer Untersuchungstechnik oder den Einsatz eines Gerätes gedacht.* Die Informationen können jedoch dem mit einer Bauwerksuntersuchung beauftragten Ingenieur helfen, die richtigen «Werkzeuge» zu finden. Bei Zuzug eines Spezialisten enthalten die Datenblätter soviel grundlegende Informationen, wie für den koordinierenden Ingenieur als Gesprächspartner des Spezialisten erforderlich ist.

Allgemeine Informationen

Ist das Verfahren normiert?
Zerstörungsfrei/zerstörend?
Prüfung am Bauwerk/im Labor

Anwendung

Baustoffe
Bauteile
Bauwerksarten

Zielgrößen

Über welche Zielgrößen werden Informationen gewonnen?
Sind dies direkt oder indirekte Informationen?
Sind die Informationen qualitativ oder quantitativ (Genauigkeit), punktförmig oder flächenhaft?

Messprinzip

Beschreibung des Messprinzips. Welches sind die Messresultate, welches die Einflussfaktoren?

Interpretation

Wie gelangt man vom Messresultat zur Zielgrösse?
Aufwand, Eindeutigkeit der Interpretation.
Gefahr einer Fehlinterpretation.
Reproduzierbarkeit, Streuung.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Ausrüstung, Geräte, Messequippe, Anforderungen an die Messequippe?
Wasser- bzw. Stromanschluss erforderlich?
Weitere Randbedingungen bezüglich Witterung, Zugänglichkeit etc.?

Beschreibung des Ablaufes (Vorbereitungsarbeiten, Geräteanwendung, Auswertung etc.) und allfälliger Betriebsstörungen.

Kosten (Größenordnung).

Beurteilung

Anwendungsbereich?
Leistungsgrenzen?
Zeitbedarf bis zum Vorliegen der Resultate?
Begleitende Prüfungen erforderlich?
Folgeuntersuchungen zur Präzisierung der Resultate?
Nutzen-/Aufwand-Verhältnis?

Literatur

Ergänzende Hinweise auf wichtigste weiterführende Literatur.

Längsebenheit

Allgemeine Informationen

Für die Messung der Längsebenheit stehen verschiedene Messgeräte im Einsatz, die nach Auswertung der Messdaten zu allen Längsebenheitskennwerten nach Lit. 1 führen:

- Goniograph (eingesetzt für Handmessungen)
- Winkelmessgerät ISETH (Fahrgeschwindigkeit ca. 30 km/h)
- Analyseur de Profil en Long, APL (Trägheitspendel, Fahrgeschwindigkeit 20 - 140 km/h)

Hauptunterschied der Messgeräte sind die Aufnahmegeschwindigkeit und das Messverfahren. Mit dem Goniograph und dem Winkelmessgerät ISETH werden die Winkeländerung zweier Messstrecken von je 1 m Länge gemessen, mit dem APL wird ein Längsebenheitsprofil aufgenommen.

Die Bewertung nach SN 640 520a ist eine der verschiedenen Auswertemöglichkeiten.

Anwendung

- Systematische Zustandserfassung ganzer Strassennetze
- Detailuntersuchung einzelner Abschnitte im Hinblick auf gezielte Erhaltungsmaßnahmen
- Vorbereitung (Bestimmung der Zonen, wo eine Aufschüttung notwendig ist) und Abnahme von Belageinbauten
- Messung der Fugenerhebungen auf Betonstrassen
- Messungen von Wellenlängen auf Flugpisten und Rollwegen (Wellenlängen bis 80 m können bei einer Aufnahmegeschwindigkeit von 140 km/h erfasst werden).

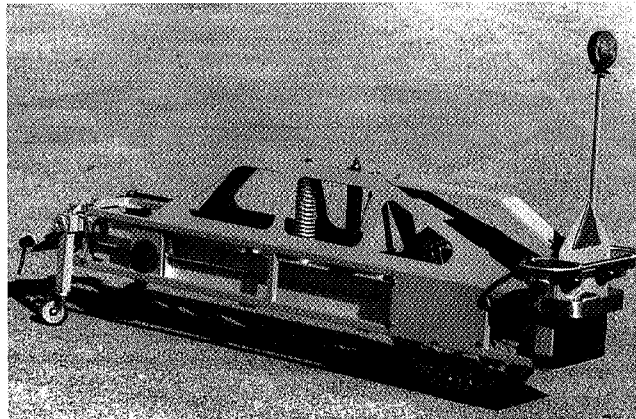
Zielgrößen

- Aufzeichnung des Längsunebenheitsprofils
- Längsebenheitskennwerte (W und Sw-Werte nach Lit. 1; Ebenheitsnoten LCPC; CP-, IRI- und QI-Werte).

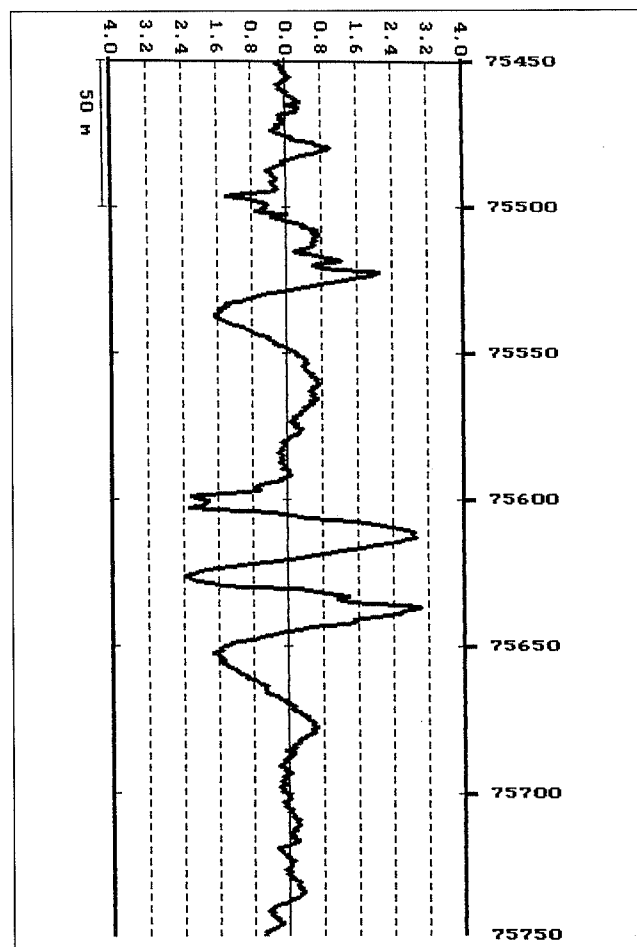
Messprinzip/Interpretation

Goniograph und Winkelmessgerät ISETH messen die Winkeländerung zwischen den zwei Basisstrecken von je 1 m Länge, die mit 3 Rollen auf der Fahrbahnoberfläche fahren.

Das APL-Messsystem basiert auf einem Trägheitspendel mit einer Frequenz-Bandbreite von 0.5 bis 20 Hz, das als pseudo-waagrechte Referenzebene dient. Die Unebenheiten werden kontinuierlich erfasst, indem der zwischen Messarm und Referenzpendel gemessene Winkel in ein elektronisches Signal umgewandelt wird. Das zum wahren Längsprofil direkt proportionale



APL-Messanhänger.



Messresultat: Längsebenheitsprofil.

Messsignal sowie ein präzises Distanzsignal (Impulsrad) werden laufend digitalisiert und gespeichert.

Das aufgezeichnete Längsprofil entspricht dem wahren Profil in einem Wellenlängenbereich der von der Messgeschwindigkeit abhängt (z.B. 0.5-20 m bei 35 km/h, 1-40 m bei 70 km/h, 2-80 m bei 140 km/h).

Alle Interpretationsmethoden, die auf einer Beurteilung des Unebenheitsprofils basieren, sind grundsätzlich anwendbar. Die Zahl der Auswertemethoden ist damit nicht begrenzt.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Der Einsatz des APL-Messsystems erfolgt mit einer Messequipe von 2 Mann. Die Aufnahme-geschwindigkeit wird im allgemeinen dem Verkehrsfluss angepasst. Es sind Messgeschwindigkeiten bis 140 km/h möglich. Bei Messungen auf Überholspuren oder innerorts ist bei grösserem Verkehrsaufkommen ein Sicherungsfahrzeug erforderlich.

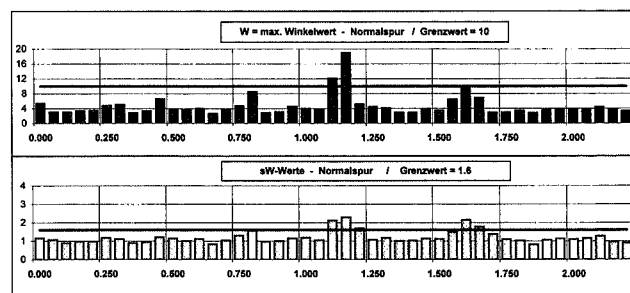
Die Rohmessdaten werden während der Messfahrt auf einem EDV-Datenträger abgespeichert und anschliessend im Büro ausgewertet (Bericht, Tabellen, Graphiken und Statistik). Eine erste Auswertung vor Ort ist möglich. Bei Bedarf kann das aufgezeichnete Profil in einem beliebigen Massstab dargestellt werden. Die Messergebnisse können aufgearbeitet auf eine elektronische Datenbank überspielt werden (z.B. Strada DB).

Kosten: je nach Einsatzart und Messumfang ca. Fr. 150.- bis 300.- pro Messkilometer exkl. An-/Rückfahrt, inkl. Auswertung.

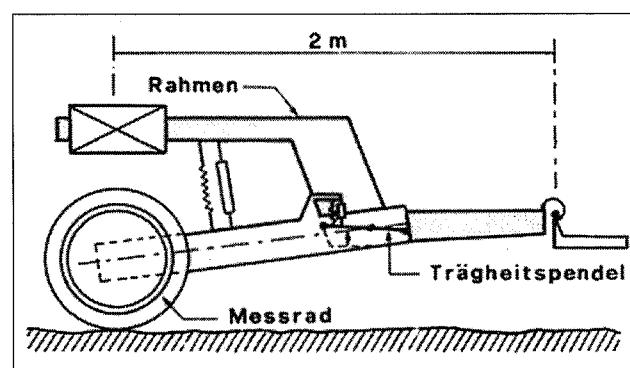
Beurteilung

Das APL-Messsystem ist ein schnelles und flexibles Aufnahmeverfahren zur systematischen bis detaillierten Untersuchung der Längsebenheit. Keine oder nur geringe Verkehrsbehinderung.

Für die Bearbeitung der Messergebnisse und die Ausarbeitung eines Berichtes ist mit einem Zeitaufwand von 1 bis 3 Tagen zu rechnen.



Auswerteresultat: Ebenheitsnoten.



Messprinzip APL.

Literatur

1. VSS: SN 640'520a, Ebenheit, Prüfung der Geometrie; 1977.
2. VSS: SN 640'521b, Ebenheit, Qualitätsanforderungen; 1995.
3. VSS: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées (Studie über Methoden zur Erfassung des Strassenzustandes); VSS-Forschungsbericht 166, 1988.
4. www.sacr.ch (Firmendokumentation).

Querebenheit

Allgemeine Informationen

Für die Messung der Querebenheit werden verschiedene Verfahren eingesetzt. Begrifflich wird gemäss Lit. 1 zwischen dem T-Wert, d.h. der Muldentiefe gemessen unter einer Verbindungslinie der höchsten Punkte innerhalb einer Messlänge von 4 m (Latte), und dem t-Wert, der Muldentiefe gemessen gegenüber einer horizontalen Latte (theoretische Wassertiefe), unterschieden.

Zur Messung der Querebenheit stehen verschiedene Hilfsmittel und Messgeräte zur Verfügung:

- 4-m-Latte (oder gespannte Schnur)
- Nivellier
- Planum (Handmessgerät mit Aufzeichnung auf Papierstreifen)
- ARAN (Messfahrzeug)
- Querprofilmessgerät QPM (Messfahrzeug)

Nachfolgend werden Angaben zu den leistungsstarken Messfahrzeugen ARAN und QPM gemacht.

Anwendung

- Systematische Zustanderfassung ganzer Strassennetze
- Detailuntersuchung einzelner Abschnitte im Hinblick auf gezielte Erhaltungsmaßnahmen
- Abnahme von Neubauten bzw. Erhaltungsmaßnahmen

Zielgrößen

- Aufzeichnung der Querebenheit (Spurrinnen)
- Aufzeichnung der geometrischen Daten (Quer- und Längsprofil)
- Spurrinnentiefe, Wassertiefe, Muldentiefe unter 4-m-Latte, Quer- und Längsneigung der Fahrbahn in periodischen Abständen von wenigen Metern (je nach Fahrgeschwindigkeit)

Messprinzip/Interpretation

ARAN:

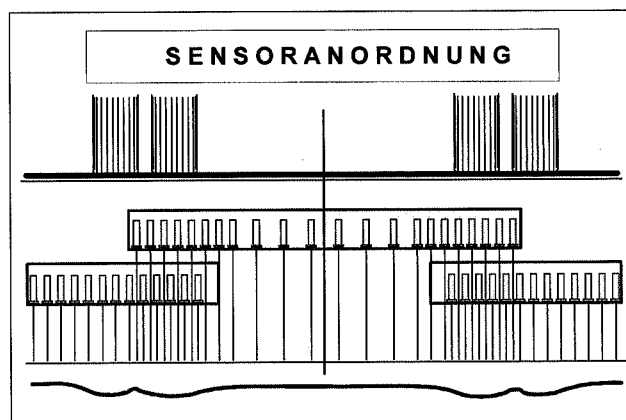
Die Querprofilmessung erfolgt mittels Ultraschallsensoren im Abstand von 100 mm, die an einem auf eine maximale Breite von 3.5 m ausziehbaren Balken befestigt sind. Die Bezugsbasis wird mit einem Kreissystem hergestellt.

Querprofilmessgerät QPM:

Das Querprofilmessgerät QPM bestimmt das Querprofil mit 48 Ultraschallsensoren, die an einem bis auf 3.8 m Breite ausziehbaren Messbalken befestigt sind. Die Bezugsbasis für die kontinuierliche Lagebestimmung stellt ein dreiaxiales Kreissystem her. Zusätzlich erfolgt eine Stützung mit einem digitalen geographischen Positioniersystem GPS.



Querprofilmessgerät QPM.

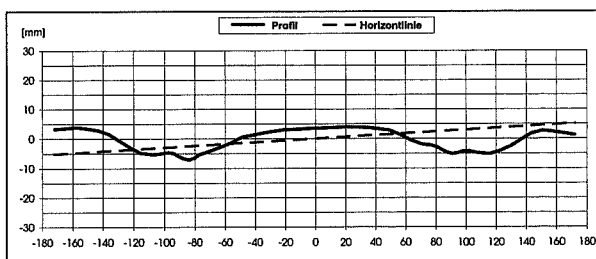


Sensoranordnung und Messprinzip QPM.

QPM-QUERPROFILE : BEISPIEL VON SPURRINNEN AUF AUTOBAHNEN

	Radspur :	links	rechts	
SPURRINNENTIEFE	(mm)	11	8	Maximale Profiltiefe unter der 4m - Latte $T^* = 12 \text{ mm}$
Rinnenbreite	(cm)	151	128	
Aufschüttungsmenge	(kg/m)	8	5	
WASSERTIEFE t^*	(mm)	9	7	Mittlere Querneigung des Profils (lineare Regression) $d = 0.3 \text{ ‰ rechts}$
Wasserspiegelbreite	(cm)	112	81	
Bezogene Wassermenge	(l/m)	4	3	

* (SN 640520 / SN 640521)



Auswertebeispiel QPM.

Die Aufnahmen lassen weitere Auswertungen (z.B. Bestimmung Zustandsindex I3, Kursdaten und Kurvenradien) sowie die Darstellung von einzelnen Querprofilen zu.

Arbeitsablauf

Die Messung erfolgt mit einer geschulten Equipe bei einer Fahrgeschwindigkeit bis ca. 80 km/h. Der gewünschte Abstand der Querprofile bestimmt die Fahrgeschwindigkeit.

Für Querprofilaufnahmen mit $b > 2.5$ m ist eine Sonderbewilligung notwendig (Überbreite).

Die Rohdaten werden während der Messfahrt aufgezeichnet und anschliessend im Büro ausgewertet und graphisch dargestellt.

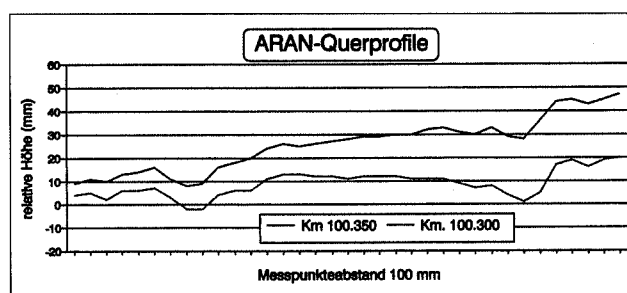
Kosten: 100.– bis 300.– Fr. pro Messkilometer je nach Profildichte und Auswertung exkl. An-/Rückfahrt, inkl. Auswertung.

Beurteilung

ARAN und QPM eignen sich zur raschen und effizienten Erfassung der Querprofile grösserer Streckenabschnitte. Die Daten können in einer Datenbank weiterverwendet werden.



ARAN.



Querprofil ARAN.

Literatur

1. VSS: SN 640 520a, Ebenheit, Prüfung der Geometrie; 1977.
2. VSS: SN 640 521b, Ebenheit, Qualitätsanforderungen; 1995.
3. Viagroup AG, Romanel-sur-Lausanne/Winterthur, Dokumentation.
4. www.sacr.ch (Firmendokumentation).

Zustandsaufnahme visuell

Allgemeine Informationen

Für die zerstörungsfreie Erfassung von Oberflächeneigenschaften der Fahrbahn unter Verkehr (bis ca. 100 km/h) stehen heute Messfahrzeuge zur Verfügung (ARAN: Automatic Road Analyser, Gerpho, Videocar). Diese eignen sich für die systematische Zustandserfassung und Bewertung (gemäss Lit. 1). Die Aufnahmesysteme unterscheiden sich bezüglich der erfassten Parameter.

Anwendung

- systematische Zustandserfassung ganzer Strassennetze
- Detailuntersuchung einzelner schadhafter Abschnitte im Hinblick auf notwendige Erhaltungsmassnahmen
- Einbaukontrolle (Ebenheit längs und quer, Querneigung) (nur ARAN)
- Kontrolle von Signalisation und Markierung (über Video bzw. Film)
- Inventarisierung von Ausrüstungsteilen (über Video)
- Kontinuierliche Video- bzw. Filmaufnahme der Strassen.

Zielgrössen

ARAN

Videoaufnahme, Längsebenheitskennwerte, Längsprofilaufzeichnung, Kennwerte der Ebenheit im Querprofil (Spurrinnen- und Wassertiefe), Querprofilaufzeichnung, Füllmengenberechnung, Quantifizierung der Oberflächenschäden nach Lit. 1, Geometrie der Fahrbahn (Längs-/Querneigung, Kurvenradius).

Gerpho

Filmaufnahme der Strassenoberfläche, Quantifizierung der Oberflächenschäden.

Videocar

Videoaufzeichnung, Inventarisierung Strassenraum, Bestimmung der Fahrspurbreiten.

Messprinzip/Interpretation

ARAN

Längsebenheit: Messung und Auswertung der Vertikalbeschleunigung auf der Hinterachse und dem Chassis, dadurch Profilaufzeichnung auch bei variabler Messgeschwindigkeit möglich.

Querebenheit: Distanzmessung mittels Ultraschallsensoren in seitlichem Abstand von je 100 mm.

Oberflächenschäden: manuelle Eingabe in Computertastatur mit Erfassung von Schadensschwere und -ausdehnung.

Neigungsverhältnisse: Messung über Kreisel-system. Distanz: Messung ab Tachowelle.

	ARAN	Gerpho	Videocar
Zustand visuell	Video	Film (35 mm)	–
Querebenheit	US-Sensoren	–	–
Längsebenheit	Beschleunigungssensoren	–	–
Signalisation Markierung	Video	–	Video
Strassenraum	Video	–	Video, Einzelbilder
Längenmessung	Kilometrierung ab Tachometer	–	Kilometrierung ab sep. Rad auf Strasse
Weiteres	Erfassung und direkte Eingabe von Schäden während der Fahrt manuell	–	Bestimmung Fahrspur- und Strassenbreite am digitalisierten Bild
Kosten inkl. Auswertung, exkl. An-/Rückfahrt	200.– bis 600.– Fr./km	100.– bis 200.– Fr./km	100.– bis 200.– Fr./km

ARAN, Gerpho, Videocar: Übersicht.



Messfahrzeug ARAN im Einsatz.

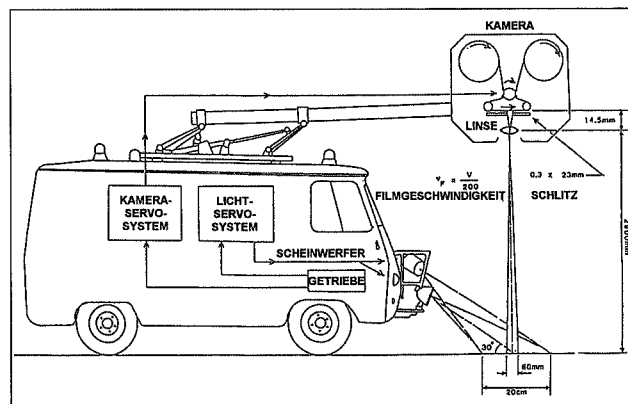
Anpassung der Messergebnisse und deren Interpretation an alle gängigen Normen. Die Querneigung ist definiert als die Neigung der Regressionsgeraden durch die einzelnen Profilpunkte.

Gerpho

Kontinuierliche Filmaufnahme der Strassenoberfläche, Auswertung erfolgt visuell auf Grossleinwand, Kilometrierungsmarken werden im Abstand von 20 m eingeblendet.

Videocar

Strassenraumaufzeichnung mit bis zu vier Videokameras. Die Bilder können in Datenbanken abgelegt werden. Zusätzlich zur Inventarisierung können die Fahrspurbreiten bestimmt werden.



Gerpho.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

ARAN

Einsatz mit einer geschulten Messequipe von 2 Mann. Für Querprofilaufnahmen auf einer Breite von > 2.5 m (bis max. 3.5 m) ist eine Sonderbewilligung erforderlich (Überbreite). Bei Einsatz mit Überbreite ist auf Strassen mit grösserem Verkehrsaufkommen zusätzlich ein Sicherungsfahrzeug erforderlich.

Die Rohmessdaten werden während der Messfahrt auf einem Datenträger abgespeichert und anschliessend im Büro ausgewertet (Bericht mit Tabellen, Graphiken und Statistik, Aufbereitung der Messergebnisse auf Diskette für Transfer auf Datenbank). Videoband mit eingeblendeter, laufender Stationierung und Ansicht von Fahrbahnoberfläche und Strassenraum.

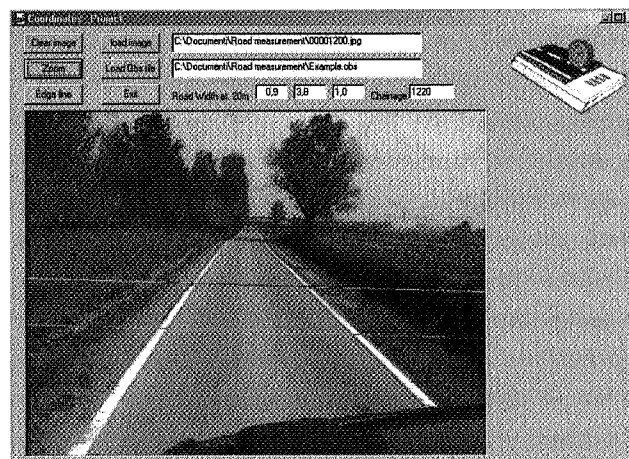
Gerpho

Aufnahme mit 2 Mann Equipe erfolgt nachts, damit bei vergleichbaren Bedingungen reproduzierbare Aufnahmen gemacht werden können.

Beurteilung

ARAN

Schnelles Aufnahmeverfahren für die systematische Zustandserfassung ohne bzw. mit geringer Verkehrsbehinderung. Für die Bearbeitung der Resultate und die Ausarbeitung des Berichtes ist



Videocar: Standbild mit Auswertung.

pro Messtag mit einem Aufwand von ein bis drei Tagen zu rechnen. Die Resultate sind für eine spätere Weiterbearbeitung auf elektronischen Datenträgern aufgezeichnet.

Gerpho

Seit Mitte der 80er Jahre eingesetzt für Zustandsaufnahmen und Bewertung der Oberfläche vor allem bei Autobahnen.

Videocar

Verfahren für Erzeugung von Datenbanken über den Strassenraum (Visualisierung am Arbeitsplatz).

Literatur

1. VSS: SN 640 925a: Zustandserfassung und Bewertung von Strassen; 1997.
2. VSS: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées (Studie über Methoden zur Erfassung des Strassenzustandes); VSS-Forschungsbericht 166, 1988.
3. Roadware Corporation Paris, Ontario, Produktinformation.
4. Viagroup AG, Romanel-sur-Lausanne/Winterthur: Dokumentation.
5. www.sacr.ch (Firmendokumentation).

Collographe LCPC

Allgemeine Informationen

Messgerät für die zerstörungsfreie Ermittlung der Auflagebedingungen und des Fugenzustandes von Betonstrassen sowie des Schichtverbundes auf Kunstbauten. Bei gutem und gleichmässigem Zustand der Belagsschicht können ebenfalls Zementstabilisierungen beurteilt werden (Erkennen von Schwachstellen).

Anwendung

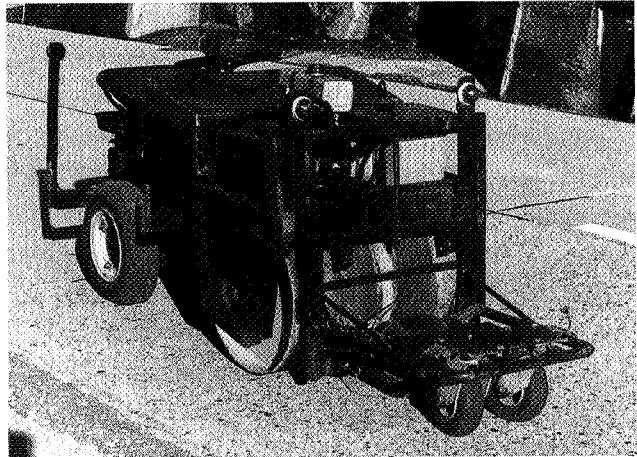
- Beschaffung von Grundlagen für die Zustandserfassung von Betonstrassen
- Beurteilung des Auflagezustandes (Hohlräume) von Betonplatten
- Beurteilung der Lastübertragung und der relativen Bewegungen im Fugenbereich
- Erkennen von Verbundmängeln auf Kunstbauten (Verbund zwischen Abdichtung und Belag)
- Zustandsbeurteilung von Zementstabilisierungen (Lokalisierung von Zonen mit geringer Tragfähigkeit).

Zielgrössen

Dynamische Deflektion der Strassenoberfläche als relativen Kennwert des untersuchten Objektes (die Messwerte können durch Eichung in absolute Werte umgerechnet werden).

Messprinzip/Interpretation

Das nach dem Prinzip einer Vibrowalze arbeitende Gerät erzeugt eine dynamische Deflektion mit einer Frequenz von 60 Hz. Um die Wirkung eines Zwillingsrades zu simulieren, ist der Mantel der Walze mit zwei Gummibandagen versehen. Die dynamische Deflektion wird durch vier Geophone, die in einem speziellen, mit Wasser gefüllten Rad montiert sind, aufgezeichnet. Das sogenannte hydrophonische Rad hat die Funktion eines Filters (Ausfiltern von Störsignalen, z.B. Verkehrsbelastung auf der benachbarten Fahrspur, Unebenheiten des gemessenen Belages). Das Messsignal wird nach einer weiteren Filterung auf Papier aufgezeichnet und/oder auf Magnetband gespeichert. Die Temperatur der Strassenoberfläche wird regelmässig gemessen. Bezugspunkte (z.B. Fugen, Risse, Kilometrierung etc.) werden ebenfalls aufgezeichnet. Die Interpretation besteht in einer Beurteilung des Verlaufes sowie der Amplitude des Messsignales.



Collographe LCPC.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Einsatz mit einer geschulten Equipe von 2 Mann. Die Messung erfolgt bei einer Geschwindigkeit von 3-4 km/h, die an den Obeflächenzustand angepasst wird. Je nach örtlichen Verhältnissen ist ein Sicherungsfahrzeug bzw. eine Fahrsteifensperrung (Linienführung mit kurzer Sichtweite) nötig.

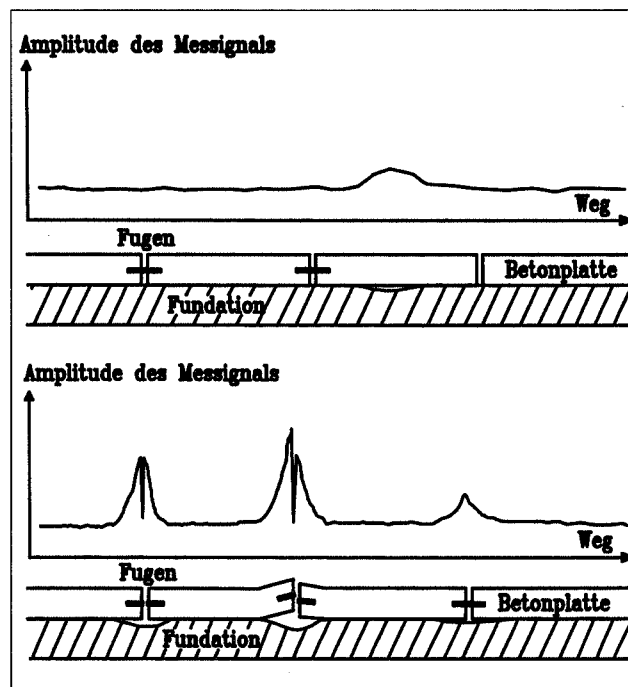
Die Rohmessdaten werden während der Messfahrt auf Papier und/oder Magnetband abgespeichert und anschliessend im Büro ausgewertet (Bericht, Tabellen, Graphiken und Statistik). Bei Bedarf kann das aufgezeichnete Deflektionsprofil in einem beliebigen Massstab dargestellt werden. Die Ergebnisse der Beurteilung (Plattenbezeichnung, Fugenzustand, usw.) können aufgearbeitet auf eine elektronische Datenbank überspielt werden.

Kosten: je nach Einsatzart, Messumfang und Aufwand für die graphische Darstellung ca. Fr. 350.- bis 750.- pro Messkilometer exkl. An-/Rückfahrt, inkl. Auswertung.

Beurteilung

Bewährtes Aufnahmegerät für die kontinuierliche Aufzeichnung der dynamischen Deflektion. Das Messverfahren liefert, speziell bei Betonstrassen, eine reichhaltige Information. Die langsame Fahrt während der Messung führt zu einer Verkehrsbehinderung.

Für die Bearbeitung der Messergebnisse und die Auswertung des Berichtes ist mit einem Aufwand von 1 bis 3 Tagen zu rechnen.



Collographe LGPC: Messergebnis.

Literatur

1. Le collographe; Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, Numéro 126, 1983; Gerätebeschreibung.
2. www.sacr.ch (Firmendokumentation).

Deflectographie Lacroix

Allgemeine Informationen

Messfahrzeug für die Ermittlung der Tragfähigkeit des Strassenoberbaues durch Deflektionsmessung bei langsamer Fahrt, geeignet für die kontinuierliche Erfassung der Tragfähigkeitsverhältnisse als Grundlage für die Bewertung der Tragfähigkeit nach Lit. 1 und die Bemessung der erforderlichen Verstärkung von Strassen in bituminöser Bauweise nach Lit. 2.

Anwendung

- engmaschige Messung der Deflektionswerte ganzer Strassenzüge in beiden Radspuren im Abstand von 5 m
- Beschaffung von Grundlagen für die Ermittlung der Verstärkungsdicke
- Einteilung von Strassen in «homogene» Abschnitte für die Planung von allfälligen Verstärkungsmassnahmen
- Tragfähigkeitskontrolle hydraulisch gebundener Schichten.

Zielgrössen

Deflektion (Einsenkmulde) der Strassenoberfläche als Kennwert der Tragfähigkeit.

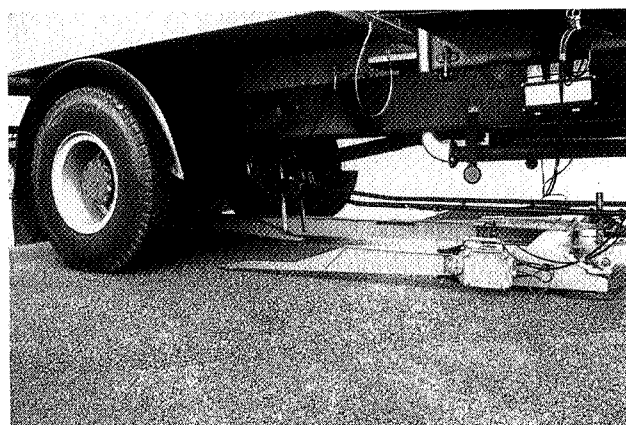
Messprinzip/Interpretation

Ein unter dem Chassis montierter, in Längs- und Vertikalrichtung frei beweglicher Rahmen mit Messauslegern in beiden Radspuren wird durch entsprechende Verschiebung zur Erfassung der Deflektion unter einem normalerweise 5 oder 6.5 Tonnen schweren Zwillingsrad (Achslast 10 oder 13 Tonnen) bei der Belastungsphase angewendet. Die eingesetzten Messgeber reagieren primär auf die Drehbewegung der Ausleger, die dann in eine Vertikalverschiebung (entsprechend der Deflektion) der Tastspitze umgerechnet wird. Die Deflektionsmessung in beiden Radspuren erfolgt je nach Typ des Deflectographen alle 4 bis 10 m. Neben der Messung des Maximalwertes der Deflektion wird auch die Deflektionsmulde aufgezeichnet.

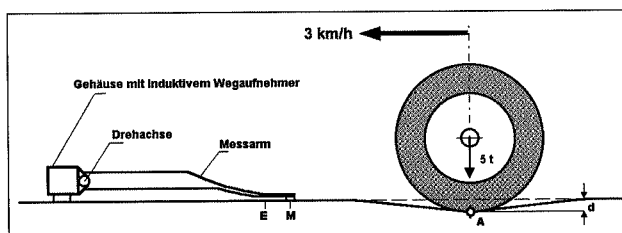
Die Temperatur an der Strassenoberfläche wird mit einer Infrarotsonde gemessen.



Deflectographie Lacroix.



Deflectographie Lacroix: Detail der Messausrüstung.



Messprinzip Deflectographie Lacroix.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Einsatz mit einer geschulten Messequipe von 2 Mann. Die Messung erfolgt bei einer Fahrgeschwindigkeit von 2 bis 7 km/h. Bei Messungen mit 13 Tonnen Achslast ist eine Sonderbewilligung erforderlich.

Je nach örtlichen Verhältnissen ist ein Sicherungsfahrzeug bzw. Fahrstreifensperrung bei Strassen mit grösserem Verkehrsaufkommen nötig.

Die Rohdaten werden während dem Messeinsatz abgespeichert. Die Auswertung und die Beurteilung des Verstärkungsbedarfes mit Bericht, Graphiken und Statistik erfolgt anschliessend im Büro. Die Messergebnisse können aufgearbeitet auf eine elektronische Datenbank (z.B. Strada DB) überspielt werden.

Kosten: je nach Einsatzart und Messumfang ca. Fr. 400.– bis 700.– pro Messkilometer exkl. An-/Rückfahrt, inkl. Auswertung.

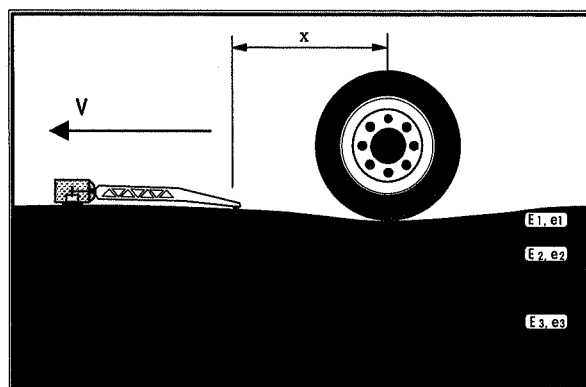
Beurteilung

Bewährtes Aufnahmegerät für die Erhebung grosser Mengen von Deflektionswerten. Auf Betonstrassen kann das Verfahren nur bedingt eingesetzt werden (sehr kleine Deflektions-/Einsenkwerte, breite Deflektionsmulde).

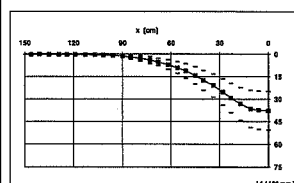
Die langsame Fahrt während der Messung führt zu einer Verkehrsbehinderung.

Die Auswertung der Messresultate erfordert ca. 1 bis 3 Arbeitstage pro Messtag.

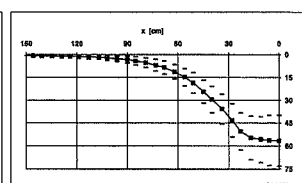
MULDENMESSUNG MIT DEM LACROIX-DEFLEKTOGRAPHEN



Einsenkungsmulde in der linken Radspur



Einsenkungsmulde in der rechten Radspur



⇒ Rückrechnung der E-Module aller Schichten (E1, E2,.....)

Muldenmessung mit Deflectographe Lacroix

Literatur

1. VSS: SN 640 925a: Zustandserfassung und Bewertung von Strassen; 1997.
2. VSS: SN 640 733b, Erhaltung von Fahrbahnen, Oberbauverstärkung von Fahrbahnen in bituminöser Bauweise aufgrund von Deflektionsmessungen, 1997.
3. VSS: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées (Studie über Methoden zur Erfassung des Strassenzustandes), VSS-Forschungsbericht 166, 1988.
4. Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées, Paris: Produktinformation.
5. www.sacr.ch (Firmendokumentation).

Fallgewichts-Deflektionsmessgerät

Allgemeine Informationen

- nicht normiert
- auf einem Anhänger montierte Vorrichtung für die zerstörungsfreie Ermittlung der Tragfähigkeit.
- geeignet für die Charakterisierung der Tragfähigkeitsverhältnisse, die Bestimmung allfälliger Verstärkungsschichten und die Beurteilung des Zustandes einzelner Schichten des Oberbaues und des Untergrundes.

Anwendung

- objektbezogene Detailuntersuchung der Tragfähigkeit
- Beschaffung von Grundlagen für die Ermittlung der Verstärkungsschichten
- Einteilung von Strassen in «homogene» Abschnitte für die Planung von allfällig notwendigen Verstärkungsmassnahmen
- Untersuchung des Zustandes einzelner Schichten.

Zielgrössen

- Deflektionswerte unter Impulsbelastung
- Elastizitätsmoduli der einzelnen Schichten.

Messprinzip

Eine Masse mit variabler Grösse wird aus einer wählbaren Höhe auf eine auf der Fahrbahn liegende Belastungsplatte fallen gelassen. Der dabei entstehende Impuls kann bezüglich Krafteinwirkung und Belastungszeit die Belastung eines rollenden Rades gut simulieren.

Die Messausrüstung umfasst einerseits eine Vorrichtung für die Kraftmessung sowie Geophone, welche durch Anordnung in unterschiedlichem Abstand von der Lastachse die Erfassung der vertikalen Verschiebungen der einzelnen Punkte (Deflektionswerte) ermöglichen.

Interpretation

Die Beurteilung des Zustandes einzelner Schichten erfolgt durch Rückrechnung der Schichtmoduli aus der Deflektionsmulde. Dabei ist eine genaue Kenntnis der Dicke aller Schichten sowie der Temperatur in den bituminös gebundenen Schichten notwendig.



Fallgewichts-Deflektionsmessgerät im Einsatz.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Einsatz mit einer geschulten Messequipe von 1 bis 2 Mann. Für die Durchführung einer Messung (ein Belastungszyklus) muss der Messzug (leichter PW mit Messanhänger) für ca. 2 Minuten anhalten. Die Kontrolle der Stationierung erfolgt aus dem Zugfahrzeug. Dieses enthält auch die Steuerungselemente sowie die Aufzeichnungs- und Auswerteeinheit.

Die Rohdaten werden gespeichert. Die Auswertung erfolgt anschliessend im Büro (Rückrechnung der Moduli aufgrund spezieller Modelle). Die ausgewerteten Daten werden als Bericht mit Tabellen, Grafiken und Statistiken dargestellt, zusätzlich können die aufbereiteten Messergebnisse in eine elektronische Datenbank überspielt werden.

Sicherungsfahrzeug, je nach örtlichen Verhältnissen; Fahrstreifenabspernung bei Strassen mit grösserem Verkehrsaufkommen.

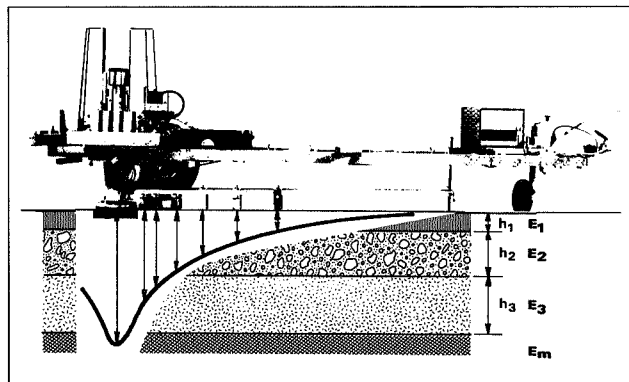
Kosten: ab ca. Fr. 5'000.– pro Messtag (Tagesmessleistung ca. 300 Punkte).

Beurteilung

Leistungsfähiges, weit verbreitetes Verfahren zur detaillierten Untersuchung des strukturellen Zustandes von Strassenbelägen.

Verkehrsbehinderung durch Stillstand bei Messung.

Bearbeitung der Resultate und Ausarbeitung der Berichte je nach Auswertumfang ca. 2 Tage bis 1 Woche pro Messtag.



Funktionsschema des Fallgewichts-Deflektionsmessgerätes.

Literatur

1. VSS: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées (Studie über Methoden zur Erfassung des Strassenzustandes), VSS-Forschungsbericht 166, 1988.
2. Dynatest Engineering A/S, Vedbaek, DK: Produkteinformation.
3. KUAB Konsult & Utveckling, Rättvik, S: Produkteinformation.
4. A/S Phoenix, Vejen, DK: Produkteinformation.

SRM 91, Stuttgarter Reibungsmesser (neue Version)

Allgemeine Informationen

In der Schweiz basiert die Reibungsmessung auf der Methode mit blockiertem Rad (Skiddometer, SRM 91). Im Ausland wird die Reibung üblicherweise mit einem laufenden, schräg zur Fahrtrichtung gestellten Rad gemessen (kontinuierliche Messung des Reibungskoeffizienten, Messgerät: z.B. SCRIM).

Der SRM 91 ist ein Messfahrzeug für die Ermittlung der Griffigkeit der Strassenoberfläche durch Reibungsmessung bei schneller Fahrt, geeignet für die kontinuierliche Erfassung der Griffigkeitsverhältnisse (Messpunktabstand: 50 m) nach Lit. 1. und Lit. 2.

Zur Ermittlung der Griffigkeitsverhältnisse wird in der Schweiz auch das Skiddometergerät eingesetzt. Das Skiddometer besteht aus einem Dreiradanhängen mit einem Messrad in der Mitte. Nachteilig wirkt sich die begrenzte Autonomie (Wassertank reicht für 7 km Radspur) und die erforderliche exzentrische Fahrweise zur Messung in der Radspur (Gegenverkehr auf Hauptstrassen) aus.

Anwendung

- Systematische Griffigkeitskontrolle ganzer Strassennetze
- Einbaukontrolle
- Gutachten bei Unfällen

Zielgrössen

Reibungskoeffizient auf der benetzten Fahrbahn mit blockiertem oder gebremsten Rad.

Messprinzip/Interpretation

Der SRM 91 ist ein Speziallastwagen mit hinten angehängten Messrädern in beiden Radspuren. Die Wirkungsweise der beiden im Normalfall mit dem AIPCR-Messreifen bestückten Messräder entspricht derjenigen des Skiddometer-Gerätes (SN 640 510b), d.h. es sind Messungen sowohl mit blockiertem Messrad als auch bei konstantem Schlupf (ca. 14%) bei hohen Geschwindigkeiten möglich. Das in einem Tank mitgeführte Wasser wird mittels einer Pumpe zur normgemässen Fahrbahnbenetzung vor dem Messreifen verwendet. Die Ermittlung der Reibungskoeffizienten erfolgt durch Kraftmessung am Rad. Gemäss SN 640 510b erfolgt die Beurteilung der Reibungskraft am blockierten Rad.



Stuttgarter Reibungsmesser.



SRM von hinten, Signaltafel und Messrad.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Einsatz des SRM 91 mit einer geschulten Mess-
equipe von 2 Mann. Die Reibungsverhältnisse
werden kontinuierlich (Messpunktabstand bei
Messung mit blockiertem Rad: 50 m) bei einer
Fahrgeschwindigkeit bis zu 120 km/h gemessen.
Für Messgeschwindigkeiten über 80 km/h ist ei-
ne Sonderbewilligung erforderlich. Die Autono-
mie (Kapazität Wassertank) reicht für ca. 50 km
Radspur.

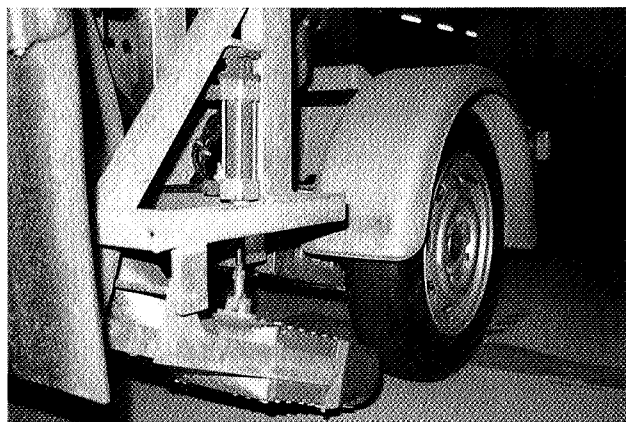
Die Rohdaten werden während der Messfahrt
abgespeichert und anschliessend im Büro aus-
gewertet (Bericht mit Tabellen, Graphiken und
Statistik). Die ausgewerteten Messdaten können
auf eine Datenbank übertragen werden.

Kosten: ca. 150.– bis 250.– Fr./km für Messung
von 2 Radspuren, exkl. An-/Rückfahrt, inkl. Aus-
wertung.

Beurteilung

Schnelles Aufnahmegerät für die streckenweise
Ermittlung der Griffigkeitsverhältnisse gleichzeitig
in beiden Radspuren ohne Verkehrsbehinderung.
Der grosse Wassertank (bis 4'000 l) erlaubt eine
hohe Messleistung.

Für die Auswertung der Messresultate sind pro
Messtag ca. 1 bis 3 Arbeitstage erforderlich.



SRM, Messrad.



Skiddometer.

Literatur

1. VSS: SN 640 510b, Griffigkeit, Messverfahren; 1986.
2. VSS: SN 640 925a, Zustandserfassung und Bewertung von Strassen; 1997.
3. Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau ETHZ: Interne Doku-
mentation.

Persönliche Notizen:

4 Leitungsnetze

Leitungsnetze, Definitionen und Abgrenzung	139
4.1 Untersuchungsmethodik für Leitungsnetze	140
4.2 Übersicht über Untersuchungstechniken	143
4.3 Datenblätter zu Untersuchungstechniken	151

Hinweis

Weitere Informationen zur Untersuchung von Ingenieurbauwerken innerhalb von Leitungsnetzen (Sonderbauwerke, Reservoirs, Verteilanlagen etc.) finden Sie im Kapitel 2, Ingenieurbauwerke.

Bei der Untersuchung von Leitungsnetzen sind immer die entsprechenden Gesetze, Vorschriften und Richtlinien der verantwortlichen Verbände und Institutionen (ESTI, ERI, SEV, Swisscom, EW, SVGW etc.) zu berücksichtigen. Der die Arbeiten koordinierende und leitende Ingenieur ist für die Beachtung aller einschlägigen Vorschriften verantwortlich.

Persönliche Notizen:

Leitungsnetze, Definition und Abgrenzung

Der Begriff «Leitungsnetze» wird im Rahmen dieses Handbuches für unterirdisch verlegte Leitungen ausserhalb von Gebäuden verwendet. Leitungsnetze dienen der Ver- und Entsorgung, bilden deshalb weitverzweigte, unterirdische Netze. Bei ihrer Realisierung sind in der Regel eine begrenzte Anzahl von Beteiligten involviert. Die Projektierung und Ausführung von Leitungsnetzen ist stark standardisiert. Es sind bestehende Gesetze sowie Vorschriften und Richtlinien verschiedener Organe zu beachten. Leitungsnetze sind durch den Betrieb einer unterschiedlichen Abnutzung ausgesetzt. Ihre Lebensdauer ist jedoch, abgesehen von Erweiterungsansprüchen, die sich aufgrund gestiegener Nachfrage ergeben, mit derjenigen von Ingenieurbauwerken (50 - 100 Jahre) vergleichbar. Bei der Erstellung oder der Erneuerung von Leitungsnetzen sind die eigentlichen Leitungskosten im Vergleich zu den Kosten für die Grabarbeiten und die Wiederherstellung der Oberfläche in der Regel gering. Für Betrieb und Erhaltung eines Leitungsnetzes ist im allgemeinen ein klar definierter Betreiber und Eigentümer verantwortlich. Eine Problematik entsteht aus der Situation, dass aus der benachbarten Lage verschiedener Leitungsnetze meist auf engem Raum mehrere Verantwortliche zuständig sind, deren Koordination oft Schwierigkeiten bereitet.

Für die Untersuchung sind Leitungsnetze nur schwer zugänglich. Zudem sind die Forderungen der Vermeidung von Nutzungseinschränkungen sowohl in Bezug auf die Nutzung des Leitungsnetzes als auch der oft im Bereich der Leitungsnetze vorhandenen Verkehrsflächen zu berücksichtigen.

Im Handbuch werden Hinweise zur Untersuchung von Kanalisations-, Wasserversorgungs- und Gasversorgungsnetzen (begrenzt auf nicht kathodisch geschützte Leitungen) gegeben. In Anbetracht der Vielzahl der vorhandenen Netze (weitere z.B.: Fernheizungsnetze, Stromversorgungsnetze, Telefonnetze, Kabelnetze für Radio- und Fernsehen, Erdungsanlagen etc.) war eine Beschränkung unumgänglich. Die im Handbuch behandelten Netze stellen ein beträchtliches Investitionsvolumen dar, das sich auf eine grosse Zahl stark unterschiedlich organisierter Bauherren (Gemeinden, Werke, Zweckverbände etc.) verteilt. Für die Bewältigung der Erhaltung (Überwachung, Unterhalt/Instandhaltung, Erneuerung) dieser Netze kommen zudem häufiger als bei anderen Netzen private Ingenieurbüros zum Einsatz.

4.1 Untersuchungsmethodik für Leitungsnetze

Einleitung

Erdverlegte Rohrnetze dienen dem Transport von Gasen und Flüssigkeiten und bilden zusammen mit anderen Infrastruktureinrichtungen einen wichtigen Bestandteil unseres Lebens. Eine sichere Versorgung von Industrie, Haushalt und Gewerbe in stets ausreichender Menge, einwandfreier Beschaffenheit und mit dem erforderlichen Betriebsdruck setzt einen optimalen Zustand der Verteilanlagen voraus. Eine regelmässige und gezielte Überwachung der Leitungsnetze ist daher in allen Versorgungsunternehmen wichtig.

Verluste

Erdverlegte Rohrnetze sind der direkten Betrachtung entzogen. Die Lebensdauer der Anlagen wird mit ca. 50 - 80 Jahren geplant.

Aufgrund von verschiedenen Einflüssen wie Alter, Korrosion, vagabundierende Ströme, organische oder galvanische Verbindungen, Senkungen und Spannungen etc. werden Rohrnetze undicht.

Solche Lecks und die damit verbundenen Verluste sind unvermeidbar. Ihre laufende Minimierung ist jedoch allein schon aus Gründen der allgemeinen Sicherheit, der Versorgungssicherheit und der Sorgfaltspflicht geboten. Die wirtschaftliche und ökologische Bedeutung der Verlustbekämpfung ist heute wichtiger denn je. Wasser als Lebensmittel steht in beschränkter Menge zur Verfügung und kann nicht vermehrt werden. Gasverluste stellen primär ein Sicherheitsproblem dar, sind jedoch auch aus ökologischen Gründen (Methan trägt in hohem Masse zum Treibhauseffekt bei) zu vermeiden. Bei umweltgefährdenden Stoffen (Gase oder Flüssigkeiten) steht der Schutz der Umwelt im Vordergrund. Die geltenden Anforderungen sind auf diese Gefahr ausgerichtet.

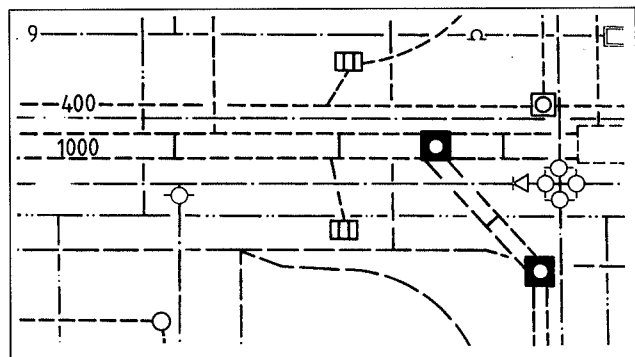
Problematik der Verlustortung

Eine Vielzahl von Verfahren zur Erkennung und Ortung von Schadenstellen ist bekannt und wird mit unterschiedlichem Erfolg eingesetzt. Grosse, plötzlich auftretende Verluste werden meistens schnell erkannt und behoben. Kleine und mittlere Verluste werden nur bei generellen Leckuntersuchungen oder durch Meldungen festgestellt. Für die Untersuchung der verschiedenen Leitungsnetze kommen ähnliche Untersuchungstechniken zur Anwendung. Infolge der heute möglichen Miniaturisierung der elektronischen Bauteile werden die Möglichkeiten zur Untersuchung von Leitungsnetzen mit intelligenten Molchen in Zukunft generell eine Ausdehnung erfahren.

Der Beitrag «Untersuchungsmethodik für Leitungsnetze» befasst sich primär mit Wasser- und Niederdruckgasversorgungsnetzen. Die Ausführungen gelten auch für erdverlegte Rohrnetze, die dem Transport von anderen umweltgefährdenden Gasen und Flüssigkeiten dienen, wobei die entsprechend höheren Anforderungen zu berücksichtigen sind. Kanalisationsnetze werden im Unterschied zu den oben genannten Rohrnetzen in der Regel nicht unter Druck betrieben, aus verschiedenen Gründen kommen zudem auch andere Rohrmaterialien zur Anwendung. Die Überwachung von Kanalisationsleitungen erfolgt heute praktisch ausschliesslich mit Hilfe der Kanalfernsehtchnik oder durch Begehung. Das Datenblatt «Kanalfernsehen» (→ S. 154) enthält deshalb ausführliche Angaben zur Untersuchung von Kanalisationsnetzen.



Erdverlegte Rohrleitungen sind schwer zugänglich.



Aktuelle Leitungspläne sind eine primäre Voraussetzung für alle Erhaltungsmaßnahmen.

Leitungsnetzanalyse

Systematische Leitungsnetzuntersuchungen auf Verluste sind eine Voraussetzung für die wirksame Verlustbeseitigung. Die Grobanalyse, umfassend die globale Ermittlung von Regelabweichungen gegenüber der Betriebsstatistik innerhalb einzelner Verbrauchszonen, ist der erste Schritt. Stehen nur unzureichende Überwachungsanlagen in den Versorgungsunternehmen zur Verfügung, sollten diese geplant und verwirklicht werden. Der weitere Schritt zur schnellen Erkennung des Schadenortes ist die Einrichtung von sogenannten permanenten Messstellen, mit denen es möglich wird, die festgestellten Verluste auf ein bestimmtes Gebiet einzugrenzen. Die anschließende Feinanalyse mit Nullverbrauchsmessung kann dann schnell und präzise durchgeführt werden. Bei Gasleitungen kommt dabei der Detektion von Austrittsstellen mit Hilfe von «Gasschnüfflern» (Gasspürgeräte) eine grosse Bedeutung zu.

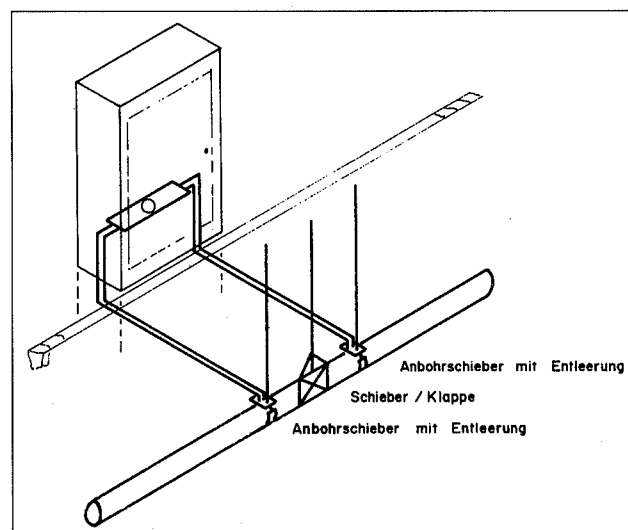
Bei der Überwachung von erdverlegten Leitungsnetzen ist neben der Schadenlokalisierung immer auch der Ermittlung der Schadenursache grosse Beachtung zu schenken. Viele Schäden sind auf Korrosionsvorgänge (vgl. «Korrosion bei Leitungsnetzen» → S. 174) zurückzuführen, die ihre Ursache im Baugrund (ungünstige elektrochemische Verhältnisse) oder anderen Randbedingungen in der Nähe der Leitung (Streuströme, Makroelementbildung mit Stahlbetonstrukturen etc.) haben. Zahlreiche Schäden (z.B. Setzungsschäden) sind auf die Baugrundverhältnisse zurückzuführen. Im Rahmen der Überwachung werden deshalb entsprechende Untersuchungen durchgeführt (z.B. Baugrundsondierungen, Leitfähigkeitsmessungen im Baugrund, Messungen der Streuströme und der Korrosionspotentiale etc.).

Massnahmen bei der Planung

Bei der Neuplanung von Rohrnetzerweiterungen sollten alle vorbeugenden Massnahmen zur Verhinderung von Verlusten eingesetzt werden (vgl. «Neubau und Überwachung» → S. 179). Ein wesentlicher Beitrag dazu kann von den Versorgungsunternehmen geleistet werden. Mit Hilfe von Verbrauchsbilanzen, Rohrnetzdokumentationen und Schadendateien können Schwachstellen im System analysiert werden.

Jahr	Quelle- wasser 1000 m ³	Grund- wasser 1000 m ³	Total in 1000 m ³	Verkauf in 1000 m ³	Verlust in 1000 m ³
1983	255	171	426	290	136
1984	380	190	470	329	141
1985	300	205	505	375	130
1986	310	120	430	336	94
1987	344	230	574	414	160
1988	345	251	596	477	119
1989	305	178	483	411	72
1990	310	295	605	527	78

Die Betriebsstatistik ist eine weitere wichtige Grundlage für die Verlustbekämpfung.



Installation einer permanenten Messeinrichtung. Permanente Messeinrichtungen im Leitungsnetz liefern ergänzende Grundlagen für die Grobanalyse.

Persönliche Notizen:

4.2 Übersicht über Untersuchungstechniken

Informationen für den Benützer der Übersichtstabellen	145
Verzeichnis der Übersichtstabellen:	
Kanalisationsleitungen (begehbar, $\varnothing \geq 1000$ mm)	146
Kanalisationsleitungen (nicht begehbar, $\varnothing < 1000$ mm, Freispiegel)	147
Wasserleitungsnetze	148
Gasleitungsnetze (Niederdruck)	149

Bei der Untersuchung von Leitungsnetzen sind immer die entsprechenden Gesetze, Vorschriften und Richtlinien der verantwortlichen Verbände und Institutionen (ESTI, ERI, SEV, Swisscom, EW, SVGW etc.) zu berücksichtigen. Der die Arbeiten koordinierende und leitende Ingenieur ist für die Beachtung aller einschlägigen Vorschriften verantwortlich.

Persönliche Notizen:

Informationen für den Benutzer der Übersichtstabellen

Die Tabellen geben eine Übersicht über die Untersuchungstechniken, die für die Untersuchung eines bestimmten Bauteiles oder Baustoffes zu Hilfe genommen werden können. Es wurde versucht, möglichst alle als praxistauglich eingestuften Untersuchungsmethoden zu berücksichtigen. In einzelnen Fällen werden aber auch Untersuchungstechniken aufgeführt, die nur beschränkt als praxistauglich beurteilt werden können. Aus den Tabellen ist zudem ersichtlich, ob und wo allenfalls weitere Angaben zu einer Untersuchungstechnik im Handbuch gefunden werden können.

Hinweis auf Datenblätter

Untersuchungstechniken, die im Teil «Datenblätter» noch eingehender beschrieben werden, sind in der Übersicht **unterstrichen**. Hinter der Untersuchungstechnik ist der Hinweis eingefügt (→), auf welcher Seite das Datenblatt zu finden ist.

Einfache Untersuchungstechniken

Untersuchungstechniken, die mit wenig Aufwand, oft schon im Rahmen einer ersten visuellen Untersuchung durch den Ingenieur selbst eingesetzt werden können, sind in der Übersicht durch **Fettdruck** hervorgehoben.

Laboruntersuchungen

Untersuchungen, die in der Regel im Labor und durch entsprechende Fachleute ausgeführt werden, sind in der Übersicht in **Kursivschrift** dargestellt. Diese Untersuchungen sind fast immer zerstörend, weil für die Laboruntersuchung in der Regel eine Probe aus dem Bauwerk entnommen werden muss.

Beschränkt praxistaugliche Untersuchungstechniken

Untersuchungstechniken, die in der Übersicht in **Klammern** gesetzt sind, werden als nur beschränkt praxistauglich eingestuft. Diese Untersuchungen sind in der Regel mit relativ grossem Aufwand verbunden, zudem ist die Interpretation der Resultate sehr anspruchsvoll. In speziellen Fällen können solche Untersuchungstechniken jedoch zu einer besseren Beurteilung beitragen.

Untersuchungsobjekt:

Kanalisationsleitungen (begehrbar, $\varnothing \geq 1000 \text{ mm}$)

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Rohrschäden	Begehung/Augenschein → S. 156 Färbversuch	
Fugenschäden	Begehung/Augenschein → S. 156 Färbversuch	
Ablagerungen	Begehung/Augenschein → S. 156	
Anschlüsse	Begehung/Augenschein → S. 156 <u>Kanalfernsehen</u> ¹⁾ → S. 154 Einspülen	
Dichtigkeit	Begehung/Augenschein → S. 156 Druckprüfung Färbversuch Doppelpacker	
Deformationen	Nivellement Schlauchwaage Inklinometer Profilmessung	

¹⁾ Allgemeine Bedingungen und Leistungsverzeichnis für Kanalfernsehtuntersuchungen, VSA, 1996 (Rev. Anhang 2 zur Richtlinie «Unterhalt von Kanalisationen», VSA, 1992)

²⁾ E SIA V 190, Kanalisationen, 1993

Untersuchungsobjekt:

Kanalisationsleitungen (nicht begehbar, $\varnothing < 1000$ mm, Freispiegel)

Zielgrösse	Untersuchungstechnik	
	zerstörungsfreie	zerstörende [Eingriff ins Bauwerk]
Rohrschäden	<u>Kanalfernsehen</u> ¹⁾ → S. 154 Kanalroboter Färbversuch	
Fugenschäden	<u>Kanalfernsehen</u> ¹⁾ → S. 154 Molch (Kalibrierung) Färbversuch	
Ablagerungen	<u>Kanalfernsehen</u> ¹⁾ → S. 154 Kanalspiegel	
Anschlüsse	<u>Kanalfernsehen</u> ¹⁾ → S. 154 Einspülen	Kanalfernsehen [Sondierschlitz] ¹⁾
Dichtigkeit	Druckprüfung ²⁾ Doppelkammermolch Färbversuch Doppelpacker	

¹⁾ Allgemeine Bedingungen und Leistungsverzeichnis für Kanalfernsehuntersuchungen, VSA, 1996 (Rev. Anhang 2 zur Richtlinie «Unterhalt von Kanalisationen», VSA, 1992)

²⁾ E SIA V 190, Kanalisationen, 1993

Kanalisationsleitungen, die unter Druck betrieben werden, können mit den bekannten Mitteln nur begrenzt untersucht werden.

Untersuchungsobjekt:

Wasserleitungsnetze

Zielgrösse	Untersuchungstechnik zerstörungsfreie
Leckanalyse	<u>Nachtverbrauchsmessung</u> → S. 158 <u>Grossraumsektorenmessung</u> ¹⁾ → S. 160 <u>Sektoreinspeisung</u> → S. 162 <u>Nullverbrauchsmessung</u> → S. 162 <u>Druckeinspeiseverfahren</u> → S. 162 <u>Akustische Verlustkontrolle</u> → S. 164 <u>Akustische Übergrundabhörung</u> → S. 168 <u>Akustisches Korrelationsverfahren</u> → S. 170 Druckänderungsverfahren Durchflussänderungsverfahren Durchflussänderung mit Korrelation Fördermengenvergleich ¹⁾ Druckwellenverfahren ¹⁾ Molchverfahren ¹⁾ Druckprüfung Zuflussmessung-Streubreiteverfahren
Leckortung	<u>Akustische Übergrundabhörung</u> → S. 168 <u>Akustisches Korrelationsverfahren</u> → S. 170 Volumenbestimmung Lufteinspeisemethode Gaseinspeiseverfahren (Träger/Helium) Molchverfahren-Druckabfall ¹⁾ Molch mit Hydrophon und Registrierung ¹⁾
Rohrzustand Korrosion	intelligente Molchverfahren ¹⁾ Potentialmessung ²⁾ Kanalfernsehen Bodenuntersuchungen
Rohrzustand Verformungen	Kalibrier-Molchverfahren ¹⁾ Bodenuntersuchungen

¹⁾ Eingriffe sind abhängig von Art der Ausführung des betreffenden Netzabschnittes (Anschlüsse, Einführöffnungen für Geräte etc.)

²⁾ bei metallischen Leitungen

Hinweise zum Problem der Korrosion bei Leitungsnetzen aus metallischen Werkstoffen finden Sie im Datenblatt **«Korrosion bei Leitungsnetzen»** → S. 174

Untersuchungsobjekt:

Gasleitungsnetze (Niederdruck)

Bei den in der Tabelle behandelten Gasleitungsnetzen handelt es sich um Niederdrucknetze der Feinverteilung, die ohne Kathodenschutz ausgeführt werden.

Zielgrösse	Untersuchungstechnik zerstörungsfreie
Leckanalyse	Verbrauchsmessungen (es können je nach Ausrüstung des Netzes ähnliche Verfahren wie bei den Wasserleitungsnetzen angewendet werden: <u>Nachtverbrauchsmessung</u> → S. 158, <u>Grossraumsektorenmessung</u> → S. 160 etc.) Druckprüfung Molchverfahren
Leckortung	<u>Akustische Verlustkontrolle</u> → S. 164 <u>Gasspürung mit Bohrlochmethode</u> → S. 172 <u>Gasspürung mit Ansaugsonde, Leakplotter</u> → S. 172
Rohrzustand Korrosion	Intelligente Molche Potentialmessung ¹⁾ Augenschein [aufgraben] Bodenuntersuchungen
Rohrzustand Verformungen	Spezialmessmolche Radiographie Ultraschall Bodenuntersuchung Biegeversuch [Rohrteil ausbauen]

¹⁾ bei metallischen Leitungen

Hinweise zum Problem der Korrosion bei Leitungsnetzen aus metallischen Werkstoffen finden Sie im Datenblatt **«Korrosion bei Leitungsnetzen»** → S. 174

Persönliche Notizen:

4.3 Datenblätter zu Untersuchungstechniken

Informationen für den Benützer der Datenblätter	153
Verzeichnis der Datenblätter:	
Kanalisationsnetze:	
Kanalfernsehen	154
Begehung von Kanälen $\varnothing \geq 1000$ mm	156
Wasserversorgungsnetze:	
Nachtverbrauchsmessung	158
Grossraumsektorenmessung	160
Sektoreinspeiseverfahren mit Bypass (Druckeinspeiseverfahren, Nullverbrauchsmessung)	162
Akustische Verlustkontrolle (im Direktkontakt mit dem Rohrnetz)	164
Akustische Verlustkontrolle (Geräuschpegelmessung)	166
Akustische Übergrundabhorchung mit Bodenmikrofonen	168
Akustisches Korrelationsverfahren (Leckanalyse und Leckortung)	170
Gasleitungsnetze:	
Gasspürmethoden zur Leckortung	172
Korrosion bei Leitungsnetzen	174

Bei der Untersuchung von Leitungsnetzen sind immer die entsprechenden Gesetze, Vorschriften und Richtlinien der verantwortlichen Verbände und Institutionen (ESTI, ERI, SEV, Swisscom, EW, SVGW etc.) zu berücksichtigen. Der die Arbeiten koordinierende und leitende Ingenieur ist für die Beachtung aller einschlägigen Vorschriften verantwortlich.

Persönliche Notizen:

Informationen für den Benutzer der Datenblätter

Die Datenblätter sind mit wenigen Ausnahmen nach dem gleichen Schema aufgebaut. Damit soll dem Benutzer die Suche nach der gewünschten Information möglichst erleichtert werden. Die Erläuterung der verwendeten Stichworte finden Sie nachfolgend auf dieser Seite. Diese dienen als grobe Richtschnur bei der Zusammenstellung der Angaben. *Die aufgeführten Informationen sind nicht als Gebrauchsanweisung für die Anwendung einer Untersuchungstechnik oder den Einsatz eines Gerätes gedacht.* Die Informationen können jedoch dem mit einer Bauwerksuntersuchung beauftragten Ingenieur helfen, die richtigen «Werkzeuge» zu finden. Bei Zuzug eines Spezialisten enthalten die Datenblätter soviel grundlegende Informationen, wie für den koordinierenden Ingenieur als Gesprächspartner des Spezialisten erforderlich ist.

Allgemeine Informationen

Ist das Verfahren normiert?
Zerstörungsfrei/zerstörend?
Prüfung am Bauwerk/im Labor

Anwendung

Baustoffe
Bauteile
Bauwerksarten

Zielgrößen

Über welche Zielgrößen werden Informationen gewonnen?
Sind dies direkt oder indirekte Informationen?
Sind die Informationen qualitativ oder quantitativ (Genauigkeit), punktförmig oder flächenhaft?

Messprinzip

Beschreibung des Messprinzipes. Welches sind die Messresultate, welches die Einflussfaktoren?

Interpretation

Wie gelangt man vom Messresultat zur Zielgrösse?
Aufwand, Eindeutigkeit der Interpretation.
Gefahr einer Fehlinterpretation.
Reproduzierbarkeit, Streuung.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Ausrüstung, Geräte, Messequippe, Anforderungen an die Messequippe?
Wasser- bzw. Stromanschluss erforderlich?
Weitere Randbedingungen bezüglich Witterung, Zugänglichkeit etc.?

Beschreibung des Ablaufes (Vorbereitungsarbeiten, Geräteanwendung, Auswertung etc.) und allfälliger Betriebsstörungen.

Kosten (Größenordnung).

Beurteilung

Anwendungsbereich?
Leistungsgrenzen?
Zeitbedarf bis zum Vorliegen der Resultate?
Begleitende Prüfungen erforderlich?
Folgeuntersuchungen zur Präzisierung der Resultate?
Nutzen-/Aufwand-Verhältnis?

Literatur

Ergänzende Hinweise auf wichtigste weiterführende Literatur.

Kanalfernsehen

Allgemeine Informationen

Für die Untersuchung von Kanälen hat der VSA ein Leistungsverzeichnis mit allgemeinen Anforderungen ausgearbeitet (Lit. 1, Anhang 2. Rev. 1996).

Anwendung

Das Kanalfernsehen wird eingesetzt für die Untersuchung von Kanalrohren $\varnothing$ 200 - 1000 mm und von Hausanschlüssen $\varnothing$ 100 - 300 mm.

Die Anwendung ist für alle bei Kanalisationen verwendeten Rohrmaterialien möglich.

Zielgrößen

Mit dem Kanalfernsehen gewinnt der Untersuchende Einblick in einen untersuchten Kanalisationsabschnitt. Aufgrund der Aufnahmen kann der Zustand des Abschnittes bewertet werden, es können insbesondere folgende Schäden ermittelt werden:

- Mechanische Schäden
- Wurzeleinwachsungen
- undichte Stellen
- vorstehende oder schlecht eingeführte Einläufe
- Verengungen, Höhengsprünge in der Sohle

Messprinzip/Interpretation

Videoskopie:

Für Leitungsdurchmesser von 6 mm bis 100 mm wird die Videoskopie eingesetzt. Die glasfaseroptischen Kabel können in fast jeder Lage und Bogenabwinkelung auf einer Länge bis zu max. 150 m eingesetzt werden. Dabei werden alle Phasen der Leitungskontrolle auf einem Monitor überwacht und mit einem Recorder aufgezeichnet. Hindernisse wie Stufen, Verkalkungen, Wurzeleinwuchs können das Einführen der Kabel verunmöglichen.

Kamerafahrwagen:

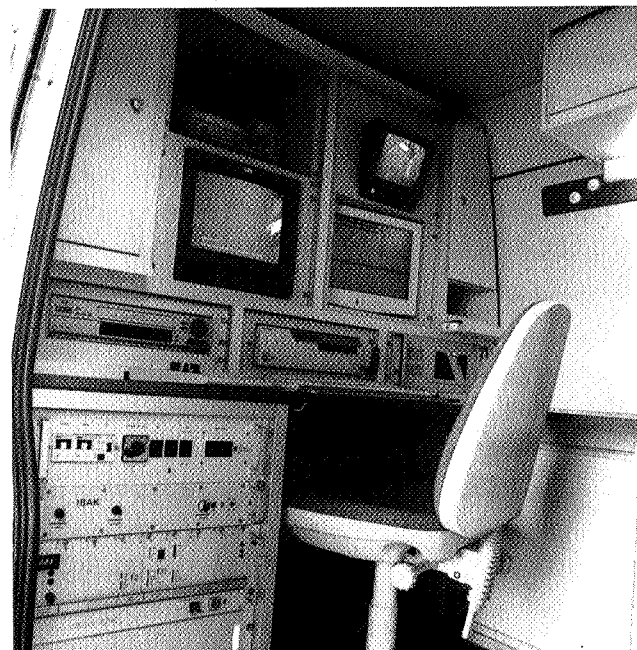
Für Leitungen ab $\varnothing$ 100 mm eignen sich angetriebene Kamerafahrwagen. Die auf den Wagen installierten, je nach Ausführung frei dreh- und schwenkbaren Videokameras werden über Kabel ferngesteuert. Die Reichweite wird durch Biegungen, Reibung des Kabels im Rohrrinnern, Höhengsprünge in der Sohle usw. begrenzt und beträgt maximal ca. 100 m.

Die Bedienung, Datenspeicherung und -verwaltung erfolgt vom Messfahrzeug aus. Die Lokalisierung von Vorkommnissen ist auf ca. $\pm$ 20 cm genau.

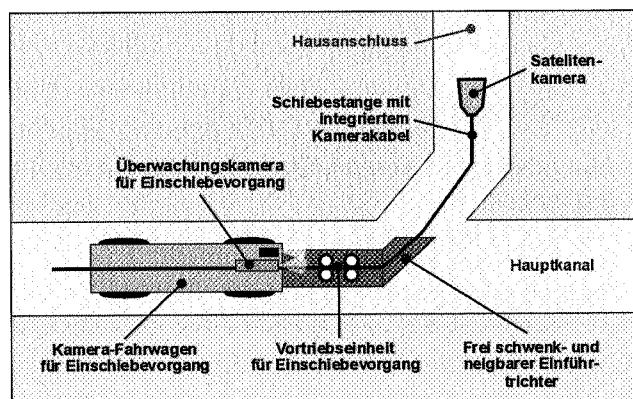
Mit den in den letzten Jahren neu entwickelten Satellitensystemen lassen sich auch Anschluss-



Einsatzwagen. Einführen der Kamera in den Kanal.



Regieplatz im Innern des Einsatzwagens.



Inspektion des Nebenkanals mit Satelliten-Kamera.

kanäle (z.B. Hausanschlüsse) untersuchen (bis ca. 30 m). Mit dem Kamerawagen wird eine Satellitenkamera bei der Anschlussleitung positioniert und über einen Einführtrichter eingeschoben. Die Vortriebsvorrichtung für die Satellitenkamera ist im Kamerawagen integriert (vgl. Skizze). Die Aufnahmen ermöglichen den Vergleich mit einem früheren Zustand. Mit den modernen EDV-Mitteln sind auch digitale Bildspeicherung und -bearbeitung möglich.

Arbeitsablauf

(Geräteanwendung und Kosten)

Eine detaillierte Aufstellung der Ausrüstung eines Kanalfernsehwagens ist in den «Allgemeinen Bedingungen und Leistungsverzeichnis für Kanalfernseh-Untersuchungen» (Lit. 1) des VSA enthalten. Infolge der erforderlichen Spezialausrüstung ist für Kanalfernsehuntersuchungen eine spezialisierte und entsprechend ausgerüstete Firma beizuziehen.

Die Anforderungen (Lit. 1) verlangen eine Länge des Kamerakabels von mindestens 180 m. Zur Identifizierung der Aufnahmen werden Untersuchungsdatum, Objektbezeichnung, Distanz und Fotonummer obligatorisch, Rohrdurchmesser und Längsgefälle fakultativ in die Aufzeichnung eingeblendet. Mit Einzelbildern, digital oder fotografisch ab Monitor, werden Schäden und spezielle Vorkommnisse festgehalten. Der Messwagen muss über eine eigene Stromversorgung verfügen.

Eine Untersuchung mit dem Kanalfernsehen muss sorgfältig vorbereitet werden:

- Planunterlagen zusammenstellen
- Kanalreinigung vor Untersuchung
- Protokollführung

Die Auswertung erfolgt durch einen Spezialisten oder einen Gemeindeingenieur.

Als Offertgrundlage werden die Bedingungen des VSA empfohlen (vergleichbare Angebote!). Die reinen Untersuchungskosten betragen pro Einsatzstunde ca. Fr. 130.– bis 170.–. Die Tagesleistung variiert je nach Verhältnissen zwischen 600 bis 1200 Leitungsmetern.



Mit dem Kanalfernsehen aufgenommenes Bild.

Beurteilung

Die Untersuchung mit Kanalfernsehen ist vielfach die einzige Methode, Kanalisationsleitungen auf ihren Zustand zu untersuchen. Die Methode ist bewährt und bringt bei Verwendung der richtigen Ausrüstung und Einsatz durch erfahrene Spezialisten gute Resultate. Die Beurteilung der Aufnahmen erfordert geschulte Spezialisten oder Ingenieure. Die Auswertung sollte nur im Ausnahmefall durch die Aufnahmefirma erfolgen.

Literatur

1. VSA: Unterhalt von Kanalisationen: Richtlinie für den Unterhalt von Leitungen und Anlagen der Kanalisation und der Grundstücksentwässerung, 1992; Anhang 2: Allg. Bedingungen und Leistungsverzeichnis für Kanalfernseh-Untersuchungen, rev. 1996.
2. Stein D.: Instandhaltung von Kanalisationen; Ernst & Sohn, Berlin, 3. Auflage, 1998.

Begehung von Kanälen $\varnothing \geq 1000 \text{ mm}$

Allgemeine Informationen

Kanäle ab einem Durchmesser von 1000 mm werden als begehbar bezeichnet. Die Inspektion erfolgt durch eine Begehung.

Anwendung

Die Inspektion durch Begehung kommt bei allen für Kanalisationen verwendeten Rohrmaterialien in Frage.

Zielgrößen

Zielgrößen und Bewertung analog Kanalfernsehen.

Messprinzip/Interpretation

Die Lokalisierung der Vorkommnisse erfolgt durch Einmessen mit dem Messband. Zur genauen Überprüfung des Gefälles kann ein Nivellierlaser verwendet werden.

Arbeitsablauf

Bei der Kanalkontrolle durch Begehen müssen die gültigen Vorschriften der SUVA beachtet werden.

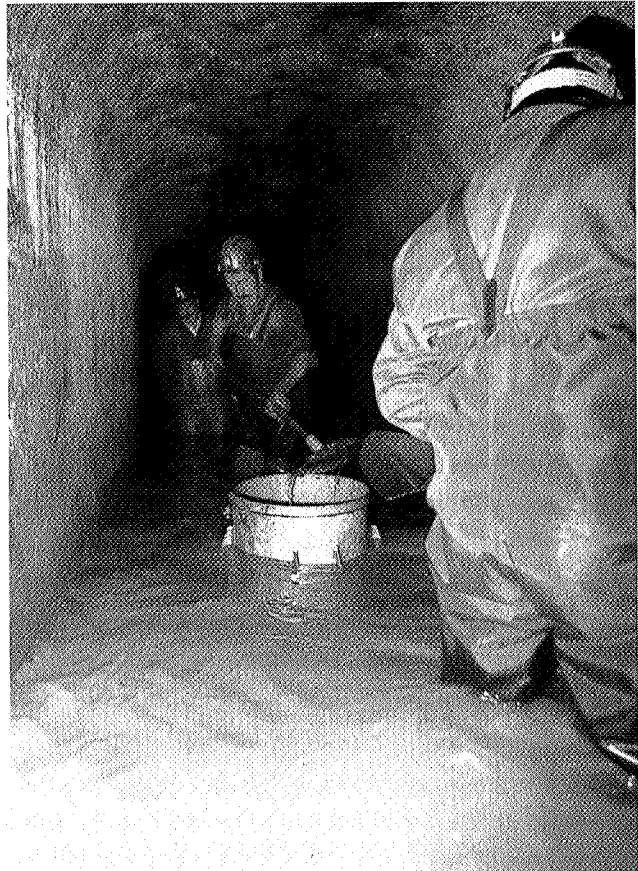
Auch eine Untersuchung durch Begehen bedarf einer guten Vorbereitung:

- Planunterlagen zusammenstellen
- Kanalreinigung durchführen
- Evtl. Kanalumleitung vornehmen (evtl. mit Pumpen)

Die Aufnahme und Rapportierung der Vorkommnisse erfolgt zweckmässigerweise mit Hilfe eines Tonbandgerätes. Die Aufnahmen werden im Büro auf Untersuchungsrapporte übertragen, ausgewertet und beurteilt.

Beurteilung

Bemerkungen wie Kanalfernsehen.



Kanalbegehung.

Literatur

1. VSA: Unterhalt von Kanalisationen: Richtlinie für den Unterhalt von Leitungen und Anlagen der Kanalisation und der Grundstücksentwässerung, 1992 (Anhang 2, rev. 1996, Anhang 5 rev. 1998).

Persönliche Notizen:

Nachtverbrauchsmessung

Allgemeine Informationen

Für das Erkennen von Wasserverlusten dienen als Grobanalyse die statistischen Werte aus dem Vergleich von Wasserverbrauch und Verlustprozenten mit den Werten des Vorjahres.

Periodische Erfassungen des Nachtverbrauches zwischen 02:00 und 04:00 Uhr, aufgeteilt auf die einzelnen Versorgungszonen, ermöglichen das rasche Erkennen von Wasserverlusten und die Beurteilung des Erfolges nach ausgeführten Reparaturarbeiten.

Anwendung

In allen Wasserversorgungen anwendbar. Dort wo automatisch registrierende Messeinrichtungen fehlen, können periodische Einzelmessungen ausgeführt werden.

Zielgrößen

Grobverlustmessung in den einzelnen Versorgungszonen. Erkennen der Abweichungen vom normalen Nachtverbrauch unter Berücksichtigung der Wochentage, Saison und Nachtverbraucher.

Messprinzip/Interpretation

Automatische Fernwirkanlagen sollen so ausgelegt werden, dass für die Netzüberwachung Minimum und Maximum des Tagesverbrauches sowie der stündliche Nachtverbrauch in den einzelnen Versorgungszonen protokolliert werden können.

Dort wo keine oder unzureichende Überwachungsanlagen vorhanden sind, sind die Verbrauchsdaten über die Behältervolumen oder speziell eingerichtete Messstellen zu erfassen.

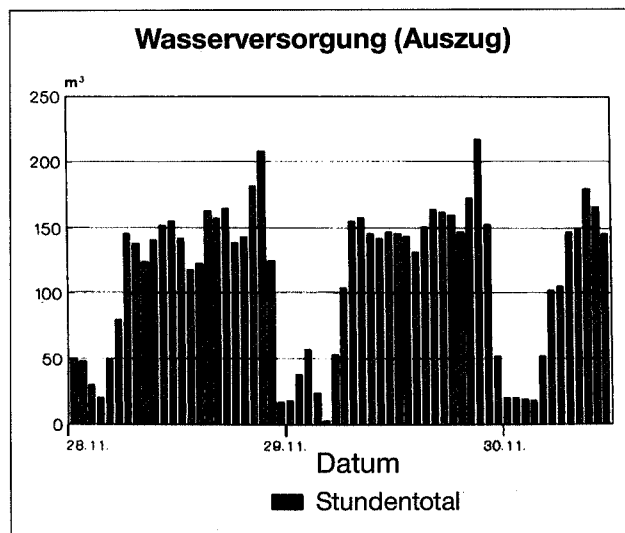
Arbeitsablauf

Erfassen des Wasserverbrauches in den verbrauchsarmen Nachtstunden. Als ideale Messzeit sind die Stunden zwischen 02:00 und 04:00 Uhr anzusetzen. Die Verbrauchswerte können in den Reservoirs wie folgt gemessen werden.

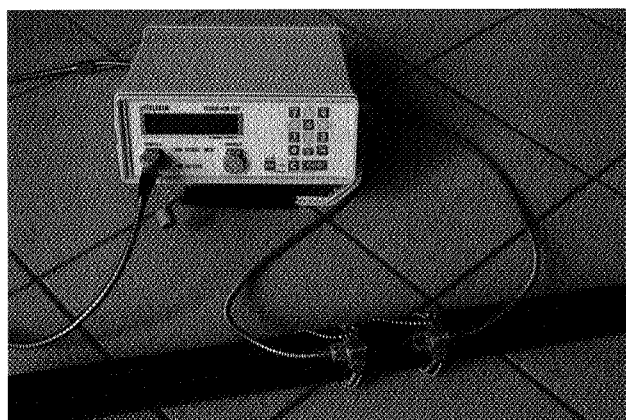
1. Eingebaute Messung in der Reservoirleitung
2. Umgehungszähler in der Reservoirleitung
3. Mobile Ultraschallmessung auf das Rohr geschallt
4. Messung der Behälterabsenkung mit genauer Drucksonde

Die momentanen Messwerte sind mit elektronischen Datensammlern zu erfassen.

Stetsverbraucher sollten nach Möglichkeit abgestellt werden. Andernfalls ist ihre Verbrauchsmenge zu erfassen.



Verbrauchsaufzeichnung Stundenwerte.



Mobile Ultraschallmessung.

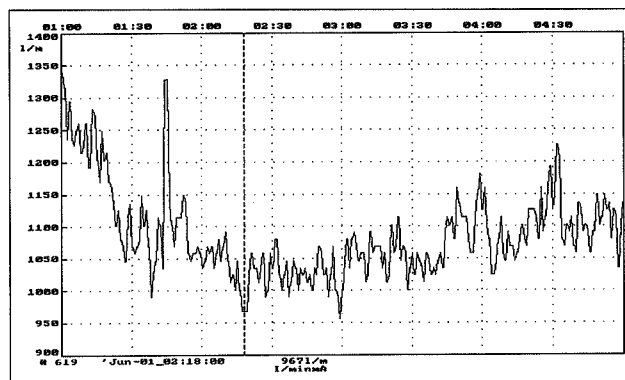


Diagramm eines Nachtverbrauches.

Auswertung

Die gemessenen Nachtverbrauchswerte werden mit dem Ist- und Sollwert aus früher ausgeführten, gleichen Messungen bei intaktem Rohrnetz verglichen.

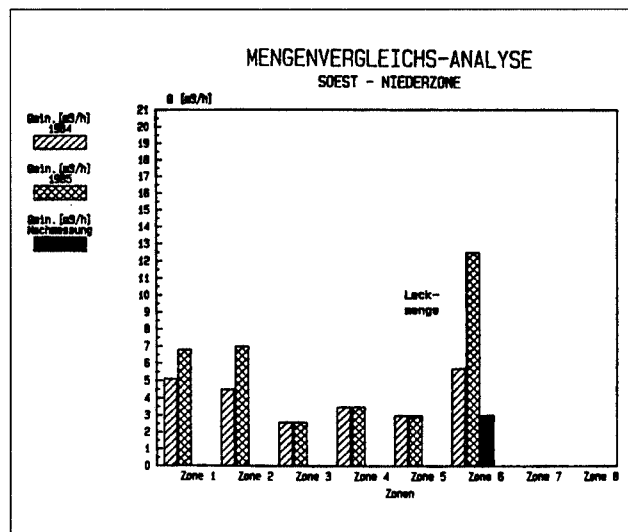
Für die überschlägige Beurteilung der Verlustwerte soll der normale Nachtverbrauch nicht über 1 % des mittleren Tagesverbrauches liegen. Bei Erstmessungen sind nebst den Verbrauchsmessungen die Rohrnetzlänge, die Einwohnerzahl, die Einwohnerdichte, der mittlere Tagesbedarf in der Messzone sowie weitere zur Beurteilung notwendige Gegebenheiten zu erfassen.

Je nach Einwohnerdichte kann der erfassten Gesamtspeisemenge 1 - 2 l/E h (pro Einwohner und Stunde) sowie pro Hauptleitungskilometer (1 - 2 l/min × km) abgezogen werden.

Wasserversorgungsnetze, die einen errechneten Verlustwert unter 2 - 3 l/min pro Hauptleitungskilometer aufweisen, sind in der Toleranz als verlustfrei zu betrachten.

Beurteilung

Die Nachtverbrauchsmessung ist eine aussagekräftige und einfach durchzuführende Untersuchungstechnik, um ein Wassernetz zu beurteilen und Wasserverluste zu erkennen.



Mengenvergleichsanalyse.

Literatur

1. Mutschmann J., Stimmelmayer F.: Taschenbuch der Wasserversorgungen; Achte Auflage, Stuttgart, 1983.

Grossraumsektorenmessung

Allgemeine Informationen

Grossraumsektormessungen dienen der genauen Erfassung und Erkennung von Wasserverlusten in eingerichteten, absperrbaren Netzsektoren.

Bei Grossräumen handelt es sich um Netzgrößen von 5 - 20 km Hauptleitungslänge mit 2000 bis 3000 Einwohnern.

Die Erfassung dieser Messwerte muss als Momentanwert oder in Minuten-Intervallen erfolgen. Dazu bedient man sich mobiler Messanlagen sowie festeingebauter Messstellen im Rohrnetz.

Anwendung

In allen Rohrnetzen mit zuvor bestimmten und überprüften Messektoren.

Zielgrößen

Schnelles Erfassen von plötzlich auftretenden Wasserverlusten ohne Meldung von Druckverlusten, Geräuschen oder sichtbarem Wasseraustritt an der Oberfläche.

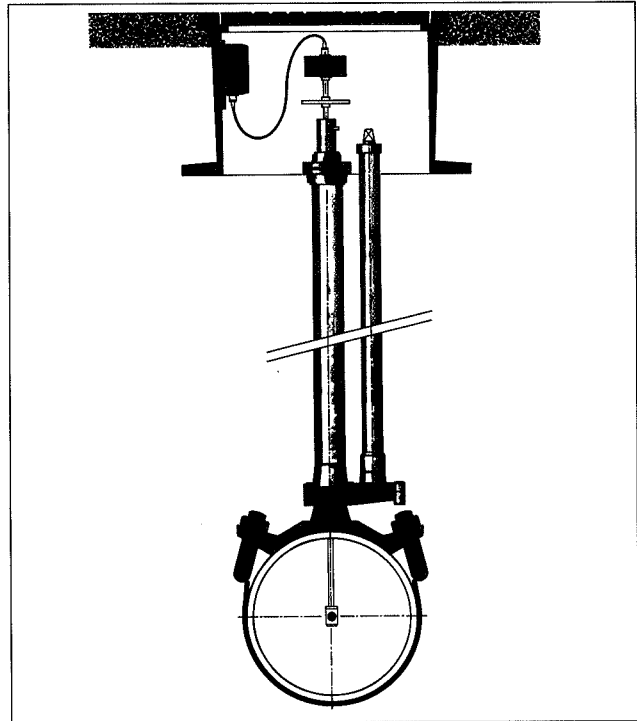
Verminderung von langen Lecklaufzeiten bei der Durchführung von periodischen Kontrollen.

Mengenvergleichsanalyse bei späteren Verlustmessungen.

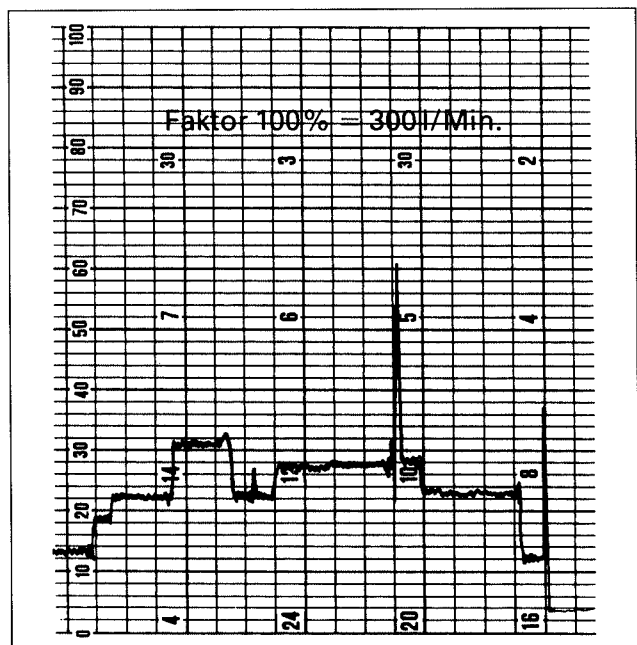
Messprinzip/Interpretation

Bei allen Messmethoden soll der exakte Wasserfluss in einer bestimmten Zeit als Menge in l/min oder m³/h erfasst werden. Geeignet sind dazu festeingebaute Messstellen im Rohrnetz und in Schieberschächten sowie mobile Messanlagen.

Für die Durchführung der Messung wird aus einem Netzteil Wasser entnommen und über eine Messeinrichtung dem vom übrigen Netz abgetrennten Sektor zugeführt. Durch die so erstellte Messbrücke kann die gesamte Einspeisemenge in den Messbezirk erfasst und registriert werden. Anstelle von Aufzeichnungsgeräten und Datenloggern etc. kann bei entsprechender Infrastruktur die Messwertübertragung auch in die Betriebszentrale erfolgen.



Festeingebaute Messmechanik für Turbinenmessgerät.



Momentanwert-Diagramm, Durchflussprotokoll als Messkurve aufgezeichnet.

Sektoreinspeiseverfahren mit Bypass

(Druckeinspeiseverfahren, Nullverbrauchs-messung)

Allgemeine Informationen

Sektoreinspeisungen als Nullverbrauchsmessung bilden die eigentliche dritte Stufe der Verlustmessungen auf einem kleinst absperrbaren Rohrnetzteil.

Diese Technik wird vielfach auch direkt angewendet ohne vorhergehende Nachtverbrauchs- und Grossraumsektorenmessungen.

Die Nullverbrauchsmessung ersetzt in den meisten Fällen die akustische Abhorchmethode, vor allem in Rohrnetzen mit zunehmendem Kunststoffanteil.

Für die Einspeisung in den vom übrigen Netz abgetrennten Rohrnetzteil stehen verschiedene Versorgungsarten zur Verfügung:

1. Über eine Bypassleitung Entnahmehydrant – Einspeisehydrant.
2. Über ein Tanklöschfahrzeug oder eine anderes speziell eingerichtetes Fahrzeug mit Wassertank und drehzahlregulierter Pumpe (Druckeinspeisung).

Bei allen Messarten wird der Momentanverbrauch erfasst und registriert.

Anwendung

In vermaschten Rohrnetzen mit allen vorkommenden Materialien und Druckstufen.

Als Druckeinspeiseverfahren besonders in druckschwachen Gebieten und Verästelungsnetzen geeignet, sowie zur Kontrolle des Leitungszustandes bei Druckumstellungen und Strassensanierung.

Die quantitative Erfassung der Verlustgrösse ermöglicht eine entsprechende Einstufung zur Reparatur der Schadenstelle.

Zielgrössen

Erkennen der Verluststellen auf den kleinsten absperrbaren Rohrnetzabschnitten und genaues Messen der Verlustmenge.

Messprinzip/Interpretation

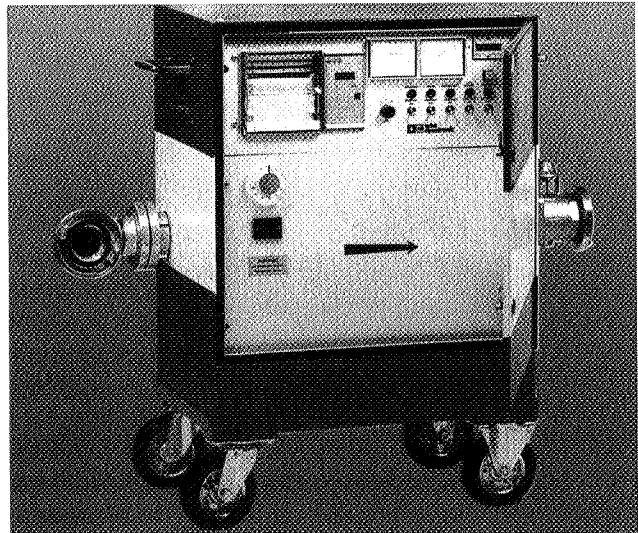
Quantitative Erfassung von Verluststellen in abgetrennten Rohrnetzbezirken und Leitungsabschnitten.

Momentanauswertung der Verlustmengen in den kleinst absperrbaren Netzbezirken.

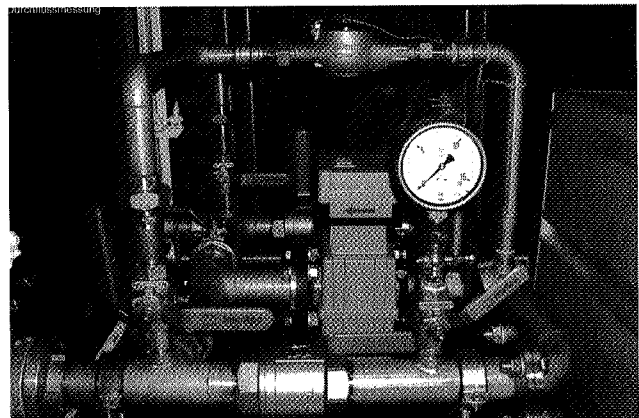
Nachkontrolle der Messektoren nach Reparatur.

Erstellen eines ausführlichen Schlussberichtes und Darstellung der Messbezirke und Messkurven.

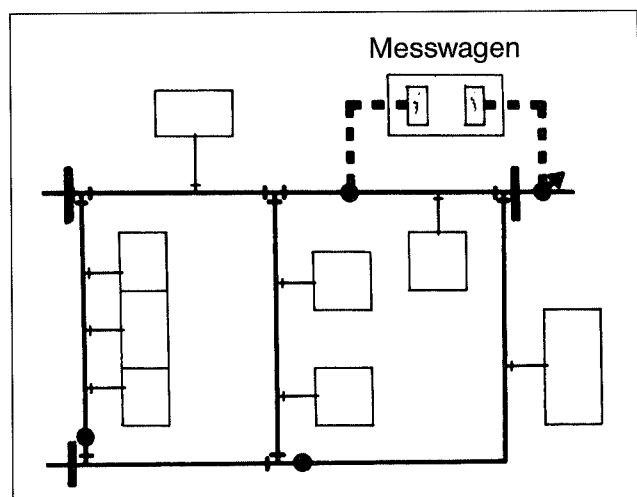
Speichern der Messdaten zum Vergleich mit nachfolgenden Messungen.



Messgerät für Sektoreinspeisung.



Messanhänger.



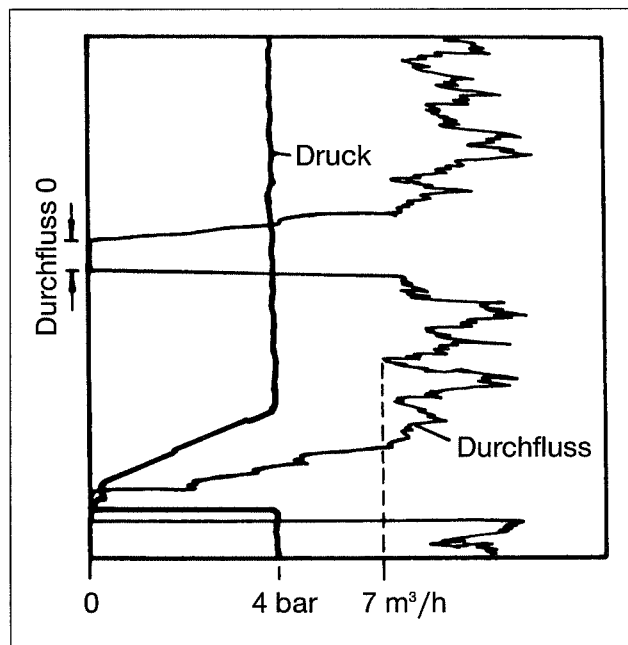
Messanordnung.

Arbeitsablauf

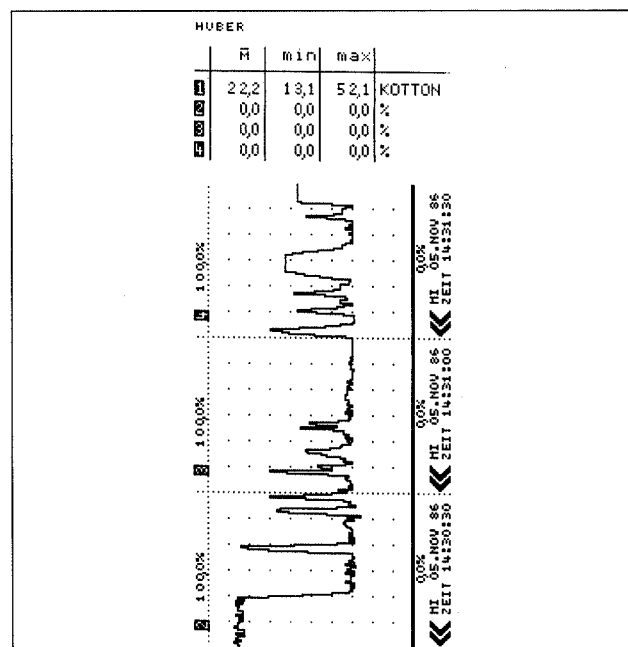
Das zu untersuchende Wasserrohrnetz wird unter Zuhilfenahme der Planunterlagen in absperrbare Gebiete unterteilt. Der Zufluss eines Gebietes wird mit einem Streckenschieber unterbrochen. Einem Hydranten vor dem Streckenschieber wird über eine Schlauchleitung Wasser entnommen und über eine mobile Messeinrichtung einem Hydranten im gemessenen Sektor zugeführt. Die Durchflussmenge und der Druck wird dabei im Momentanwert erfasst und kann sofort ausgewertet werden. Zeigt zum Beispiel die Kurve des Durchflussmengenmessers in einer bestimmten Zeitspanne ein oder mehrmals den Wert Null an, so kann davon ausgegangen werden, dass im untersuchten Gebiet kein Rohrbruch vorhanden ist. Wird hingegen die Situation «Nullverbrauch» nie erreicht, so sind entweder Wasserverluste oder Dauerverbraucher im Messbezirk vorhanden. Durch weiteres Absperrn ist nun das zu untersuchende Gebiet soweit zu verkleinern, dass der Verlust auf das kleinst absperrbare Rohrnetzteil beschränkt werden, der Verlust eingegrenzt und die Schadenstelle gefunden werden kann. Beim Druckeinspeiseverfahren kann aufgrund der grossen Mobilität und der vielen Einspeisemöglichkeiten der Messbezirk meist kleiner gehalten werden. Ein zusätzliches Ausserbetriebnehmen von Anschlussleitungen bedingt durch die installierte Pumpenleistung ist möglich.

Beurteilung

Nullverbrauchsmessungen als Sektormessungen bilden die genaueste Untersuchungstechnik, unabhängig vom Leitungsmaterial und -dimension für die quantitative Verlusterkennung. In schlecht oder unzureichend gewarteten Rohrnetzen entstehen Probleme mit nicht dicht schliessenden Hauptschiebern und Klappen.



Momentanwertaufzeichnung von Druck und Durchfluss.



Momentanwertaufzeichnung.

Literatur

1. Hammerer M., Jäckle E.: Wasserverluste, Wasserrohrnetzüberwachung; 3 R international 1979, Heft 3/4.

Akustische Verlustkontrolle (im Direktkontakt mit dem Rohrnetz)

Allgemeine Informationen

Die akustische Rohrnetzüberprüfung, auch Abhören des Rohrnetzes genannt, ist eine einfache Untersuchungsmethode mit bescheidenem Geräteaufwand. Dabei ist zu beachten, dass für diese Methodik viel Erfahrung und ein speziell geschultes Ohr des «Horchers» notwendig ist. In Versorgungsgebieten mit hoher Anschlussdichte und Armaturenanteil wird das Verfahren mit gutem Erfolg angewendet. Bedingt durch die verschiedenen Arten der Leckstellen kann eine Leckstelle jedoch auch unerkannt bleiben.

Anwendung

An allen metallischen Versorgungsnetzen anwendbar.

Vor allem für die rasche Kontrolle von kleineren Gesamtverlustmengen und der Kontrolle von Hausanschlussleitungen, Armaturen und Hydranten auf Leckverluste.

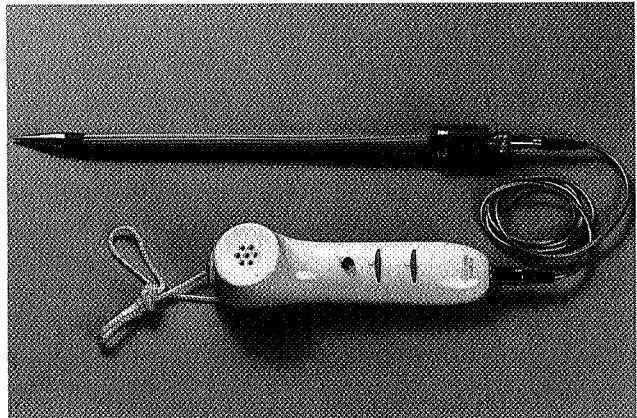
Nur in Versorgungsgebieten ab 3 bar zu empfehlen.

Zielgrößen

Verlusterkennung an Armaturen und Leitungen ohne quantitative Erfassung der Verlustgrösse.

Messprinzip/Interpretation

Erfassen der von der Leckstelle ausgehenden Schallwellen mit einem elektronischen Vorrichtungsgesät. Die Übertragung der Schallwellen von einer Leckstelle aus ist abhängig vom Material, der Nennweite der Rohrleitung, vom Wasserdruck sowie der Art der Schadenstelle. Tritt Wasser aus einem unter Druck stehenden Rohr aus, so entsteht ein charakteristisches Geräusch, das sich entlang der Rohrleitung beidseitig fortpflanzt. Die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit variiert je nach Material und Druckstufe. Guss- und andere metallische Leitungen sowie Eternit sind gute Schallleiter (Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit 1000 - 3000 m/s). Kunststoffleitungen sind schlechte Schallleiter (160 - 450 m/s). Geräusche von Leckstellen werden deshalb von metallischen Leitungen viel besser übertragen als von Kunststoffleitungen.



Gerät für die akustische Verlustkontrolle.



Horchgerät im Einsatz.

Arbeitsablauf

Systematisches Abhören der Armaturen und Rohrnetzteile unter Zuhilfenahme von geeigneten elektronischen Vorortungsgeräten.

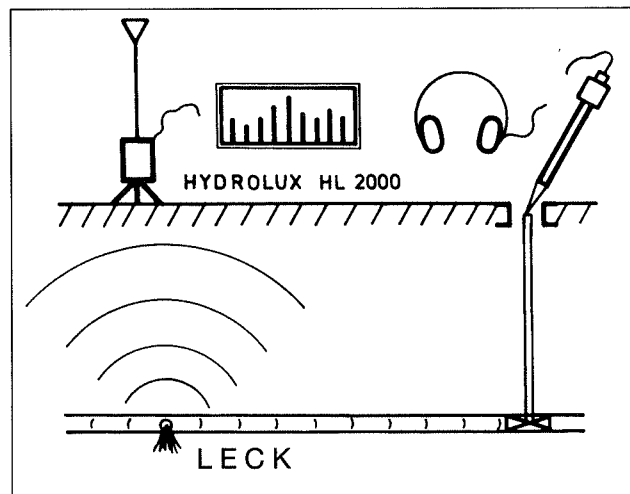
Bezeichnen und notieren der festgestellten Geräusche für die weitere Bearbeitung zur punktuellen Leckortung.

Wasserverluste und mechanische Defekte an Armaturen und Hydranten werden dabei sofort festgestellt und in vorbereitete Formulare eingetragen.

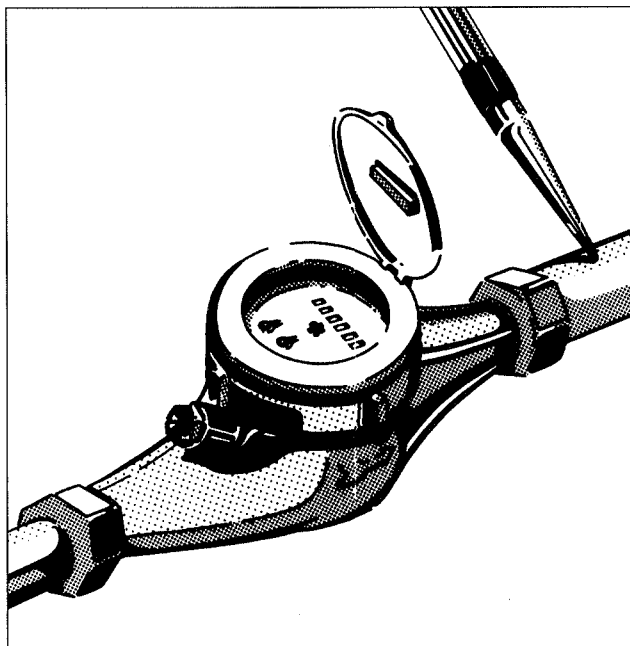
Beurteilung

Mit einfacher Messausrüstung und nötiger Instruktion schnell erlernbar.

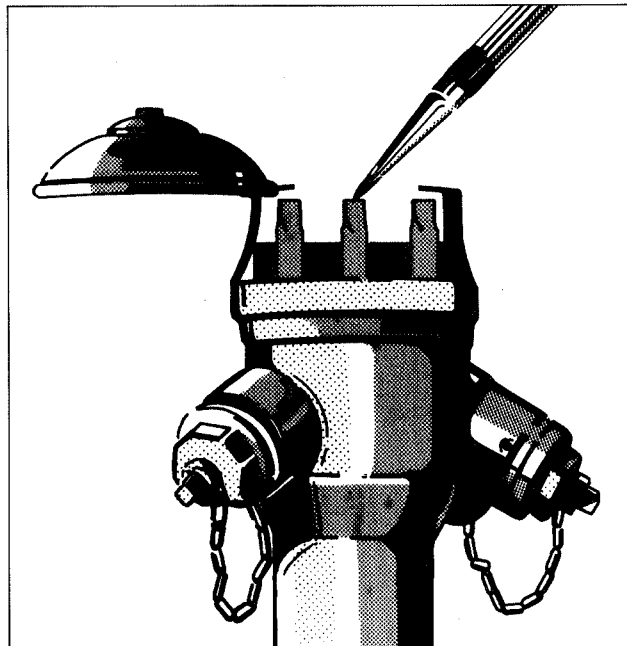
Vorortungsgeräte für diese Messmethodik gehören zur Grundausrüstung einer jeden Wasserversorgung.



Messprinzip schematisch.



Messung an Installationsteilen.

**Literatur**

1. Mutschmann J., Stimmelmayer F.: Taschenbuch der Wasserversorgung; Achte Auflage, Stuttgart, 1986.

Akustische Verlustkontrolle (Geräuschpegelmessung)

Allgemeine Informationen

Im Unterschied zur manuellen Abhörung wird bei der Vorortung mit Geräuschpegelmessung ein Schallpegelmesser eingesetzt und somit das Abhören eindeutig verbessert und automatisiert.

Anwendung

Durch das Messprinzip einer akustischen Kontrolle ist der Pegelmesser auf Geräusche angewiesen. Vor allem für einen Gesamtuntersuch eines Wassernetzes oder Sektorbereich in engmaschigen Versorgungsgebieten.

Zielgrößen

Erkennung anhand Geräuschauswertung von kleinsten bis zu größten Verlusten ohne Mengenerfassung.

Messprinzip

Mit den Geräuschpegeln wird mittels hochempfindlichen Piezomikrofonen die Geräuschintensität gemessen. Dabei werden im Abstand von ca. 150 bis 400 m die Pegel auf Anschlusspunkte (Hydrant, Schieber, Schacht) gesetzt.

Entsprechend ihrer Programmierung schalten sich die Geräte in der verbrauchsarmen Nachtzeit ein und nehmen das Leitungsgeräusch auf. Im Messgebiet sollten daher während dieser Zeit alle bekannten Geräuschentwickler (laufende Brunnen, Pumpen) abgestellt werden, um so das Leck nicht zu übertönen.

Der Messwert wird in Form eines Histogrammes abgelegt. Mit Hilfe des PC's können die so gewonnenen Daten ausgelesen und die Lautstärke an den gesetzten Orten betrachtet werden.

Liegen die Intensitäten über einer gewissen Schwelle, kann ein Leck in diesem Gebiet vermutet werden. Die Überprüfung der erhöhten Lärmpegel sollte dann durch eine Nachortung erfolgen.

Arbeitsablauf

Das Montieren der Pegel erfolgt nach einem vorgängig erstellten Setzplan. Parallel dazu wird eine Montageliste geführt, um nach der Auslesung dem Geräuschpegel den richtigen Setzpunkt zuzuordnen.

Die Auslesung kann erst am Schluss der Messungen erfolgen, der Messwertspeicher reicht für mindestens 20 Nächte.

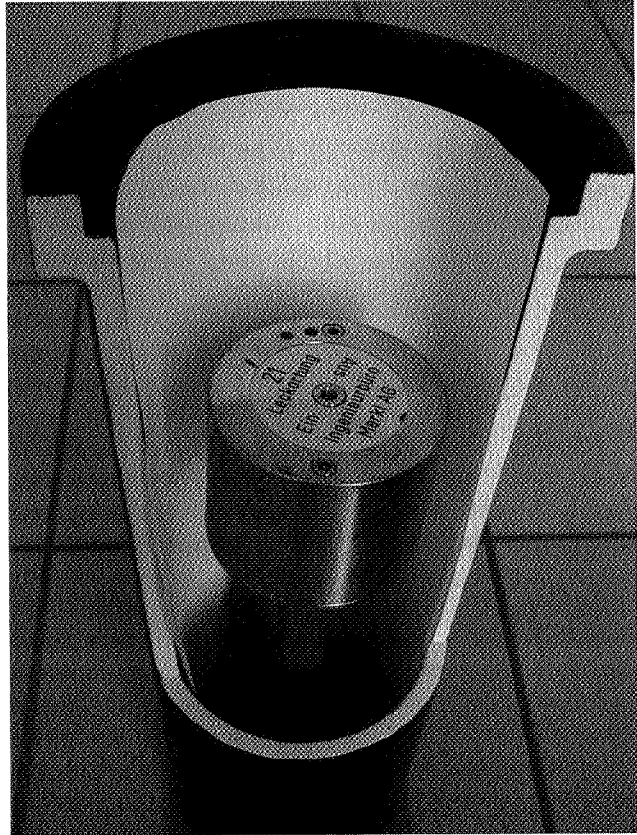
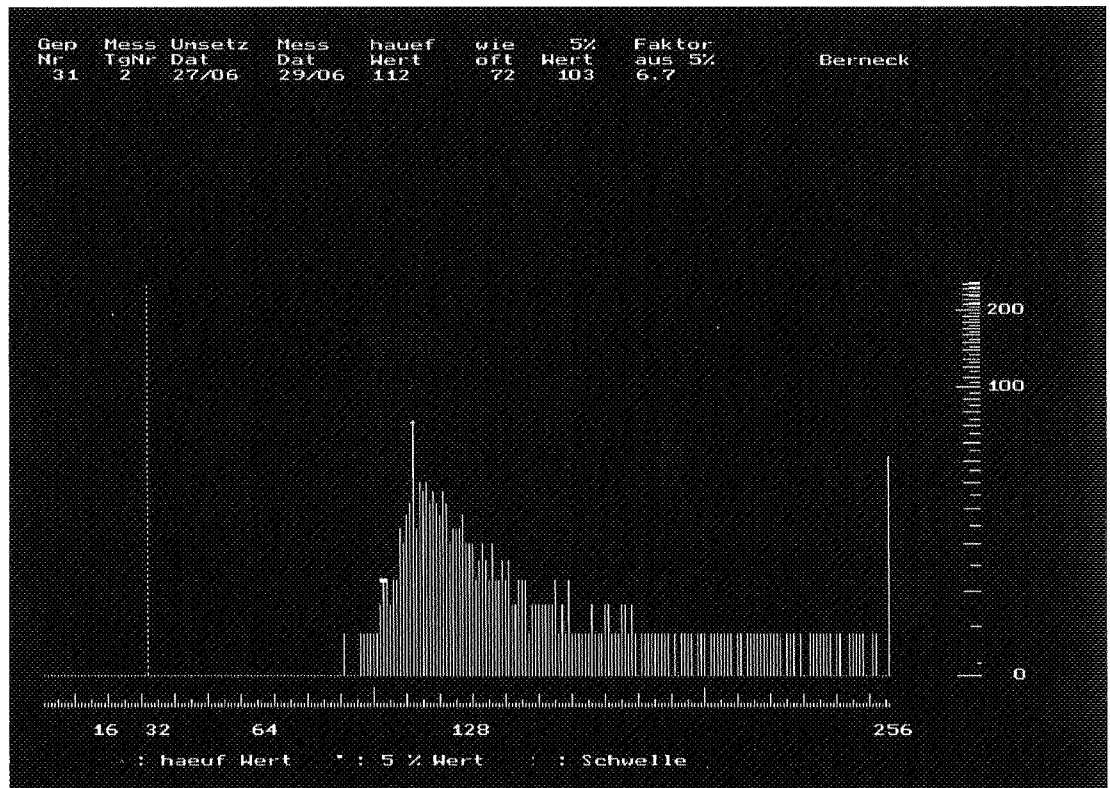


Abbildung: Geräuschpegelmesser.

Beurteilung

Die Vorortung mit Geräuschpegelmessung ist eine effiziente und kostengünstige Untersuchungstechnik. Eingesetzt in engvermaschten Rohrnetzen mit hohem Guss-/Stahl-Anteil.



Histogramm einer Geräuschpegelmessung.

Akustische Übergrundabhorchung mit Bodenmikrofonen

Allgemeine Informationen

Eine erfolgreiche Leckortung mit Bodenmikrofonen setzt in erster Linie die Kenntnis des genauen Leitungsverlaufes voraus. Dort wo keine zuverlässigen Plangrundlagen zur Verfügung stehen, ist die Leitung mit einem Leitungssuchgerät zu orten und zu markieren. Für die punktuelle Ortung von Leitungsdefekten sollen nur erfahrene und ausgebildete Fachkräfte eingesetzt werden. Im Zweifelsfall ist es immer günstiger, eine spezialisierte Firma mit der punktgenauen Ortung zu beauftragen, als teure «Trockenlöcher» aufzugraben.

Anwendung

Unter normalen Bedingungen in allen Rohrnetzen anwendbar.

Die unterschiedlichen Rohrmaterialien haben wenig Einfluss auf die Übergrundabhorchung.

Bei extremem Umgebungslärm von Industrien, Flugplätzen und stark befahrenen Strassen kann nur in den ruhigen Nachtstunden geortet werden.

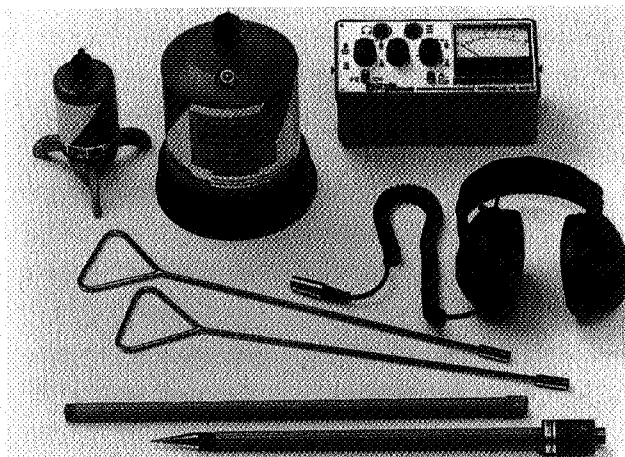
Zielgrößen

Punktuelle Erfassung der Schadenstelle zur Reparatur.

Messprinzip/Interpretation

Akustische Leckortbestimmung unter Zuhilfenahme von Lecksuchgeräten mit speziell dafür bestimmten Bodenmikrofonen.

Tritt Wasser unter Druck aus einer defekten Rohrleitung aus, entstehen charakteristische Leckgeräusche. Für die Erfassung der Leckstelle sind jedoch nicht die entstehenden Schallwellen, die sich auch über die Rohrleitung fortpflanzen verantwortlich, sondern der auf die Grabenwand aufschlagende Wasserstrahl.



Ausrüstung für die akustische Übergrundabhorchung.



Gerät im Einsatz.

Arbeitsablauf

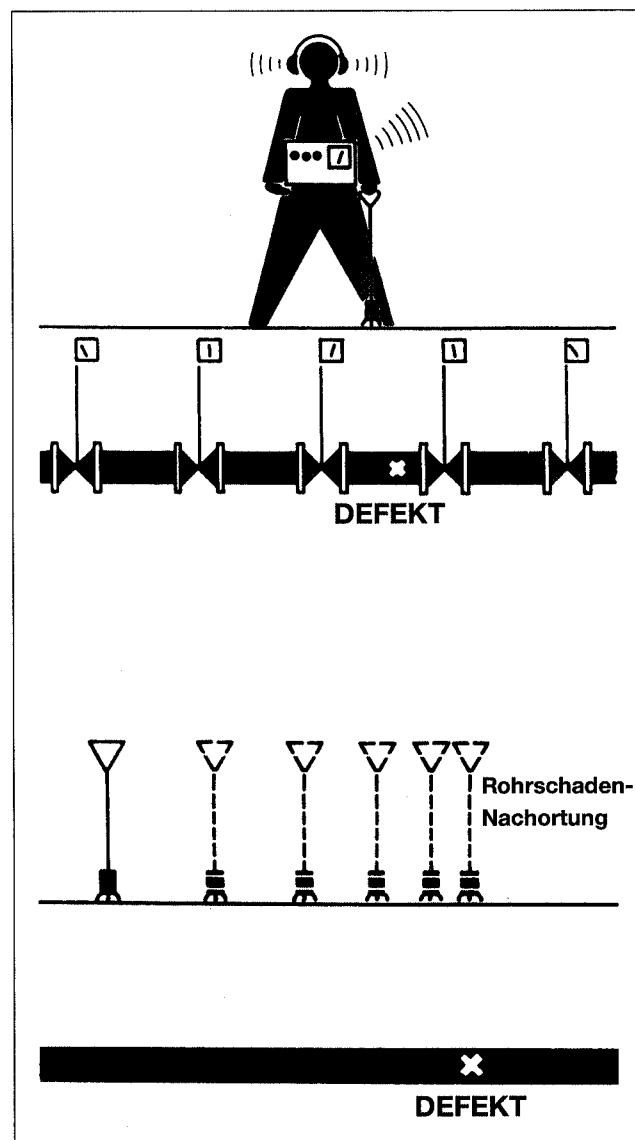
Systematisches Abhören der vorbestimmten und angezeichneten Leitungstrasse.

In Abständen von 1 - 2 m wird dabei genau über der Leitung das Bodenmikrofon aufgesetzt und der Ort mit der grössten Schallintensität gesucht. Diese macht sich ausser mit der Lautstärke auch am Anzeigegerät sichtbar.

Resonanzerscheinungen, ausgehend von Rohrnetzeinbauten und Schallreflexionen, können eine genaue Leckortbestimmung wesentlich beeinflussen und erschweren.

Beurteilung

Bewährte Leckortungstechnik, die auch bei jeder Art der Leckerfassung als Nachkontrolle zur Anwendung kommt. Der Erfolg der punktgenauen Verlustortung ist stark abhängig von der Erfahrung des Bedienungspersonals. Verschiedene Umstände können zu Fehlortungen führen.



Akustische Übergrundabhörung schematisch, Vorortung (oben), Nachortung (unten).

Literatur

1. Weidling D.: Handbuch für Wassermeister; Oldenburg Verlag, München, 1988, p. 201-212.

Akustisches Korrelationsverfahren

(Leckanalyse und Leckortung)

Allgemeine Informationen

Das Korrelationsverfahren eignet sich vorzüglich für die Leckerkennung (Vorortung) sowie für die punktgenaue Leckortung.

Anwendung

Leckverlustanalyse und Leckortung an Wasser-, Gas-, Fernheizleitungen und Installationen. Orten von Rohrverstopfungen, Rohrreduktionen sowie unbekannten Abzweigstellen.

Zielgrößen

Erkennen und Orten von Verlusten in Rohrnetzen ohne Netzmanipulationen.

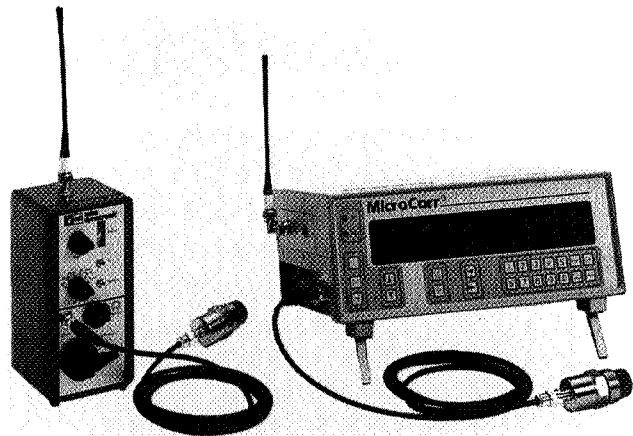
Das Verfahren ist unabhängig von Witterung und Umweltlärm im Bereich der Schadenstellen.

Messprinzip/Interpretation

Tritt Wasser aus einem unter Druck stehenden Rohr aus (Leck), so entsteht ein charakteristisches Geräusch, das sich entlang der Rohrleitung beidseitig ausbreitet bzw. fortpflanzt. Die angebrachten Mikrofone (Schallaufnehmer) auf Armaturen oder Hydranten nehmen die von einer Leckstelle ausgehenden Schallsignale auf. Nach Filterung und Verstärkung werden diese über Funk oder Kabel zum Korrelator geleitet und sofort ausgewertet.

Aus dem Laufzeitunterschied der beiden Geräusche und der Vorgabe (Distanz der Schallaufnehmer und Rohrgeschwindigkeit) ermittelt der Korrelator den Abstand der Leckstelle (Geräuschquelle) von den Aufnehmern.

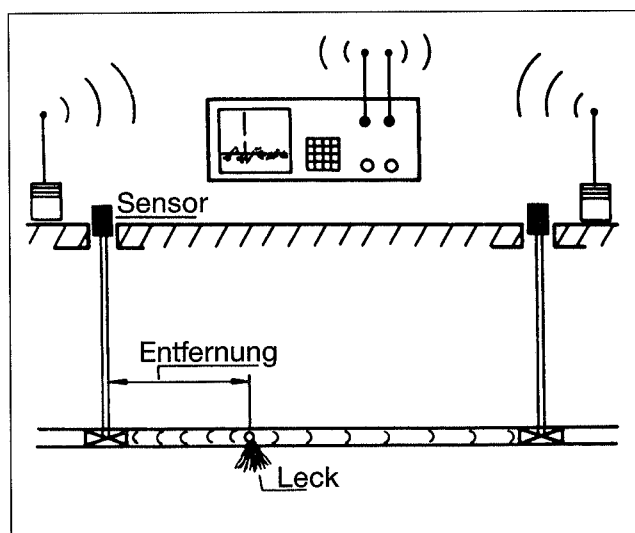
Über jede Messstrecke oder geortete Leckstelle kann ein Protokoll mitsamt den technischen Angaben ausgegeben werden.



Ausrüstung für das akustische Korrelationsverfahren.



Korrelator.



Messprinzip schematisch.

Arbeitsablauf

Aufgrund der Netzstruktur, Verbrauchsanordnung, Rohrleitungsmaterialien und allgemeinen Versorgungsverhältnissen werden Schwingungsaufnehmer, Hydrophone oder Luftaufnehmer in Abständen von ungefähr 50 - 150 m an zugänglichen Netzteilen montiert. Unter stetigem Versetzen dieser Aufnehmer wird das gesamte Rohrnetz vollständig analysiert.

Hauszuleitungen mit über 30 m Entfernung von der Hauptleitung werden separat ausgemessen. Die vorhandenen Leckstellen werden dabei sofort lagegenau ersichtlich.

Es werden alle Leckstellen angezeigt, die auch geortet werden können.

Beurteilung

Die korrelative Verlusterfassung und Leckortung mit Spezialgeräten darf als moderne und wirtschaftliche Methode eingestuft werden. Die Untersuchungsmethode erfordert keine Netzmanipulationen, es entstehen somit keine Versorgungsstörungen und Lieferunterbrüche. Ferner behindern keine Umwelteinflüsse wie Lärm, Frost oder abnorme (tiefe) Leitungsverlegung den Untersuchungsablauf.

Die Technik wird vor allem von auf Lecksuche spezialisierten Unternehmungen ausgeführt.

Literatur

1. Fuchs H.V.: Neue DELIWA-Zeitschrift, Heft 6/90, Fraunhoferinstitut für Bauphysik, 7000, Stuttgart.
2. Kober E.: Grenzen des Korrelationsverfahrens an Leitungen aus mehreren Werkstoffen; 3R international, Heft 1/2, 1986, Stuttgart.
3. Berge H., Laske Ch.: Korrelationsverfahren zur Wasserverlustminderung; gwf-wasser/abwasser, Heft 6, 1986, p.288-293.

Gasspürmethoden zur Leckortung

Allgemeine Informationen

In der Fachliteratur (z.B. Lit. 4) sind diverse Verfahren zur Detektion der aus erdverlegten Gasleitungen unerwünscht austretenden Gase (Erdgas, Flüssiggas-Luftgemische) beschrieben und durch den SVGW empfohlen. Die Periodizität dieser Kontrollen ist in der SVGW-Richtlinie G2 (Lit. 2) festgelegt.

Anwendung

Die Verfahren werden bei erdverlegten, gasführenden Leitungen (aus Metall oder Kunststoff) angewandt.

Zielgrößen

Die Verfahren ergeben eine indirekte Information über die an der Erdoberfläche festgestellten Gaskonzentrationen. Die quantitativen Informationen erfordern eine Auswertung. Die allfällige Leckstelle muss durch Nachmessungen geortet werden.

Messprinzip/Interpretation

Um Gasleckagen wirksam bekämpfen zu können, ist es notwendig, eine möglichst exakte Übersicht über den Zustand des Netzes zu haben. Dazu müssen systematisch vergleichbare Resultate gesammelt und ausgewertet werden. Aufgrund dieser Auswertung können gezielt Unterhalts- und Instandhaltungsmassnahmen durchgeführt werden.

Geeignete Überwachungsmethoden sind:

- Registrierung der Geruchsmeldungen
- Abhören der Gasleitungs-Strassenüberdeckung mittels Spezialgeräten (→ S. 168)
- Absaugen der Bodenluft und Messen der Gaskonzentration mittels hochempfindlicher Lecksuchgeräte.

Die gesammelten Resultate werden im Netzplan eingetragen. Damit können die positiven und negativen Veränderungen im Laufe der Zeit festgestellt und ausgewertet werden. Ein Erfolg der Gasspürung über Leitungsnetzen ist nur dann gewährleistet, wenn die Lage der Leitungen genau bekannt ist. Ein sorgfältig angelegtes und gewissenhaft nachgeführtes Katasternetz ist daher die Grundvoraussetzung für die Durchführung der Lecksuche. Bei der Auswertung von Gaskonzentrationsmessungen ist zu beachten, dass sich Gas im Boden entlang von Hohlräumen (z.B. andere Werkleitungen) ausbreitet und dadurch der oberflächliche Gasaustritt nicht unbedingt in der Nähe der Leckstelle auftreten muss.

Arbeitsablauf

Bohrlochmethode:

Bei der früher ausschliesslich angewandten Bohrlochmethode werden mit Hand- oder Pressluftwerkzeugen alle 2 Meter Sondenlöcher von 30 - 40 cm Tiefe geschlagen. In die Bohrlöcher wird eine Sonde eingesetzt, die mit einem Gasspürgerät verbunden ist. Die Gasprobe wird – möglichst unter Abschluss des Sondenloches gegen die Atmosphäre – aus dem Bohrloch abgesaugt. Dieses Verfahren wird in zunehmendem Masse abgelöst durch die Methode des Ansaugens mit Hilfe des Leak-Plotters.

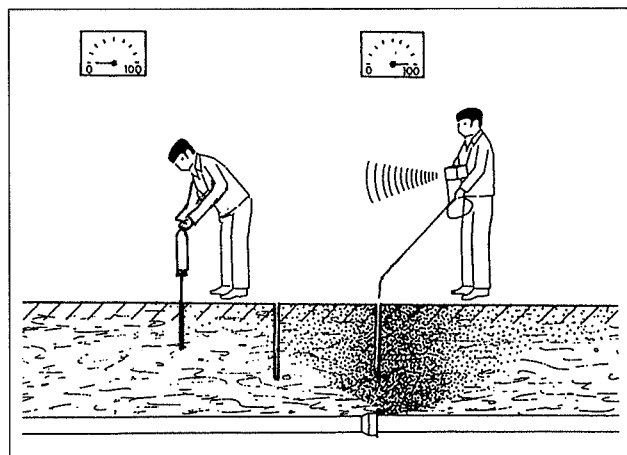
Ansaugsonde, Leak-Plotter:

Mittels einer Saugglocke oder eines Saugteppichs wird die Strassenoberfläche abgefahren; das sehr empfindliche Gerät registriert die lokale Gaskonzentration und damit mögliche Leckstellen. Da das Analysegerät grundsätzlich auf alle Kohlenwasserstoffe anspricht, ergeben auch Autoabgase, Benzin- und Ölflecken eine Anzeige am Instrument und täuschen so eine Undichtheit im Leitungsnetz vor. Mit Hilfe von Filtern, die nur für Methan durchlässig sind, lassen sich diese Fehlanzeigen ausschalten.

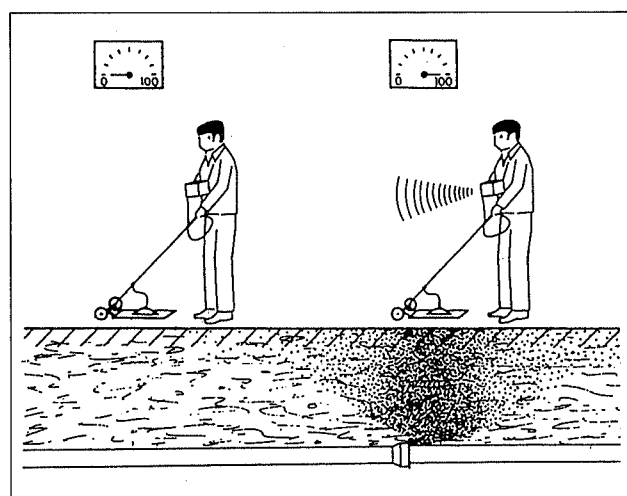
Zur genaueren Ortung der Schadenstelle muss im Bereich der vermuteten Leckstellen in einem zweiten Arbeitsgang die Bohrlochmethode verwendet werden.

Beurteilung

Die systematische Lecksuche mit Hilfe der beschriebenen Verfahren ist z.Z. neben den verschiedenen Methoden der Verbrauchsmessung die einzige Methode, welche eine objektive Beurteilung der Dichtigkeit eines Gasleitungsnetzes zulässt. Die ausführenden Arbeiter müssen gut geschult sein und über praktische Erfahrung verfügen.



Lecksuche mit Bohrlochmethode.



Lecksuche mit Ansaugsonde.

Literatur

1. Pucknat D.: Leckstellen in Gasnetzen: Ortung und Beurteilungskriterien; gwf-gas/erdgas 121 (1980) Nr. 5, p. 190 -196.
2. SVGW: G2, Richtlinie für Bau, Unterhalt und Betrieb von Gasleitungen mit Betriebsdruck bis 5 bar, 1986.
3. SVGW: Sanierung von Gasnetzen; SVGW-Sonderschrift, 1975.
4. Votapek E.: Gasverluste und Spürgeräte zu deren Ermittlung; Gas Wasser Abwasser, Heft Nr. 4, 1974, p. 135.

Korrosion bei Leitungsnetzen

Ausgangslage

Das Gas- und Wasserleitungsnetz der Schweiz besteht zu etwa 90 % aus metallischen (Grauguss, duktiler Guss und Stahl) und zu etwa 10 % aus nichtmetallischen Werkstoffen (Eternit und Kunststoff teilweise mit PE-Umhüllung). Bei Neuverlegungen werden heute in der Regel vollgeschützte Rohre aus duktilem Guss mit Polyurethan- (oder Zement-) Innen- und Aussenbeschichtung eingesetzt. Die Nutzungsdauer dieser Systeme beträgt 100 Jahre. Vermehrt werden auch Kunststoffrohre eingesetzt.

Vielerorts nimmt das mittlere Alter der Leitungsnetze nach wie vor zu und beträgt heute teilweise mehr als 60 Jahre; ein klares Indiz dafür, dass die Erneuerungsquote teilweise zu tief ist. Ein kontinuierlicher Anstieg der Schadenrate und ein zunehmender Erneuerungsdruck sind die Folgen.

Richtlinien für Bau, Unterhalt und Betrieb von Gas- und Wasserleitungen (Lit. 1-3) enthalten Angaben zum Korrosionsschutz. Trotzdem treten in praktisch sämtlichen Gebieten der Schweiz Korrosionsschäden auch bei nur 5 bis 20 Jahre alten Leitungen auf, wenn diese als Erdung für die Hausinstallation verwendet und ohne Kunststoffumhüllung verlegt wurden. Rohrleitungsbrüche an alten Graugussleitungen – oft fälschlicherweise auf mechanische Überbeanspruchung (z.B. Verkehr, Setzungen, etc.) zurückgeführt – sind in den allermeisten Fällen durch die Korrosion zumindest mitverursacht.

Die Schadenhäufigkeit variiert mit 0.1 bis 0.6 Schadenfällen pro Leitungskilometer und Jahr sehr stark. Sehr unterschiedlich sind auch die Folgekosten eines einzelnen Korrosionsschadens (Wasserschaden, Explosionen etc.).

Öl- und Hochdruckgasleitungen unterliegen den Bestimmungen des Eidg. Rohrleitungsinspektorates (ERI) und müssen kathodisch gegen Korrosion geschützt und überwacht werden.

Rohrleitungsbrüche infolge von Setzungsvorgängen im Baugrund (allgemeine Setzungen, Kälte, Trockenheit) werden hier nicht behandelt. Ebenfalls nicht eingegangen wird auf Korrosionsvorgänge bei Kanalisationsleitungen (Betonkorrosion aufgrund von Ettringitbildung ausgelöst durch Sulfate). Da Kanalisationen in der Regel aus nichtmetallischen Werkstoffen bestehen, stehen dort andere Schadensursachen (z.B.: Beschädigungen durch Verkehrslasten, undichte Fugen etc.) im Vordergrund.

Zustandserfassung und -beurteilung

Systematische Untersuchungen zur Erfassung des Korrosionszustandes der Leitungsnetze werden nur selten durchgeführt. Abklärungen werden meist erst vorgenommen, wenn sich Schadenfälle häufen

Der Aufbau dieses Datenblattes weicht von der üblichen Strukturierung ab. Für die Erfassung des Korrosionszustandes von metallischen Rohrleitungen besteht heute kein etabliertes Vorgehen. Die Problematik hat jedoch einen sehr hohen Stellenwert im Rahmen der Erhaltung unserer Infrastruktur.

In Absprache mit verschiedenen Fachleuten haben sich die Verfasser entschieden, das heute bekannte Wissen in einer etwas allgemeineren, von der üblichen Datenblattstruktur abweichenden Form wiederzugeben.

und/oder Schutzmassnahmen notwendig erscheinen.

Nachfolgend wird zwischen Innen- und Aussenkorrosion unterschieden. Die Streustromkorrosion wird im Rahmen der Aussenkorrosion behandelt.

Innenkorrosion

Wasserleitungen sind wegen der Ablagerung von korrosionshemmenden Kalkschichten durch Innenkorrosion generell weit weniger gefährdet als durch Aussenkorrosion.

Innenkorrosionsgefährdet sind besonders Leitungsstränge mit sehr geringem Wasserdurchfluss (z.B. selten gebrauchte Feuerlösch- und Hydrantenleitungen). Eine Gefährdung tritt auch dann auf, wenn die Ausbildung der korrosionshemmenden Kalkschichten aufgrund der Wasserzusammensetzung nicht stattfindet (z.B. weiches Wasser im Alpengebiet oder Tessin).

Bei einer Untersuchung sind deshalb zunächst die aktuellen Strömungsverhältnisse (Betriebsbedingungen) im heute oft redundanten Rohrnetz zu bestimmen. Allenfalls ist diesbezüglich ein korrigierender Eingriff möglich, ein gleichmässiger Durchfluss in allen Rohrsträngen ist anzustreben.

Die chemische Zusammensetzung des Wassers kann, eine korrekte Probenahme und -analyse vorausgesetzt, relativ einfach bestimmt werden. Eine Beeinflussung ist jedoch in den wenigsten Fällen möglich. Unter bestimmten Umständen ist eine leichte Anhebung des pH-Wertes möglich.

Aussenkorrosion

Die vielfältigen Ursachen der Aussenkorrosion sind im Kasten aufgeführt. Der gleichmässige Korrosionsabtrag ist sehr langsam. Erhebliche lokale Korrosionsangriffe treten bei der Ausbildung von sogenannten Makroelementen auf. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt bei einer leitenden Verbindung zwischen der Leitung und Stahlbetonfundamenten (z.B. Hauszuleitungen).

Durch Verwendung von isolierenden Muffen zur Unterbindung der Längsleitfähigkeit und eines Erdungssystems ohne Wasserleitungen kann diese Makroelementbildung weitgehend unterbunden werden. Mit der Kombination von isolierenden Muffen und einer Umhüllung (PUR oder Zement) kann die Aussenkorrosion (inkl. Streustromkorrosion) verhindert werden. Diese Schutzmassnahmen behandelt die Richtlinie C2 (Lit. 4) der Korrosionskommission. Erdungsmöglichkeiten ohne Wasserleitungen behandelt die 1987 erschienene Weisung des Eidg. Starkstrominspektorates (ESTI) (Lit. 5).

Zur Ursachenermittlung stehen bei Aussenkorrosion praktisch nur Korrosionspotential-, Widerstands- und Strommessungen am Rohrleitungsnetz sowie Bodenuntersuchungen (z.B. Bestimmung des spez. Bodenwiderstandes etc.) zur Ver-

- Betriebsbedingungen (z.B. ungenügende Durchflussgeschwindigkeit)
- Kein oder ungenügender Innenschutz
- Zusammensetzung des Wassers

Ursachen der Innenkorrosion.

- Makroelemente
 - Leitung/Fremdkathode wie z.B. Stahlbetonfundamente
 - inhomogene Bettung: Querung verschiedener Bodenarten
 - Lokal verunreinigte Bettung durch z.B. Holz, Lehm oder Streusalz
- Streuströme von Gleichstrombahnen
- Kein oder ungenügender Aussenschutz
- Aggressivität des Bodens

Ursachen der Aussenkorrosion.

fügung. Sondieröffnungen werden nur in seltenen Fällen ausgeführt (Aufwand!). Im Zusammenhang mit der Streustromkorrosion müssen Korrosionspotential-, Widerstands- und Strommessungen am Rohr- und Stromrückleitungsnetz der Bahn(en) durchgeführt werden (Lit. 6 und 7).

Der Einsatz von intelligenten Molchverfahren zur Erfassung des Zustandes von Rohrleitungen beschränkt sich z.Z. aus Kostengründen auf wichtige Leitungen aus Stahl. Dank der heute möglichen Miniaturisierung ist in Zukunft ein Einsatz auch bei Leitungen mit kleinerem Durchmesser möglich. Diese Entwicklung sollte bereits heute bei der Planung und Ausführung von Netzerweiterungen und -erneuerungen berücksichtigt werden (Einführungen für Molche vorsehen).

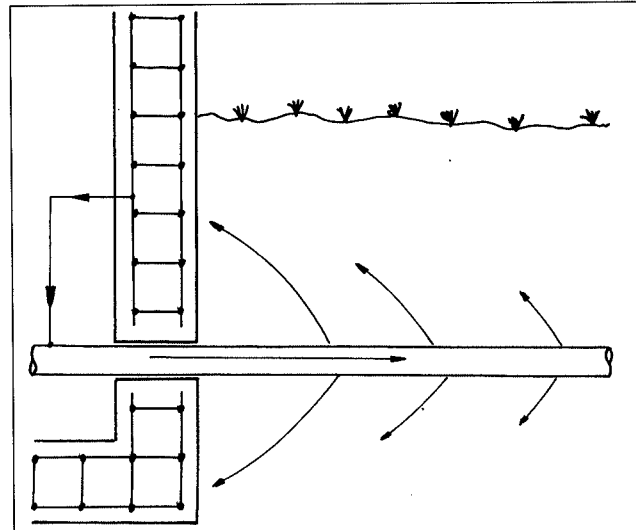
Das Kanalfernsehen liefert nur sehr beschränkte Aussagen über den Korrosionszustand von Rohrleitungen, es erlaubt insbesondere keine Aussage über lokale Schwächungen bzw. über die noch vorhandene Restwanddicke. Es wird daher nur selten angewendet.

Fazit

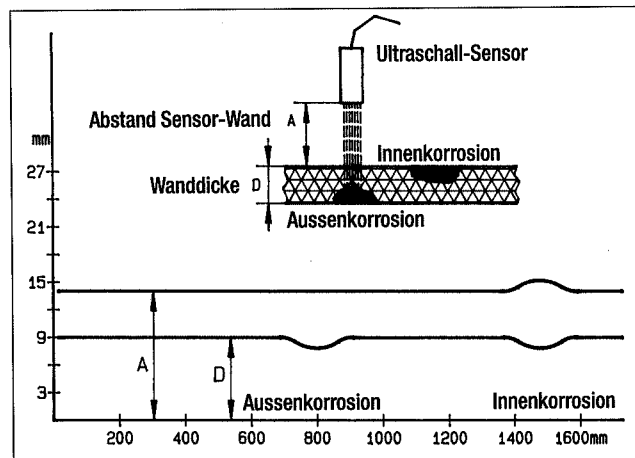
Der Korrosionsschutz metallischer Leitungen bedarf bei der Projektierung und Ausführung neuer Leitungen einer stärkeren Beachtung, es ist ein dauerhafter innerer und äußerer Korrosionsschutz erforderlich. Der Einsatz der heute verfügbaren, voll geschützten Rohre wird sich durch eine relevante Verlängerung der Nutzungsdauer auszahlen. Auch sollten Wasserleitungen nicht mehr als Erdungssysteme missbraucht werden. Diese Erkenntnis beginnt sich heute durchzusetzen, da der Ersatz von Leitungen meist sehr kostspielig sowie betriebs- und verkehrsbehindernd ist.

Literatur

1. SVGW: G2, Richtlinien für Bau, Unterhalt und Betrieb von Gasleitungen mit Betriebsdruck bis 5 bar, 1986.
2. SVGW: W4, Richtlinien für den Bau von Trinkwasserleitungen, 1975.
3. SVGW: W11, Richtlinien für ein Brunnenmeisterpflichtenheft, 1987.
4. Korrosionskommission: C2, Richtlinien zum Korrosionsschutz von erdverlegten metallischen Anlagen, 2. überarbeitete Auflage, 1993 (publiziert in Gas Wasser Abwasser, 10/1993).
5. SEV: 4118, Lösungsmöglichkeiten für die Erdung mit und ohne Benützung des Wasserleitungsnetzes, 1987.
6. Korrosionskommission: C3, Richtlinien zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen, Ausgabe 1995.
7. Stalder F., Hunkeler F.: Korrosion durch Streuströme; Gas Wasser Abwasser, Vol. 66 (1986), Heft 12.
8. Lenz I.: Sanierung von Rohrleitungen und unterirdischer Rohrvortrieb; Vulkan Verlag, Essen, 1989.



Stromfluss im Makroelement: Metallische Rohrleitung in Fundamentarmierung, aus Lit. 4.



Wanddickenbestimmung einer Rohrleitung mit einem intelligenten Molch, aus Lit. 8.

Persönliche Notizen:

Persönliche Notizen:

5 Neubau und Überwachung

5.1	Grundsätzliches	180
------------	------------------------	------------

5.2	Beispiel aus dem Hochbau	185
	Fassadenverkleidung Bahnhofneubau Luzern	

5.3	Beispiel aus dem Brückenbau	186
	Problemstellung	
	Spannglieder mit Überwachung des Korrosionsschutzes	
	Brückenlager mit Fernablesung	
	Kontrolle der Auflagerkräfte	
	Deformationsüberwachung mittels «Wasserwaage»	
	Deformationsmessungen mit LAS-System	
	Neigungsmessungen	
	Überwachung der Korrosionsbedingungen	

5.1 Grundsätzliches

Neubau und Überwachung – Ein Zusammenhang?

Erhaltungsaufgaben haben in den letzten 10 Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Damit haben viele Fachleute den Zusammenhang zwischen Neubau und Überwachung hautnah kennengelernt. Die Überschrift wird deshalb bei einigen Erinnerungen an widrige Randbedingungen und beschwerliches Arbeiten wachrufen. Fehlende technische Unterlagen (u.a. auch Nutzungs-, Sicherheits-, Überwachungs- und Unterhaltspläne), erschwerte oder verunmöglichte Zugänglichkeit, fehlende Kontrolleinrichtungen, eine überwachungs- und unterhaltsfeindliche Konzeption des Bauwerkes etc. erschweren und verteuern die Überwachung. Damit wird der Zusammenhang zwischen Neubau und Projektierung und Überwachung einleuchtend.

SIA Normen 160 und 162

Die im Jahre 1989 in Kraft gesetzten SIA Normen 160, «Einwirkungen auf Tragwerke» und 162, «Betonbauten» geben klare Hinweise bezüglich der Berücksichtigung der Aspekte der Überwachung und des Unterhaltes bei der Projektierung. In der Norm SIA 160 werden die im Rahmen der Projektierung ausgearbeiteten Sicherheits- und Nutzungspläne als Grundlage für die Überwachung und den Unterhalt definiert. Ziffer 2 23 der Norm SIA 162 (vgl. nebenstehender Kasten) macht zudem präzise Aussagen, welche Aspekte beim Entwurf eines Tragwerkes zu berücksichtigen sind, dabei betreffen mindestens drei direkt die Überwachung und den Unterhalt.

«Beim Entwurf der Tragwerke sind ausser der erforderlichen Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit möglichst auch die folgenden Aspekte zu beachten:

- funktionelle Anforderungen an das Bauwerk, z.B. Bauphysik und technische Installationen
- voraussehbare Änderung der Nutzung, eventuelle Beseitigung und Abbruch
- Wirtschaftlichkeit, **Dauerhaftigkeit und Unterhalt**
- Gestaltung der Bauwerke und Bauteile
- **gute Zugänglichkeit von unterhaltsbedürftigen Bauteilen**
- **besonders dauerhafte Ausbildung nicht kontrollierbarer Bauteile**
- sinnvolles Zusammenwirken von Bauteilen aus verschiedenen Baustoffen»

Norm SIA 162, 2 2 Projektierung, Ziffer 2 23 (Fettdruck durch Verfasser).

SIA Norm 469, Erhaltung von Bauwerken (1997)

Die SIA-Norm 469 hat 1997 die SIA-Empfehlung 169, Erhaltung von Ingenieurbauwerken von 1987 ersetzt. Die neue Norm regelt die Begriffe und Aufgaben in der Bauwerkserhaltung und bildet damit eine wichtige Grundlage für den Umgang mit Bauwerken während deren Nutzungsdauer.

Die Tätigkeiten, die sich zwischen Neubau und Abbruch/Ersatz parallel zur Nutzung mit der (Wert-)Erhaltung der Bauwerke befassen, werden unterteilt in: Überwachung, Unterhalt und Veränderung.

Gemäss SIA 469 zielt die Überwachung darauf ab, die Entwicklung des Zustandes eines Bauwerkes festzustellen, zu werten und daraus Empfehlungen für das weitere Vorgehen abzuleiten.

Eine wichtige Unterscheidung erfolgt zwischen planbaren und nicht planbaren Tätigkeiten.

Überwachung – Überprüfung

Aus den verschiedenen Überwachungstätigkeiten resultieren Empfehlungen für das weitere Vorgehen. Für den Fall, dass die Überwachung keine zuverlässigen Aussagen liefert, sieht die Norm eine Überprüfung vor. Die Überprüfung liefert aufgrund der Ergebnisse der Überwachung und allfälliger zusätzlicher Untersuchungen eine Beurteilung des Bauwerkes oder von Teilen davon und Empfehlungen für das weitere Vorgehen.

Überwachung in der Praxis

Ein äusserst wichtiges Element der Überwachung bildet die gezielte Beobachtung. Diese erfolgt durch die Eigentümerschaft oder durch von ihr Beauftragte (Hauswart, Unterhaltsdienst, Bedienungspersonal). In der Regel werden dafür also nicht Fachleute eingesetzt. Die Beobachtungen erfolgen speziell bei Ingenieurbauwerken wie Brücken, Tunnels etc. oft unter erschwerten Bedingungen (schlechtes Wetter, Bauwerk steht unter Betrieb etc.). Die Anforderungen an das beauftragte Personal sind hoch. Es ist deshalb von grosser Bedeutung, dass bereits in der Projektierung und Ausführung günstige Voraussetzungen für die Beobachtung geschaffen werden. Diese Forderung gilt gleichermassen für die Inspektion.

Altbekannte Forderungen

Einige Forderungen – sie sind im nebenstehenden Kasten aufgelistet – sind schon lange bekannt und werden heute bei der Projektierung und Ausführung meist berücksichtigt. Einige davon können auch mit dem Begriff «überwachungs- und unterhaltsfreundliche Konzeption» eines Bauwerkes umschrieben werden.

Ziel der Überwachung ist es, die Entwicklung des Zustandes eines Bauwerkes festzustellen, zu werten und daraus Empfehlungen für das weitere Vorgehen abzuleiten.

«Die Überwachung umfasst planbare und nicht planbare Tätigkeiten. Zu den planbaren Tätigkeiten gehören:

- gezielte Beobachtung
- regelmässige Inspektionen (Haupt- und Zwischeninspektionen)
- periodische Kontrollmessungen
- regelmässige Funktionskontrollen.

Nicht planbare Überwachungstätigkeiten umfassen beispielsweise:

- Beobachtungen Dritter
- Sonderinspektionen»

Ziel und Tätigkeiten der Überwachung, SIA-Norm 469, Ziffer 3 11 1 und 3 11 2.

- Überwachungs- und unterhaltsfreundliche Konzeption des Bauwerkes
- Alle Hohlräume müssen zugänglich sein
- Bewegliche Elemente müssen bezüglich ihrer Funktionstüchtigkeit überprüft werden können
- Für häufige Kontrollen ist die Zugänglichkeit mittels fester Installationen vorzusehen, Beleuchtung und Stromanschlüsse einplanen
- Häufige Kontrollen sollen möglichst unabhängig vom Betrieb durchgeführt werden können
- Verschleissteile wie Lager, Fahrbahnübergänge etc., die eine kürzere Lebensdauer als das Bauwerk aufweisen, sind einfach auswechselbar auszubilden
- Dokumentation des ausgeführten Bauwerkes

Altbekannte Forderungen.

Zielsetzungen

Fachleute aus Forschung und Entwicklung, aber auch aus Projektierung, Ausführung und Erhaltung haben sich in den vergangenen Jahren intensiv mit den Fragen der Überwachung auseinandergesetzt. Zwei Randbedingungen stehen im Vordergrund:

1. Die Beobachtung (häufige Kontrollen durch den Unterhaltsdienst) muss mit einem möglichst geringen zeitlichen Aufwand auch durch weniger fachkundiges Personal durchgeführt werden können, und
2. Die Kontrollen sollen den Betrieb nicht beeinträchtigen.

Vereinfacht: es müssen die Voraussetzungen für eine einfache, «narrensichere» und betriebsunabhängige Überwachung geschaffen werden. Dieses Ziel kann nur durch entsprechende Massnahmen in der Projektierung und Ausführung erreicht werden.

Überwachungs- und Unterhaltsplan

Eine erste Voraussetzung zur Erfüllung dieser Forderungen ist, dass besser vor Beginn, aber spätestens vor Abschluss der Bauarbeiten ein Konzept für die Überwachung ausgearbeitet wird. Ohne Konzept können keine sinnvollen Massnahmen vorgesehen bzw. realisiert werden. Dieses Konzept muss auf den im Sicherheits- und Nutzungsplan festgehaltenen Grundlagen, insbesondere auf den Gefährdungsbildern, aufbauen.

Das Konzept für die Überwachung bildet die Grundlage für den Überwachungs- und Unterhaltsplan. Im Überwachungsplan müssen wichtige Randbedingungen quantifiziert werden, z.B.: in welchem Bereich ist eine Verschiebung der Lager tolerierbar oder welche Setzungen können ohne weitere Massnahmen oder Abklärungen toleriert werden. Fehlen diese Angaben, ist eine Beurteilung durch die Unterhaltsequipe unmöglich.

Massnahmen am Bauwerk

Grenzwerte können in zahlreichen Fällen direkt am Bauwerk sichtbar gemacht werden (vgl. nachfolgende Beispiele). Eine Dokumentierung am Bauwerk, z.B. mit einfachen Grenzwertmarken, ermöglicht es, während der Kontrolle ohne Rückgriff auf Papier eine ungünstige Veränderung festzustellen. Solche Markierungen müssen einfach verständlich, eindeutig und auf das technische Verständnis der Unterhaltsequipe ausgerichtet sein.

Einfach

Narrensicher

betriebsunabhängig

Anforderungen an Kontrollmassnahmen.

«Der Überwachungsplan enthält:

- die zu überwachenden Einwirkungen
- Hinweise für die gezielte Beobachtung
- Angaben der Bauteile, die einer speziellen Überwachung bedürfen
- Zeitraster der wiederkehrenden Inspektionen (Haupt- und Zwischeninspektionen)
- Hinweise für die wiederkehrenden Kontrollmessungen (Art, Ort, Zeitraster, Kenngrössen mit Angabe von Melde- und Alarmwerten)
- Hinweise für die wiederkehrenden Funktionskontrollen (Art, Ort, Zeitraster)
- Vorgaben zum optimalen Betrieb der Anlagen.»

«Der Unterhaltsplan bezeichnet die planbaren regelmässigen Unterhaltsarbeiten. Diese Arbeiten betreffen:

- Arbeiten im Rahmen der Instandhaltung (z.B. periodische Wartung technischer Anlagen)
- regelmässige Inspektionen (Haupt- und Zwischeninspektionen)
- Instandsetzung, Erneuerung oder Ersatz einzelner Bauteile von geringerer Dauerhaftigkeit.»

Überwachungs- und Unterhaltsplan, SIA-Norm 469, Ziffer 4 43 und 4 44.

Grenzwerte – Entscheide sichtbar machen!

Ein immer wieder vernachlässigter Punkt ist die Zugänglichkeit von Kontrollpunkten. Der projektierende Ingenieur muss sich bewusst sein, dass sich ein mangelhafter Zugang während der ganzen Lebensdauer eines Bauwerkes auf die Überwachungs- und Unterhaltstätigkeit auswirkt. Im schlimmsten Fall können gewisse Kontrollen erschwert oder gar verunmöglicht werden! Es gibt zahlreiche Möglichkeiten (z.B. Fernablesung), diesbezüglich günstige Voraussetzungen zu schaffen. Bei Leitungsnetzen könnten unter dem Stichwort Zugänglichkeit z.B. spezielle Einführstutzen für Molche an Rohrleitungen oder eine bewusste Abstufung von Kanalisationsdurchmessern (entweder begehbare Rohre $\varnothing \geq 1000$ mm oder kleine Rohre $\varnothing \leq 400$ mm, die mit Kanalfernsehen kontrolliert werden können) genannt werden.

Ein weiteres Stichwort betrifft die Lokalisierung bzw. das Bezugssystem. Bei Strassen und Leitungsnetzen ist die Kilometrierung ein geläufiger Begriff, nur ist diese auf dem Feld oft schwer zu rekonstruieren. Mit einfachen Mitteln wurden in den letzten Jahren an vielen Orten diesbezüglich Verbesserungen erreicht.

Zum Stichwort Lokalisierung gehört aber auch ein korrekter Nachtrag jeder Leitung im Leitungskataster oder im Minimum im entsprechenden Werkplan. Dies ist noch heute bei weitem nicht selbstverständlich. Es gibt noch zahlreiche Gemeinden, wo mit dem Hinschied eines Werkmeisters die gesamten Informationen über die Werkleitungen verloren gehen.

Auch bei den Ingenieurbauwerken sind bezüglich Bezeichnung von Bauteilen noch grosse Fortschritte möglich. Zusätzlich zum Anbringen einer Objektnummer – um grobe Verwechslungen zu vermeiden – ist es durchaus denkbar, weitere Unterteilungen des Bauwerkes im Hinblick auf die Überwachung bei der Erstellung am Bauwerk dauerhaft zu markieren (z.B. Bezeichnung der Widerlager, der Lager, der Stützen sowie weiterer Tragwerksteile etc.).

Kontrollpunkte zugänglich bzw. einsehbar machen.

Lokalisierung, Bezugssystem definieren und am Bauwerk markieren.

Ingenieurbauwerke

Bezugssystem am Bauwerk markieren (vgl. Text).

Stützen, Lager etc. beispielsweise mit Marke am Brückenkasten bezeichnen.

Grenzwerte am Bauwerk markieren (z.B. Lagerbewegung).

Zugänge

mit festen Treppen, Leitern und Schutzgerüsten ausstatten. Zugangstüren abschliessbar machen (Schliesssystem, nicht für jede Türe einen anderen Schlüssel!).

Strassen

Bezugspunkte in der Strassenachse markieren (VSS SN 640 910).

Rohrleitungsnetze

Netzabschnitte für spätere Überwachung konzipieren und mit entsprechenden Absperrorganen ausrüsten.

Permanente Messeinrichtungen allenfalls mit permanenter Aufzeichnung und Fernübertragung einrichten.

Einführstutzen für Molche vorsehen.

Nullmessungen bezüglich Korrosionspotential etc. vornehmen.

Kanalisationen

Durchmesserwahl: ≤ 400 mm günstig für Kanalfernsehunguntersuchung bzw. ≥ 1000 mm geeignet für Begehung, keine Zwischendurchmesser bei Neuprojekten verwenden.

Einige Beispiele für Massnahmen (Ergänzung der Beispiele).

Bauwerksakten

Die Bauwerksakten bilden eine unerlässliche Grundlage für die Bauwerkserhaltung. Die Wichtigkeit nach Abschluss der Ausführungsarbeiten eine zutreffende und übersichtliche Bauwerksdokumentation zusammenzustellen, wird sowohl von Seite der projektierenden und bauleitenden Ingenieure, als auch von Seite vieler Bauherren sträflich vernachlässigt. Die Bauwerksakten sind nicht einfach eine Sammlung sämtlicher Pläne, Aktenstücke und Notizen, die sich während der Projektierungs- und Ausführungsphase in den Dossiers angesammelt haben. Diese Unterlagen müssen aufgearbeitet, auf das Wesentliche reduziert und übersichtlich geordnet werden. Der nebenstehende Kasten gibt die Aufzählung der Bestandteile der Bauwerksakten (Bauwerksdokumentation) gemäss der SIA Norm 469 wieder.

Die SIA Norm 469 bezeichnet einen Teil der Bauwerksakten als Dokumente für die Bauwerkserhaltung. Diese enthalten die Akten, die spezifisch für die Erhaltungstätigkeit notwendig sind. Die Norm empfiehlt bzw. schreibt vor, bei lückenhaften Bauwerksakten bei Abschluss einer Instandsetzung, Erneuerung oder Veränderung wenigstens die für die Bauwerkserhaltung notwendigen Dokumente nachträglich zu erstellen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Teilleistungen «Dokumentation über das Bauwerk» (SIA 103, Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure) nicht die vollständige Aufarbeitung der Bauwerksakten umfasst. Die Festlegung dieser Leistungen und die Vereinbarung des zu vergütenden Honorars sollte möglichst frühzeitig erfolgen. Der Bauherr seinerseits darf nicht vergessen, den entsprechenden Posten in seiner Kreditaufstellung zu berücksichtigen.

Beispiele

Die nachfolgenden Beispiele aus dem Hoch- und Brückenbau stellen eine kleine Auswahl von durchdachten Konzepten und Lösungen dar, die in den letzten Jahren realisiert wurden. Sie sollen dem Leser die angeführten Überlegungen beispielhaft verdeutlichen. Die Darstellungen basieren auf Angaben aus den jeweiligen Projekten, die freundlicherweise von den beteiligten Fachleuten zur Verfügung gestellt wurden. Ihnen sei an dieser Stelle gedankt.

Es dürfte selbstverständlich sein, dass aufwendigere Vorkehrungen für die Überwachung – wie sie in den Beispielen teilweise dargestellt werden – durch eine besondere Gefährdung des Bauwerkes zu begründen sind.

Verzeichnisse
Rechtliche Grundlagen
Planungsgrundlagen
Technische Grundlagen
Anweisungen
Berichte, Statistiken

Übersicht über die Bauwerksakten gemäss Anhang A1 der SIA Norm 469.

Projektunterlagen
– Baukonzept
– Nutzungs- und Sicherheitsplan

Zusätzliche Unterlagen

- Verzeichnisse (Bauwerksakten, Inspektionen, Kontrollmessungen, Funktionskontrollen, Überprüfungen, Unterhalts- und Veränderungsmassnahmen, dokumentierte Funktionsstörungen)
- Überwachungs- und Unterhaltsplan
- je nach Bedarf weitere Dokumente wie:
 - Übersichtsplan des Bauwerks mit Kennzeichnung von dessen Teilen
 - Kontrollblätter
 - Statistiken (z.B. bezüglich des Verbrauchs von Energie)

Dokumente für die Bauwerkserhaltung gemäss SIA Norm 469, Ziffer 4.4.

5.2 Beispiel aus dem Hochbau

Fassadenverkleidung Bahnhofneubau Luzern

Ausgangslage

Der aus dem letzten Jahrhundert stammende Bahnhof Luzern fiel im Februar 1971 einem Grossbrand zum Opfer. In den Jahren 1983 bis 1991 entstand an der gleichen Stelle ein modernes Bahnhofgebäude. Für den architektonisch und städtebaulich exponierten Neubau wurde vom Architektenteam eine vorgehängte Natursteinfassadenverkleidung vorgesehen. Die Fassadenverkleidung bedeckt eine Fläche von insgesamt rund 2000 m². Fassadenverkleidungen sind eindeutig unter dem Begriff Tragwerk einzuordnen, da bei einem Versagen der Befestigungen Menschenleben gefährdet werden (SIA 160, Ziffer 0 12). Fassadenverkleidungen müssen deshalb in die Sicherheitsüberlegungen einbezogen werden. Für sicherheitsrelevante Bauteile schreibt die Norm zudem eine entsprechende Überwachung vor.

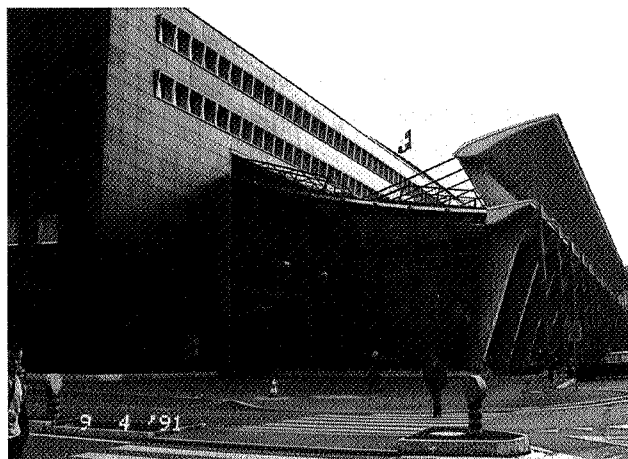
Lösungskonzept

Beim Neubau des Bahnhofes Luzern wurde die Problematik durch das verantwortliche Ingenieurteam frühzeitig erkannt. In Zusammenarbeit mit Bauherr, Prüfsingenieur und Architekt wurde ein Sicherheitskonzept für die Befestigung der Fassadenverkleidung ausgearbeitet. Die wesentlichen Elemente des Konzeptes sind im nebenstehenden Kasten zusammengestellt.

Bemerkungen

Für die Lösung der vorliegenden Problemstellung konnte – obwohl in der Schweiz ähnliche Fassaden «im Dutzend» realisiert wurden – nicht auf eine Normlösung zurückgegriffen werden. Eine einfache Schwachstellenanalyse hat den Weg zur Eliminierung der wunden Punkte an einem Fassadenbefestigungssystem aufgezeigt. Als Hinweis für die Festlegung der Anzahl der einfach demontier- und kontrollierbaren Platten hat sich der verantwortliche Ingenieur an der Angabe der Norm SIA 191, «Boden- und Felsanker» bezüglich der Anzahl der Kontrollanker orientiert.

Das Beispiel zeigt, wie für ein rechtzeitig und mit Einfallsreichtum angepacktes Problem erfolgreich eine allseits befriedigende Lösung gefunden werden kann.



Neubau Bahnhof Luzern.

- Überprüfung des gewählten Befestigungssystems bezüglich Dimensionierung, Funktionstüchtigkeit und Materialwahl
- Überprüfung der Fassadenbewegungen infolge Schwinden, Kriechen und Temperatur als Grundlage für die Dimensionierung
- Sämtliche Fassadenplatten demontierbar ausbilden
- 5% der Fassadenplatten an repräsentativen Standorten können zur periodischen Überwachung mit geringem Aufwand demontiert werden, bei den übrigen Platten wird ein grösserer Aufwand in Kauf genommen
- Überwachung der plangerechten Ausführung
- Periodische Kontrolle im Rhythmus von 5 Jahren

Konzept für Fassadenbefestigung.

Die Angaben wurden freundlicherweise von der «Ingenieurgemeinschaft Bahnhof Luzern» zur Verfügung gestellt.

5.3 Beispiel aus dem Brückenbau

Problemstellung

Brücken sind weitherum bekannt als Bauwerke höchster Ingenieurkunst. Die verbindende Funktion vieler Brücken dürfte ein wesentlicher Grund für dieses hohe Ansehen sein. Brücken bilden als Verkehrsträger in wirtschaftlicher, kultureller und gesellschaftlicher Hinsicht wichtige Lebensadern in unserer Gesellschaft. Ein Ausfall einer solchen Verbindung während längerer Zeit bedeutet für die betroffene Bevölkerung eine grosse Beeinträchtigung. Hinzu kommt die Gefahr für Menschen, Tiere und Sachen, die von einer einstürzenden Brücke ausgeht.

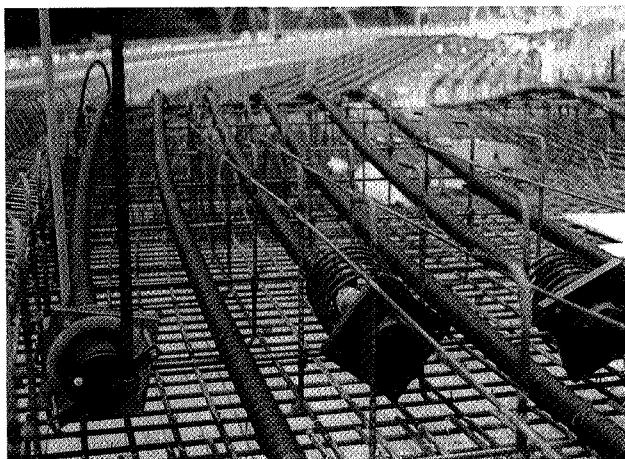
Brücken sind einer grossen Zahl von Beanspruchungen ausgesetzt. Neben der offensichtlichen durch den vorgesehenen Benützer – den Verkehr – können weitere Beanspruchungen aus dem Baugrund (Setzungen, Verschiebungen etc.), aus klimatischen Randbedingungen (Temperatur, Frost, Wind, Regen, Schnee, Tausalz etc.), aber auch von Naturgewalten (Lawinen, Hochwasser etc.) einer Brücke zu schaffen machen.

Es ist also durchaus berechtigt, einer Brücke periodisch auf den Zahn zu fühlen – d.h. ihren Bauwerkszustand zu untersuchen –, um bei feststellbaren Veränderungen rechtzeitig Massnahmen ergreifen zu können und damit Leben und Sachwerte vor Schaden zu bewahren. Die nachfolgenden Beispiele zeigen einige – nicht nur einfache – Möglichkeiten, die Überwachung von Brückenbauwerken zu erleichtern.

Spannglieder mit Überwachung des Korrosionsschutzes

Vorgespannte Spannglieder sind wichtige, gleichzeitig aber auch empfindliche Teile eines Tragwerkes und im speziellen von Brücken. Primär gefährdet sind Spannglieder durch Korrosion der Spanndrähte infolge unvollständiger Injektion des Hüllrohres und/oder Zutritt von chloridhaltigem Wasser an die Spanndrähte. Eine zuverlässige zerstörungsfreie oder -arme Inspektion ist trotz aufwendiger Forschungsarbeiten heute immer noch sehr schwierig. Zuverlässige Auskunft über den Zustand kann praktisch nur mit Sondieröffnungen gewonnen werden.

Zur Entwicklung neuer Methoden für die Überwachung des Korrosionszustandes von Spanngliedern wurden in den letzten Jahren grosse Anstrengungen unternommen. Dabei konnte auf den Erfahrungen aus der Entwicklung doppelt korrosionsgeschützter Permanentanker aufgebaut werden. Die neue Entwicklung basiert auf der Verwendung von Hüllrohren aus Kunststoff, die eine elek-



Verwendung elektrisch isolierter Spannglieder (mit Kunststoffhüllrohren).

trische Isolation der einzelnen Vorspannkabel gegenüber der übrigen Bewehrung ermöglichen. Die elektrische Isolation erlaubt eine quantitative Überprüfung der Dichtigkeit der dichten Umhüllung (Kunststoffhüllrohr) des Spanngliedes mittels einer elektrischen Widerstandsmessung. Eine Richtlinie des ASTRA und der SBB zum Korrosionsschutz von Spanngliedern im Brückenbau ist momentan in Vorbereitung (Lit. 4). Eine der ersten Anwendungen dieser Methode erfolgte beim Neubau der Seebrücke in Luzern (Lit. 3).

Brückenlager mit Fernablesung

Eine einfache Vorkehrung, die Bewegung von verschieblichen Brückenlagern einer Kontrolle aus Distanz (z.B. mit einem Feldstecher) zugänglich zu machen, ist das Anbringen einer genügend gut sichtbaren Anzeigevorrichtung mit Skala und markierten, zulässigen Verschiebungsgrenzen. Diese Vorkehrung ist in einzelnen Regionen der Schweiz bereits Standard. In den «Richtlinien für konstruktive Einzelheiten bei Brücken» des Bundesamtes für Strassen (Ausgabe 1990) wird diese Massnahme generell vorgesehen. Die geringen zusätzlichen Kosten für diese Vorkehrungen werden durch Einsparungen bei der Überwachung mehr als gerechtfertigt.

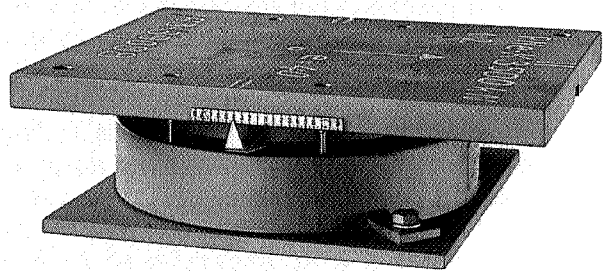
Kontrolle der Auflagerkräfte

Einsenkungen von Stützen oder Widerlagern können mittels eines Präzisionsnivelementes sehr genau ermittelt werden. Ein Präzisionsnivelement ist aber relativ aufwendig und nicht unter allen Randbedingungen (Wetter) durchführbar, meist ist eine Behinderung des Verkehrs unvermeidbar. Die gleichen Erscheinungen bewirken bei statisch unbestimmt gelagerten Brücken eine Veränderung der Auflagerkräfte. Je nach Art und Ort der Bewegung wird bei den einen Lagern eine Erhöhung, bei den anderen Lagern eine Reduktion der Kräfte verursacht.

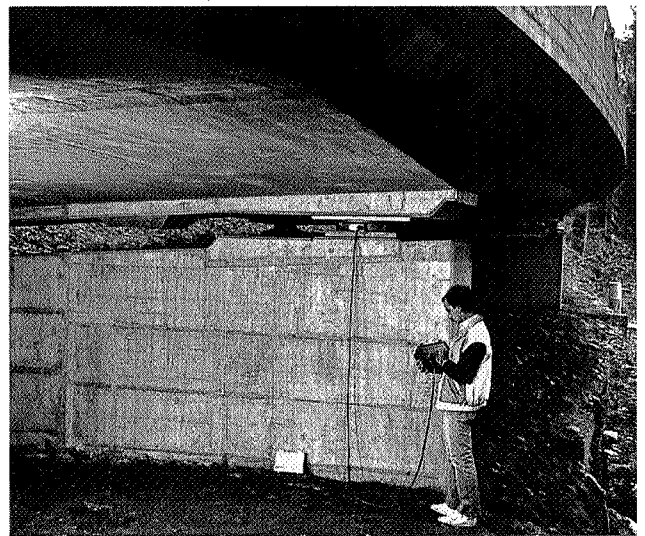
Bei Brücken, die bezüglich Baugrunddeformationen besonders gefährdet sind, besteht seit einiger Zeit die Möglichkeit, Brückenlager mit einer eingebauten Kraftmessvorrichtung zu installieren.

Die einmalige Investition bewirkt eine beträchtliche Vereinfachung der Überwachung. Mit einem einfachen, tragbaren Gerät können die Auflagerkräfte gemessen werden und daraus Rückschlüsse auf unzulässige Bewegungen gezogen werden. Bei Über- bzw. Unterschreiten vorgegebener Grenzwerte kann zum Beispiel ein Präzisionsnivelement zur genaueren Feststellung der Bewegungen angeordnet werden.

Es ist wichtig, dass die Ablesung ohne weitere Hilfsmittel (Leiter, Gerüste etc.) vorgenommen werden kann. Die Anschlussstelle für das Messgerät sollte deshalb möglichst einfach zugänglich sein.



Brückenlager mit Anzeigevorrichtung und Skala, die auch aus grösserer Distanz z.B. mit dem Feldstecher abgelesen werden kann.



Die Lager der Caselertobelbrücke im Kanton Graubünden sind mit Kraftmesslagern ausgerüstet. Die Brücke führt durch ein Rutschgebiet, weshalb sich eine intensive Überwachung aufgedrängt hat.

Allenfalls sind zur Erreichung dieses Zieles ein paar zusätzliche Meter Anschlusskabel erforderlich.

Deformationsüberwachung mittels «Wasserwaage»

In vielen Fällen bildet die Belastung infolge Eigengewicht einen erheblichen Teil der für die Dimensionierung eines Tragwerkes massgebenden Gesamtbelastung. Das Tragwerk unterliegt damit dauernd einer erheblichen Belastung und damit auch einer entsprechenden Verformung infolge Eigengewicht.

Da das Eigengewicht nahezu konstant ist, müsste sich das Tragwerk nach Eliminierung der übrigen Verformungen z.B. infolge Kriechen oder Schwinden der Baustoffe, infolge Temperatur etc. immer im gleichen Verformungszustand befinden. Eine Veränderung der Verformungen wäre nur noch auf eine Änderung der Tragwerkswiderstände zurückzuführen. Vom Verformungszustand resp. von der geometrischen Lage eines Tragwerkes und seiner Teile ist es deshalb möglich, auf den Zustand des Tragwerkes zu schliessen.

Auch Zustandsmängel einzelner Tragwerksteile wie z.B. Fundationen, Widerlager etc. zeigen sich meist in Form von vertikalen Verschiebungen.

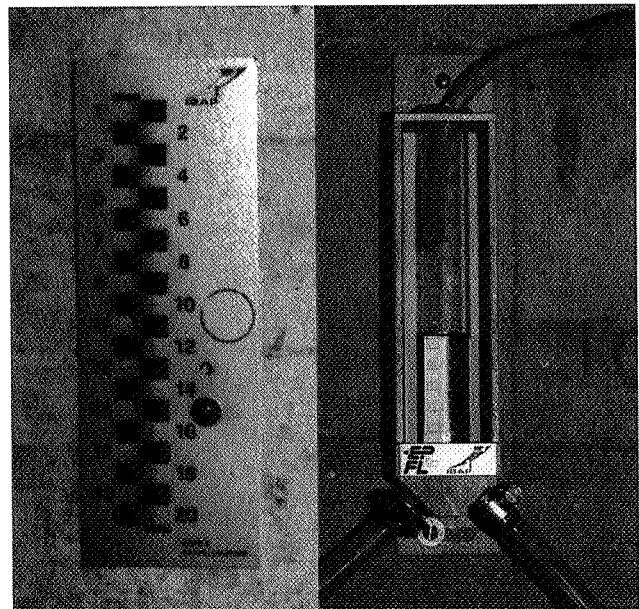
Herkömmliche Mittel zur Überwachung der vertikalen Lage eines Tragwerkes sind in der Regel aufwendig in der Anwendung. Die bewährteste und am meisten angewandte Methode für diese Aufgabe ist das Präzisionsnivellement, bzw. ein normales Nivellement dort wo weniger genaue Resultate erforderlich sind. Bei einem Teil der Bauwerke ist die für ein Nivellement erforderliche freie Sicht gegeben, bei anderen (z.B. innerhalb von Gebäuden, bzw. bei einer geschlossenen, städtischen Überbauung) stellen die Sichtverhältnisse dem Vermesser bereits einige Probleme.

Eine wesentliche Erleichterung einer Überwachung eines Bauwerkes mittels Nivellement kann dadurch erreicht werden, dass bei der Erstellung entsprechende Messbolzen oder Ablesemarken (vgl. Bild) am Bauwerk fix installiert werden. Bei der Planung können dann auch eigentliche Durchblickfenster vorgesehen werden. Bei einer Brücke kann beispielsweise ein Nivellementszug im Brückenkasten installiert werden, was eine Überwachung ohne Beeinträchtigung des Verkehrs ermöglicht.

Die neueste Entwicklung der ETH-Lausanne, ein hydraulisches Nivellement oder sogenannte Schlauchwasserwaage, ermöglicht die Feststellung des Verformungszustandes eines Tragwerkes ohne Hilfsmittel. Das System besteht aus einer Anzahl von Ablesevorrichtungen (Bild), die mit einem wassergefüllten Schlauch verbunden sind.



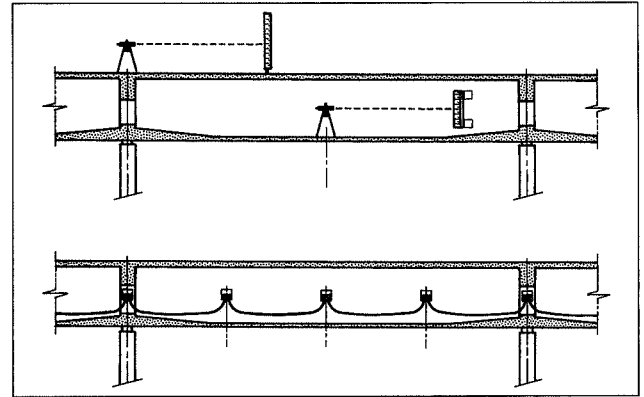
Sichtbare Verformungen bei einer Brücke.



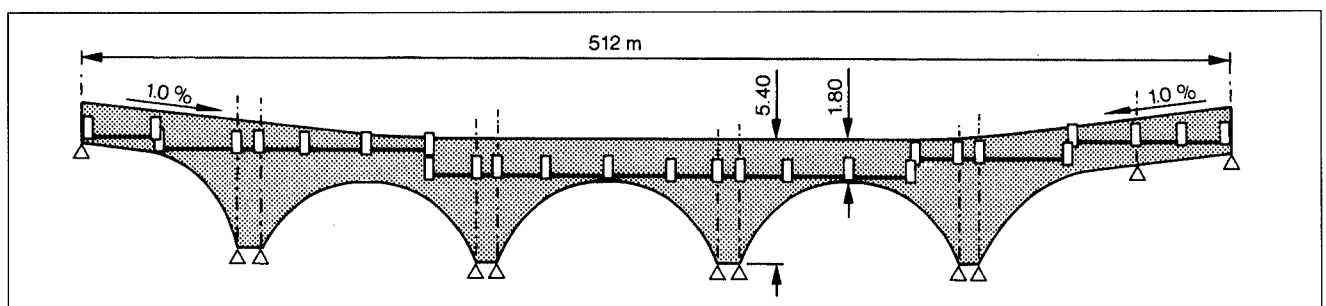
Fix am Bauwerk angebrachte Ablesemarke für optisches Nivellement (links), Ablesevorrichtung für das hydraulische Nivellement (rechts).

Die ganze Anlage wirkt wie ein kommunizierendes Gefäß. Relative Verschiebungen einzelner Tragwerksabschnitte können durch den Unterhaltsdienst an einer oder mehreren Ablesevorrichtungen als Verschiebung des dort beobachteten Wasserspiegels festgestellt werden. Dieses Überwachungssystem ist bereits bei rund einem halben Dutzend Brücken, vor allem in der Westschweiz, im Einsatz.

Das System erscheint auf den ersten Blick verblüffend einfach. Während der Entwicklung waren jedoch zahlreiche Probleme zu lösen. Diese betrafen insbesondere die Wahl der Füllflüssigkeit und die Ausbildung der Ablesevorrichtung (Verdunstungsverluste, Einfluss von Staudruckerscheinungen etc.).



Optisches (oben) und hydraulisches Nivellement (unten).

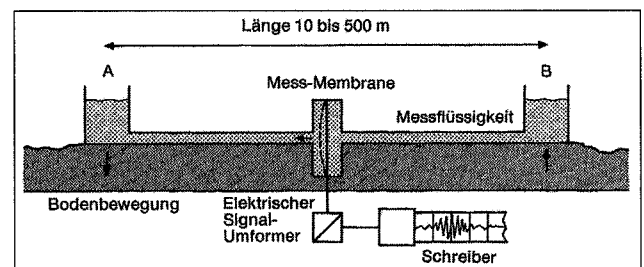
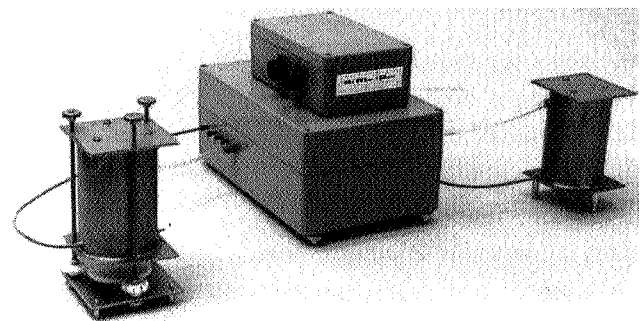


Anordnung der kommunizierenden Ablesevorrichtung im Innern eines Brückentroges.

Der Einsatz eines solchen Systems verlangt eine Prognose der normalen Langzeit- (z.B. infolge Schwinden und Kriechen der Baustoffe) und Kurzzeitverformungen (z.B. infolge Temperatur) des Tragwerkes. Ohne diese Prognose können die Vorteile dieses Systems nur zu einem kleinen Teil ausgenutzt werden.

Deformationsmessungen mit LAS-System

Ein neu entwickeltes Messsystem – LAS-System (LAS: Large area settlement system) – kann ebenfalls zur Feststellung kleinster Vertikalbewegungen eingesetzt werden. Das LAS-System ist ein hydrostatisches Messsystem, das auf der Basis der Druckdifferenz zwischen Flüssigkeitsbehältern arbeitet. Es eignet sich zur großflächigen Deformationsmessung, Bewegungen unter 1 mm können damit erkannt werden. Eine Anwendung zur Überwachung eines instabilen Hanges nach Teileinsturz einer Stützmauer ist in (Lit. 5) beschrieben. Die Funktionsweise ist in (Lit. 6) beschrieben. Das LAS-System kommt auch zur Überwachung von Bauten für hochpräzise Anlagen zum Einsatz.

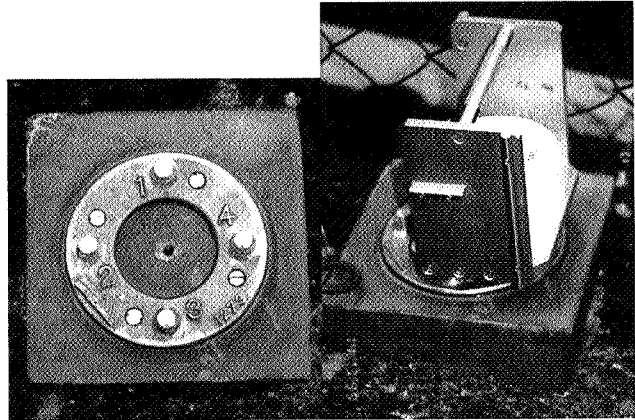


LAS-Messsystem: oben zwei Messeinheiten mit Zentralgerät wie z.B. eingesetzt für Überwachung einer Stützmauer; unten: Messprinzip: Die Druckdifferenz zwischen den zwei Flüssigkeitssäulen führt zu einer Deformation der elastischen Membran. Diese Deformation wird in ein elektrisches Signal umgewandelt, das proportional zur Höhendifferenz zwischen den beiden Säulen ist.

Neigungsmessungen

Neigungsmessungen eignen sich gut zur Überwachung von Bauwerken, weil bei den meisten Bauwerken eintretende Verschiebungen gleichzeitig mit Verkipnungen verbunden sind. Neigungen lassen sich in Relation zum Schwerfeld der Erde stellen, wodurch Änderungen der Neigung relativ einfach gemessen werden können. Zur Feststellung von Neigungsänderungen steht heute eine ganze Anzahl von präzisen Messsystemen zur Verfügung.

Neigungsmessungen werden oft zur Überwachung von Stützmauern (z.B. Stützmauern mit permanenten Ankern) eingesetzt. Eine hohe Genauigkeit der Messungen erfordert grosse Sorgfalt bei der Installation der Messstellen und der Durchführung der Messungen.



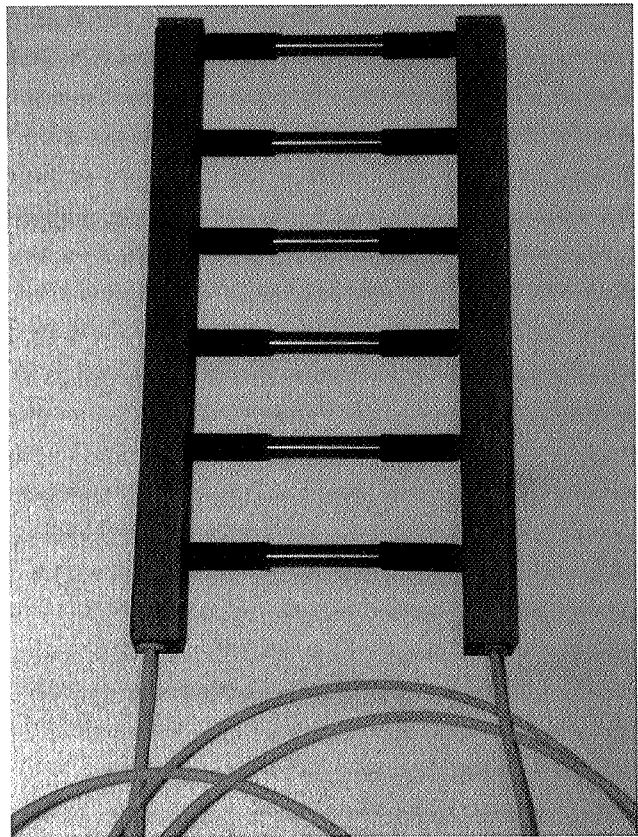
Neigungsmesser: Grundplatte (links) und Messgerät (rechts); Ableseeinheit nicht sichtbar).

Überwachung der Korrosionsbedingungen

Im Rahmen der intensiven Forschung und Entwicklung für die Instandsetzung von Stahlbetonkonstruktionen sind verschiedene Messtechniken entwickelt worden, die bei Instandsetzungen oder Neubauten zur Überwachung der Chlorideindringung und des Korrosionszustandes der Bewehrung eingesetzt werden können.

Beispiele solcher Sensoren sind die Multiringelektrode (Lit. 7) zur Messung der Verteilung des elektrischen Widerstandes des Betons in Funktion der Tiefe, die Korrosionsleiter (Lit. 8) mit mehreren Einzelelektroden oder isolierten und instrumentierten Bewehrungsstäben zur Messung von Korrosionspotential, Widerständen und Korrosionsströmen, Chloridsensoren (Lit. 9) und Feuchtigkeitssensoren (Lit. 10). In sogenannten instrumentierten Bohrkernen können auch verschiedene Sensoren zusammengefasst werden.

Allen diesen Messtechniken eigen ist, dass deren Einsatz nur im Rahmen eines zweckmässigen Überwachungskonzeptes sinnvoll und ein fachmännischer Einbau der Sensoren entscheidend für die Funktionstüchtigkeit des Überwachungssystems ist. Es ist zu beachten, dass der Einsatz solcher Methoden mit einem Mehraufwand bei der Überwachung (Ablesung, Auswertung und Beurteilung) verbunden ist. Ist diese Überwachung nicht sichergestellt, sollte auf solche Vorkehrungen verzichtet werden.



Korrosionsleiter mit Edelmetallholmen und Einzelelektroden nach Schiessl.

Literatur

1. Favre R. et al: Observation à long terme de la deformation des ponts; EVED ASB Forschungsbericht Nr. 203, EPFL, 1990. (Bezug bei der VSS)
2. Matt P.: Qualitätsgesicherte und überwachbare Spannsysteme im Brückenbau, Forschungsbericht Nr. 192, Oktober 1990, VSS, Zürich.
3. Sigrist V. et al.: Elektrisch isolierte Spannglieder, Schweizer Ingenieur + Architekt, Nr. 24, 1997, p. 490ff.
4. Korrosionsschutz von Spanngliedern im Brückenbau, Richtlinie, Bundesamt für Strassen / SBB AG, Anlagen-Management, in Vorbereitung.
5. Huggenberger P. et. al.: Teileinsturz der Rheinufermauer am Basler Münsterhügel, Schweizer Ingenieur + Architekt, Nr. 12, 2000, p. 21ff.
6. Meier E. et al.: Precision monitoring of displacements over large areas, Hydropower & Dams 6/1998, p. 77ff.
7. Schiessl P. et al.: Dauerhaftigkeit örtlicher Instandsetzungen von Schäden durch Bewehrungskorrosion im Stahlbetonbau; Abschlussbericht F332, ibac TH Aachen, 1994.
8. Schiessl P.; Neue Sensortechnik zur Überwachung, Intern. Zeitschrift für Bauinstandsetzung, Vol. 2, 1996, Heft 3, p. 189ff.
9. Zimmermann L. et al.: Electrochemical techniques for monitoring the conditions of concrete bridge structures; Proc. Intern. Conf. Repair of concrete structures, May 1997, Svolvær, Norway, p. 213ff.
10. Nielsson L.O.: Assessing moisture conditions in marine concrete structures; Proc. Intern. Conf. Repair of concrete structures, May 1997, Svolvær, Norway, p. 273ff.

Die Informationen zu den Beispielen im Brückenbau wurden freundlicherweise von den Herren Prof. R. Favre, Dr. R. Suter, Fribourg, P. Matt, Ittigen, und Dr. E. Meier, Winterthur, zur Verfügung gestellt. Weitere Beispiele stammen aus der angegebenen Literatur bzw. der Tätigkeit des Verfassers. Wichtige Informationen stellte auch die TFB, Wildegg, zur Verfügung.

Persönliche Notizen:

6 Anhang

6.1	Sachregister	194
6.2	Abkürzungsverzeichnis	197
6.3	Abbildungsnachweis	198

6.1 Sachregister

Im Sachregister werden getrennt nach Übersichtstabellen (blaue Seiten) und Datenblätter (grüne Seiten) die Titelstichworte in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt.

Sachregister zu den Übersichtstabellen:

	Seite
Ausrüstungen	48
Baugrund	49
Bauteile	48
Befestigungselemente aus nichtrostenden Stählen	58
Beton	50
Betonstahl	52
Bodenanker	58
Elektromechanische Anlageteile	59
Felsanker	58
Foundationen	49
Gasleitungsnetze	149
Holzkonstruktionen	57
Kanalisationsleitungen (begehrbar, $\varnothing \geq 1000$ mm)	146
Kanalisationsleitungen (nicht begehrbar, $\varnothing < 1000$ mm, Freispiegel)	147
Konstruktion	48
Kunststoffe	57
Mauerwerk	55
Mauerwerksoberflächenschutz	56
Mauerwerksverkleidung	56
Pfähle	49
Putz u.ä.	56
Schlitzwände	49
Spannbettvorspannung	52
Spannstahl (Kabelvorspannung mit Hüllrohr)	53
Stahl (Baustahl)	54
Strassenoberbau (Fahrbahnen aus Asphalt oder Beton)	117
Verkleidungsplatten	56
Wasserleitungsnetze	148

Sachregister zu den Datenblättern:

Seite

Ingenieurbauwerke:

Abreissprüfung (Beton, Putze, Beschichtungen)	76
Augenschein	64
Betonprüfhammer (Schmidt-Hammer)	70
Betonüberdeckungsmessung (Stahlbeton)	72
Bodenanker	100
Endoskopie	66
Farbeindringprüfung (Stahl)	98
Felsanker	100
Georadar (Stahlbeton/Mauerwerk)	90
Gitterschnittprüfung (Beschichtung auf Stahl)	96
Holzbauteile (tragend)	102
Impact-Echo Methode (I-E Methode)	84
Infrarotthermographie (Stahlbeton/Mauerwerk)	88
Laborauftrag	68
Potentialmessung (Stahl- und Spannbeton)	78
Probenentnahme	68
Saugröhrchen nach Karstens (Beton, Mauerwerk)	74
Schichtdickenmessung (Beschichtung auf Beton)	82
Schichtdickenmessung (Beschichtung auf Stahl und Aluminium)	94
Ultraschall (Stahlbeton/Pfähle)	92
Vakuummethode (Spannbeton)	86
Visuelle Untersuchung	64
Widerstandsmessung (Beton/Mörtel/Mauerwerk)	80

Sachregister zu den Datenblättern:

Seite

Strassen:

APL, Analyseur de Profil en Long	122
ARAN, Automatic Road Analyser	124
Collographe LCPC	128
Deflectographe Lacroix	130
Fallgewichts-Deflektionsmessgerät	132
Gerpho, Zustandsaufnahme visuell	126
Goniograph	122
Längsebenheit	122
QPM, Querprofilmessgerät	124
Querebenheit	124
Skiddometer	134
SRM 91, Stuttgarter Reibungsmesser	134
Videocar, Zustandsaufnahme visuell	126
Winkelmessgerät ISETH	122
Zustandsaufnahme visuell	126

Leitungsnetze:

Akustisches Korrelationsverfahren	170
Akustische Übergrundabhorchung	168
Akustische Verlustkontrolle, Geräuschpegelmessung	166
Akustische Verlustkontrolle im Direktkontakt mit dem Rohrnetz	164
Ansaugmethode zur Gasspürung	172
Begehung von Kanälen $\varnothing \geq 1000$ mm	156
Bohrlochmethode zur Gasspürung	172
Druckeinspeiseverfahren	162
Gasspürmethoden zur Leckortung	172
Geräuschpegelmessung	166
Grossraumsektorenmessung	160
Kanalfernsehen	154
Korrelationsverfahren, akustisch	170
Korrosion bei Leitungsnetzen	174
Leak-Plotter zur Gasspürung	172
Leckanalyse und Leckortung mit akustischem Korrelationsverfahren	170
Nachtverbrauchsmessung	158
Nullverbrauchsmessung	162
Sektoreinspeiseverfahren mit Bypass	162
Übergrundabhorchung, akustisch	168
Verlustkontrolle, akustisch, Geräuschpegelmessung	166
Verlustkontrolle, akustisch, im Direktkontakt mit dem Rohrnetz	164

6.2 Abkürzungsverzeichnis

Verbände:

- SIA:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein,
Selnaustrasse 16, Postfach, 8039 Zürich
- SEV:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein,
Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf ZH
- SGK:** Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz,
Technoparkstrasse 1, 8005 Zürich
- SVGW:** Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches,
Grütlistrasse 44, Postfach, 8027 Zürich
- VSA:** Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute,
Strassburgstrasse 10, Postfach, 8026 Zürich
- VSS:** Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute,
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich
- VSV:** Verein Schweizerischer Vorspannfirmer

Weitere:

- ASTRA:** Bundesamt für Strassenbau, Bern
- BBL:** Bundesamt für Bauten und Logistik, Bern
- DAfStB:** Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
- DGZfP:** Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung
- EMPA:** Eidg. Materialprüfungsanstalt, Dübendorf
- ERI:** Eidg. Rohrleitungsinspektorat, Bern
- ESTI:** Eidg. Starkstrominspektorat, Bern
- EW:** Elektrizitätswerk (allgemeine Abkürzung)
- LCPC:** Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées, Paris
- Lignum:** Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz, Zürich
- SUVA:** Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern

6.3 Abbildungsnachweis

Die zahlreichen Abbildungen haben einen wesentlichen Anteil an der Darstellung der verschiedenen Untersuchungstechniken im Handbuch. Ohne die bereitwillige Unterstützung durch eine grosse Zahl von Firmen, Verwaltungsstellen und weiteren Institutionen, die unentgeltlich aussagekräftige Abbildungen zur Verfügung gestellt haben, wäre diese anschauliche Gestaltung des Handbuches nicht möglich gewesen. Im Namen der Verfasser allen ein herzliches Dankeschön! Die nachfolgende Liste gibt einen Überblick über die Bildbeiträge. Da eine grosse Zahl der Bilder aus der Ausgabe 1991 stammen, sind einzelnen Firmenangaben nicht mehr aktuell.

Andreas Steiger & Partner AG St. Karlstrasse 12 6004 Luzern	65o, 69, 72u, 78m, 79, 82, 96, 185, 190o
APRO International SA 1180 Rolle	80o, 81
Boscomer Services SA 2000 Neuchâtel	88, 89, 90m
Edi Meier + Partner AG Ingenieurbüro 8408 Winterthur	90o, 90u, 91, 189u
EMPA, Abteilung Holz 8600 Dübendorf	103, 104o, 104ur, 105
Favre R. Prof., IBAP-EPFL 1015 Lausanne	188, 189o
Franz Pfister AG Kanalreinigung, Kanalinspektion 8050 Zürich	154, 155
Geotest AG 3052 Zollikofen	68, 92u
Helmut Fischer Elektronik und Messtechnik AG 6331 Hünenberg	94
Imdorf Matthias 6004 Luzern	10, 12, 15, 36-40, 42
IVT, ETH Institut für Verkehrsplanung und Transporttechnik 8093 Zürich	134, 135o
Merkel AG Ingenieurbüro 9410 Heiden	140, 141, 158-171

Müller Roman H. U. Peter AG 8052 Zürich	22-24, 62
OLYMPUS OPTICAL (Schweiz) AG 8603 Schwerzenbach	66o
PROCEQ SA 8034 Zürich	70, 71, 72o, 73-77, 78o, 80m, 187
S.A.C.R. SA Ingenieurbüro und Labor für die Strassenerhaltung 8057 Zürich	122-124, 126o, 127-129, 130m, 130u, 131, 135u
SGK Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz 8005 Zürich	166m
Stahlton AG 8034 Zürich	100, 101
Steiger Baucontrol AG Bauimmissionsüberwachung 6004 Luzern	92o, 93, 186
SVGW Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches 8002 Zürich	173
TFB Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton 5103 Wildegg	190u
Tiefbauamt der Stadt Zürich Stadtentwässerung 8064 Zürich	156
Verkehrs- und Tiefbauamt des Kantons Luzern Abteilung Planung, Kunstbauten 6010 Kriens	65u, 104m, 104ul
Viagroup AG 8404 Winterthur	125, 126u, 130o, 132, 133
VSL Beton-Expert 8304 Wallisellen/3000 Bern	66u, 67, 86
www.impact-echo.com	84u, 85
ZWAG Zschokke Wartmann AG 5312 Döttingen	98, 99

Angabe o, u oder m bedeutet jeweils das obere, untere bzw. mittlere Bild auf der entsprechenden Seite.
Ohne ergänzende Bezeichnung gilt die Quellenangabe für alle Bilder auf der entsprechenden Seite.

Persönliche Notizen: