

**BAM** Bundesanstalt  
für Materialforschung  
und -prüfung, Berlin

## **Forschungsbericht 177**

**Studie zur Anwendung zerstörungsfreier  
Prüfverfahren bei Ingenieurbauwerken.**

**ZfPBau-Kompodium**

von Prof. Dr.-Ing. Gerald Schickert  
Dr. rer. nat. Martin Krause  
Dr. rer. nat. Herbert Wiggenhauser



Berlin 1991

## Aufgaben der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung ist als Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministers für Wirtschaft das technisch-wissenschaftliche Staatsinstitut der Bundesrepublik Deutschland für Werkstoffwissenschaften, Materialprüfung und Chemische Sicherheitstechnik. Dieser Komplex stellt in allen Industrieländern einen technologischen Schlüsselbereich dar, da Materialien als Konstruktions- und Funktionswerkstoffe die Grundlage der gesamten Technik bilden. Die Materialforschung, die zuverlässige, normgerechte und neutrale Prüfung sowie die sicherheitstechnische Beurteilung von Werkstoffen, Bauteilen und Konstruktionen sind wesentliche Voraussetzungen für eine leistungs- und wettbewerbsfähige Wirtschaft im Hinblick auf die Anforderungen an Qualität und Zuverlässigkeit technischer Produkte, Umweltschutzanforderungen und die Notwendigkeit der sparsamen Verwendung von Rohstoffen und Energie.

Die Ursprünge der BAM reichen bis in das Jahr 1870 zurück, in dem durch Erlass des damaligen Preußischen Ministeriums für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten die Gründung einer Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Gewerbeakademie beschlossen wurde. 1895 erfolgte die Angliederung der im Jahre 1875 eingerichteten Prüfungsstation für Baumaterialien als neue Abteilung der Versuchsanstalt. Im Jahre 1904 kam es darüber hinaus zur Zusammenlegung mit der 1877 errichteten Chemisch-Technischen Versuchsanstalt zum Königlichen Materialprüfungsamt. Dessen erster Direktor, Adolf Martens (1850—1914), trat u. a. als Entdecker des nach ihm benannten Martensit-Gefüges von Stahl und als Mitbegründer sowie Vorsitzender (1896—1913) des „Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik“ hervor. Das Königliche Materialprüfungsamt, das im Jahre 1907 eine selbständige Behörde geworden war, wurde nach dem Ersten Weltkrieg dem Preußischen Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung unterstellt. Es bestand als Staatliches Materialprüfungsamt (MPA) — bei ständiger Erweiterung seiner Aufgabenbereiche und Angliederung anderer Institutionen, wie z. B. der Reichs-Röntgenstelle — bis 1945.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde dem MPA die im Jahre 1889 errichtete Chemisch-Technische Reichsanstalt (CTR) angeschlossen. Diese vereinigten Institutionen erhielten im Jahre 1954 den Status einer Bundesanstalt im Geschäftsbereich des Bundesministers für Wirtschaft, die seit 1956 den Namen „Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)“ trägt und ab 1.1.1987 „Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)“ heißt.

Die Aufgaben der BAM wurden durch einen Erlass des Bundesministers für Wirtschaft vom 1. September 1964 letztmalig festgelegt. Danach hat die Bundesanstalt die Aufgabe, Werkstoff- und Materialforschung entsprechend ihrer Zweckbestimmung zu betreiben und die Materialprüfung sowie die Chemische Sicherheitstechnik stetig weiter zu entwickeln. Die Ergebnisse ihrer und fremder wissenschaftlicher Arbeiten hat die Bundesanstalt zu sammeln, zu ordnen und der Allgemeinheit zugänglich und nutzbar zu machen. Für das Land Berlin hat die Bundesanstalt die Aufgaben eines staatlichen Materialprüfungsamtes. Auf Antrag steht die BAM Industriefirmen, Wirtschaftsverbänden, Verbrauchereinrichtungen sowie privaten Antragstellern zur Verfügung. Außerdem berät sie Bundesministerien und unterstützt Verwaltungsbehörden sowie Gerichte. Mit Institutionen ähnlicher Zielsetzung des In- und Auslandes, insbesondere den nationalen Schwesterinstituten, arbeitet die BAM eng zusammen. Daneben ist sie in die technische Zusammenarbeit mit verschiedenen Entwicklungsländern eingebunden. Die Mitarbeiter der Bundesanstalt wirken in zahlrei-

chen Fachgremien, gesetzgebenden Körperschaften und normensetzenden Institutionen an der Aufstellung von technischen Regeln und Sicherheitsbestimmungen mit und vertreten die Bundesrepublik Deutschland in internationalen und supranationalen Einrichtungen.

Aufgrund des Gesetzes über explosionsgefährliche Stoffe, des Gesetzes über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, des Waffengesetzes sowie einer Reihe weiterer gesetzlicher Regelungen und Verordnungen hat die Bundesanstalt den Status einer Bundesoberbehörde. Damit erhalten die in diesem Zusammenhang erteilten Zulassungen, Richtlinien und Auflagen bundesweit gesetzlichen Charakter. Im Rahmen der genannten Gesetze obliegen der BAM u. a. die Prüfung von Stoffen und Konstruktionen für die Zulassung explosionsgefährlicher Stoffe und Sprengzubehör, die Zulassung der Bauart von Verpackungen und die Genehmigung der Beförderung von gefährlichen Gütern ohne Schutzbehälter. Ferner läßt die Bundesanstalt Raketenmunition und Geschosse mit pyrotechnischer Wirkung im zivilen Bereich zu und prüft die Vielzahl weiterer Produkte und Gegenstände im öffentlichen Interesse.

Mit nahezu 1.200 Mitarbeitern, darunter etwa 300 Wissenschaftlern unterschiedlicher naturwissenschaftlicher und technischer Fachrichtungen, befaßt sich die BAM in mehr als 100 Laboratorien damit, die chemischen, physikalischen und technologischen Eigenschaften von Werkstoffen zu bestimmen und Zusammenhänge zwischen Stoffkennwerten und Materialverhalten beim praktischen Einsatz aufzuklären. Dadurch werden Rohstoffe und Werte erhalten, Schäden vermindert und Unfälle verhütet. Das Arbeitsgebiet schließt alle technischen Materialien ein: Metalle, anorganische nichtmetallische Stoffe, insbesondere Baustoffe und keramische Werkstoffe, organische Stoffe wie Kautschuk, Kunststoffe, Textilien, Leder, Papier, Holz, aber auch Verbundwerkstoffe, technische Fluide und Gase sowie feste, flüssige und gasförmige explosionsfähige Stoffe. Für die Untersuchung von Materialien unter den verschiedensten Beanspruchungen, z. B. mechanischer, thermischer, tribologischer, chemischer, korrosiver oder biologischer Art, werden unterschiedlichste Meß-, Prüf- und Analysetechniken einschließlich zerstörungsfreier Prüfverfahren und Computertechniken eingesetzt. Durch Forschung und Entwicklung, Prüfung und Untersuchung sowie Beratung und Information dient die BAM dem Ziel, die Leistungsfähigkeit der Wirtschaft zu fördern, die technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse zu erweitern sowie die Lebensbedingungen zu sichern und zu verbessern.

Die Arbeitsergebnisse der BAM werden — soweit sie nicht vertraulicher Natur sind — in eigenen Publikationsreihen veröffentlicht:

- den „BAM - ZULASSUNGEN, die jährlich mit 4 Ausgaben erscheinen und in denen die amtlichen Zulassungen der BAM veröffentlicht werden;
- dem Jahresbericht, der die Arbeitsschwerpunkte und die wichtigsten Erträge des jeweils vorausgegangenen Jahres ausführlich dokumentiert;
- den Forschungsberichten, die in unregelmäßiger Folge die Resultate wichtiger BAM-Forschungsvorhaben präsentieren.

Für weitere Information steht gerne BAM — 7.1 „Information und Öffentlichkeitsarbeit“, Tel.: 030 / 8104 7100, zur Verfügung.

ISSN 0938-5553

ISBN 3-89429-090-0

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

# **Forschungsbericht 177**

**Studie zur Anwendung zerstörungsfreier  
Prüfverfahren bei Ingenieurbauwerken.**

**ZfPBau-Kompodium**

von Prof. Dr.-Ing. Gerald Schickert  
Dr. rer. nat. Martin Krause  
Dr. rer. nat. Herbert Wiggerhauser

Berlin 1991

232 Seiten,davon 84 Geräteblätter

Herausgegeben von der  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45  
Telefon (030) 8104-1      Telex 183 261 bamb d  
Telefax (030) 811 20 29      Teletex 2 627-308 372 = bamb

Copyright © 1991 by Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1  
Telefon (0471) 460 93-95

Dieses Kompendium enthält in Form einer jederzeit ergänzbaren Loseblattsammlung folgende Abschnitte:

VORW	<b>Vorwort</b>
HINW	<b>Hinweise zur Benutzung</b>
VERZ	<b>Verzeichnis und Klassifizierung der Geräte und Verfahren</b> Listen der Geräte und Verfahren, gegliedert nach den Gesichtspunkten Technik, Ausprägung, Einsatzort, Auswertung, Handhabung, Zeitaufwand
GER	<b>Geräte und Verfahren</b> Geräte-/Verfahrens-Blätter in alphabetischer Reihenfolge; mit Beschreibung, Einsatzbereich, typischen Anwendungen, Bewertung und Hinweisen auf Entwicklungstendenzen (Hauptteil des Kompendiums)
LIEF	<b>Verzeichnis von Lieferanten und Herstellern</b> Adressenliste der auf den Geräteblättern erwähnten Lieferanten und Hersteller
LIT	<b>Literaturverzeichnis</b> Untergliedert in Fachbücher von allgemeinem Interesse, sowie den als Referenz ausgewerteten Fachartikeln und speziellen Literaturhinweisen, geordnet nach Erscheinungsjahr und Anfangsbuchstaben des ersten Autors.
IND	<b>Index</b> Verzeichnis aller Geräte und Verfahren wie im Kompendium bezeichnet; außerdem sinnverwandte Bezeichnungen, Phänomene, Schäden, Kenngrößen und Meßprinzipien mit dem Hinweis auf die entsprechenden Geräte-/Verfahrens-Blätter



## Vorwort zur ersten Auflage

Für die Aufgaben der Bauwerksdiagnostik hat die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in der Fachgruppe "Bauphysik; Bautenschutz" neue Arbeitsmöglichkeiten für die "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen" geschaffen. Die Aktivitäten der vergangenen 20 Jahre, die vor allem die Infrarot-Thermographie betrafen, wurden 1989 erweitert. Zugleich startete der Aufbau einer rechnergestützten Informationsdatei, in der nach und nach alle gebräuchlichen oder aber in der Entwicklung befindlichen zerstörungsfreien bzw. zerstörungsfreien Prüfmethode des Bauwesens erfaßt werden. Diese Datei soll im Bedarfsfall einen schnellen Überblick geben, das Prüfverfahren kurz beschreiben und herausstellen, wo die betreffende Prüfmethode bei welchen Aufgaben sinnvoll anwendbar ist.

Dieses Vorhaben wurde dankenswerterweise im Jahre 1990 von der Berliner Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen unter der Federführung von Herrn Dipl.-Ing. Peter Weyer als Leiter des Referats "Forschung, Werkstoffe und Verfahren, Bauwerkwerksprüfung (H XI A)" mit der speziellen Zielsetzung

### "Zerstörungsfreie Prüfverfahren für Berliner Ingenieurbauwerke"

mit Untersuchungsobjekten wie Brücken und Straßen bzw. Autobahnen finanziell gefördert.

Das vorliegende Kompendium ist das Ergebnis der bisherigen Arbeit zur Informationssammlung und -darstellung. Dahinter steht der Aufbau eines vernetzten Rechnersystems und einer Software, mit denen sowohl Wort- als auch Bildinformationen auf der Grundlage der im Handel erhältlichen Datenbank-Software "ORACLE" verwaltet und verknüpft werden können. Der Ausbau zu einem allgemein nutzbaren Dokumentations- und Auskunftsdienst wäre möglich, ist aber nicht beabsichtigt. Im Vordergrund soll vielmehr die wissenschaftliche Arbeit der BAM stehen mit dem Ziel, die Weiterentwicklung zerstörungsfreier Prüfmethode für das Bauwesen zu fördern und bei diesen Entwicklungsarbeiten gezielt und an konkreten Objekten bzw. Aufgaben mitzuarbeiten.

Die in der ZfPBau-Datenbank gesammelten Informationen sind in mehreren Dateien abgelegt, die anhand der Gerätenamen, Stichworte usw. miteinander verknüpft werden können und so die gesuchten Auskünfte liefern. Die wichtigsten Dateien beziehen sich auf

- Geräte/Verfahren
- Literatur
- Adressen
- Stichworte/Suchbegriffe.

Daneben ist auch eine Datei **Bauschäden/Phänomene** im Aufbau, die allerdings lediglich eine Sammlung der zumeist mehrfach miteinander gekoppelten Baumängel darstellt, so daß eine Verknüpfung mit einer ganz bestimmten zerstörungsfreien Prüfmethode bisher nur in Ausnahmefällen möglich ist.

Sämtliche Dateien arbeiten mit Schlagworten bzw. mit festgelegten Begriffen

und/oder Kurzinformationen, die anschließend mit freiem Text unter der Überschrift **Anwendung** ergänzt werden. Dies ist sowohl im Umfang bzw. in der Textlänge als auch von den Themen bzw. Überschriften her ausbau- und erweiterbar.

Das Kompendium ist somit eine Sammlung kurzgefaßter Informationen, die laufend ergänzt und aktualisiert wird. Mit dieser Zielrichtung werden im Kompendium auch Verfahren und Geräte aufgenommen, die bisher vielleicht erst ansatzweise für das Bauwesen interessant und daher noch nicht in der Praxis erprobt sind. Dies ist jedoch auf den einzelnen Blättern vermerkt. Auf diese Weise sollen Anregungen zur verstärkten Anwendung und vor allem Fortentwicklung der Prüfmethoden gegeben werden. So ist es insbesondere aussichtsreich, Analyseverfahren wie die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), die sich für Baustoffe bei Untersuchungen im Laboratorium bewährt haben so fortzuentwickeln, daß diese auch bei Feldmessungen bzw. unmittelbar am Bauwerk sowohl technisch wie wirtschaftlich einsetzbar sind. Aufgenommen in das Kompendium wurden auch Labormethoden und Prüf- bzw. Hilfsmittel, aber keineswegs alle einschlägigen Verfahren jedoch solche, die auch in Zukunft wichtig sind und/oder sich für den Einsatz vor Ort anbieten oder sich in dieser Hinsicht fortentwickeln lassen. Insgesamt stellt jedoch die Auswahl der Geräte und Bilder keinesfalls eine Wertung dar. Das Kompendium ist zuallererst eine Informationssammlung. Auch die bei den Geräten und Prüfverfahren erwähnten Firmen sind nur einige der möglichen Gerätehersteller bzw. -lieferanten und die vermerkten Preisangaben bzw. Prüfkosten geben lediglich die Größenordnung als Orientierungshilfe an. Die Hinweise zur Anwendung der ZfPBau-Verfahren sollen auch keine Gebrauchsanleitungen für Geräte sein oder gar Festlegungen in Normen und Richtlinien ersetzen.

Allen Angaben auf den einzelnen Blättern liegen intensive Literaturlauswertungen zugrunde, die allerdings trotzdem notgedrungen unvollständig bleiben müssen. Die Literaturhinweise werden aber laufend ergänzt und aktualisiert. Eine Auswahl von Literaturhinweisen ist dem Kompendium angefügt; auf den Geräteblättern wird hierauf ergänzend zu den Textangaben zum jeweiligen Thema verwiesen. Zur besseren Orientierung sind dabei aus der Kennziffer das Erscheinungsjahr der Veröffentlichung und auch die Anfangsbuchstaben des erstgenannten Verfassers ersichtlich. Eine wesentliche Informationsquelle war außerdem der Überblick, den die BAM in den letzten Jahren in Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) bei der Ausrichtung des Ersten (Oktober 1985) und des Zweiten ZfPBau-Symposiums (Februar/März 1991) sowie aus der Obmannschaft des DGZfP-Fachausschusses "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen" seit seiner Gründung im September 1986 gewonnen hat.

Damit das Kompendium jederzeit ohne Einschränkungen erweiterbar bleibt, wurde auf die Zusammenfassung der Prüfmethoden in nach Themen oder nach Handhabung gegliederten Kapiteln verzichtet und stattdessen eine alphabetische Reihung bzw. Ordnung gewählt. Auch ließen sich in sehr vielen Fällen die Prüfmethoden nicht von den Prüfgeräten, und beide häufig nicht von den Prüfaufgaben und der Prüfanwendung trennen. Um Wiederholungen zu vermeiden, wurde deshalb alles in einer gemeinsamen Datei **Geräte/Verfahren** zusammengefaßt.

Erleichtert wird das Auffinden eines Prüfverfahrens oder Gerätes durch ein alphabetisches Verzeichnis mit der Zuordnung von Geräten zu diversen Stichworten. Außerdem sind die Blätter des Kompendiums z.B. nach der mehr oder weniger aufwendigen Gerätetechnik, nach dem notwendigen Zeitaufwand für die Bauwerksdiagnose oder aber nach dem Prüfziel zusammengefaßt. Abgerundet werden diese Übersichten durch ein Verzeichnis mit Anschriften derjenigen Gerätehersteller und -lieferanten, auf die in den einzelnen Geräteblättern verwiesen wird. Verständlicherweise ist gerade auch diese Adressenliste unvollständig und bedarf ständiger Ergänzung und Aktualisierung. Die Verfasser nehmen sowohl in dieser Hinsicht als auch zu den Angaben im Text jederzeit jeden Hinweis gern entgegen. Durch ständigen Erfahrungsaustausch mit der Baupraxis ebenso wie mit Geräteentwicklern und Materialprüfern soll das Kompendium fehlerfrei und stets auf dem neuesten Stand gehalten werden. Auf jeden Fall bedeutet die Nennung von Firmen oder Gerätetypen im Kompendium in keiner Weise eine Hervorhebung, stellt aber auch keine Beschränkung dar. Etwaige Wertungen werden nur nach gewissenhafter Prüfung von Fall zu Fall gegeben.

Wie schon aus anderen Bereichen bekannt, bereitete auch bei der Textbearbeitung des Kompendiums die eindeutige und zudem praxisnahe Verwendung der Begriffe einiges Kopfzerbrechen. Zu beachten waren vor allem die Begriffsbestimmungen in DIN 1048 "Prüfverfahren für Beton" und DIN 1076 "Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Brücken; Überwachung und Prüfung".

Der Ausdruck **Bauwerksdiagnose** wird nachfolgend als Oberbegriff verwendet und bezeichnet jene auf die Material- und/oder Tragfähigkeitsanalyse ausgerichteten Untersuchungen am Bauwerk. Die **Bauwerksüberwachung** ist eine in zumeist regelmäßigen Zeitabständen zu wiederholende Beobachtung oder Besichtigung des Bauwerks. Wesentlich hierbei ist die visuelle Betrachtung durch den Prüfer; der zusätzliche Geräteeinsatz ist i.d.R. gering, größere Hilfsmittel wie z.B. Rüstung sind nicht erforderlich. Bei der **Bauwerksprüfung** hingegen werden bestimmte Geräte routinemäßig eingesetzt, andere je nach Problemstellung. Bei Brücken z.B. ergänzt die Bauwerksprüfung die Bauwerksüberwachung in festgelegten größeren Zeitabständen, aus besonderem Anlaß sind auch Sonderprüfungen möglich.

Geachtet wurde ferner auf eingeführte Sprachregelungen. Der Begriff "zerstörungsfrei" erklärt sich von selbst, wird aber mitunter auch als Oberbegriff verwendet, der **zerstörungsarme** Prüfverfahren mit einschließt. Sofern jedoch unterschieden werden muß gelten jene Untersuchungen als **zerstörungsarm**, bei denen das optische Erscheinungsbild der Meßstelle nach der Prüfung nicht gravierend beeinträchtigt ist.

Die **Betonüberdeckung** ist ein allgemeiner sprachlicher Begriff; gemessen wird aber die "Betondeckung". Als **Permeabilität** wird die Gasdurchlässigkeit bzw. Durchströmbarkeit bei einseitigem Überdruck (bzw. Unterdruck) verstanden. **Diffusion** hingegen ist die Gasdurchlässigkeit bei einem Partialdruckgefälle zwischen zwei Gasen. Schwierig ist der leider weithin gebräuchliche Begriff der **Betonkorrosion**, wo doch zumeist **Stahlkorrosion** gemeint ist und nur selten eine chemisch/physikalisch bedingte Zersetzung des Betons. Bei der **Karbonatisierung** ist die Diffusion von Kohlendioxid  $\text{CO}_2$  in luftgefüllten Poren entschei-

dend, beim Eindringen von Chloriden hingegen die Diffusion dieser Chloride in wassergefüllten Poren. Da diese Vorgänge im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Bauwerke - und hier insbesondere der oberflächennahen Schichten - überaus wichtig sind, wurden im vorliegenden Kompendium auch hierzu einige Angaben aufgenommen. Gerade auf diesem Gebiet der Wasseraufnahme, Permeabilität, Diffusion o.ä. fehlen aber noch allgemein gebräuchliche und insbesondere unmittelbar am Bauwerk einsetzbare Prüfgeräte und -verfahren. So muß z.B. noch immer die Porengrößenverteilung (Mikroporen, Kapillarporen, Makroporen) im Labor an Proben bestimmt werden, die dem Bauwerk zu entnehmen sind.

Auch bezüglich der Benennung einiger Prüfverfahren und sogar hinsichtlich bestimmter physikalischer Erscheinungsformen ist die allgemeine Sprachregelung durchaus nicht einheitlich. So wird häufig zwischen Radar-Verfahren und Mikrowellen-Verfahren unterschieden. Tatsächlich sind jedoch Radar-Wellen ebenfalls Mikrowellen. Man will aber zumeist zum Ausdruck bringen, daß es sich bei Radar um gepulste Mikrowellen handelt. Auch ist es nicht möglich, Anstriche, Beschichtungen und dickere Schichten einfach nach der Schichtdicke zu unterscheiden. Einige Verwirrung bringt dann auch leicht in diesem Zusammenhang die Sprachregelung, wenn man die Haftung derartiger Schichten aufeinander quantitativ bestimmen will (Haftfestigkeit oder Haftzugfestigkeit). Bei dem vorliegenden Kompendium wurde deshalb unterschieden, ob es sich bei diesem an der Bauwerksoberfläche aufgetragenen Material um einen Baustoff handelt, der mit dem tragenden Baugrund eine Einheit bilden soll (z.B. Spritzbeton) oder aber um eine Schicht, die sich im Material und im Materialverhalten vom Bauuntergrund unterscheidet (z.B. Putz auf Mauerwerk). Im ersten Fall wird die **Oberflächenzugfestigkeit** mit einem Abreißversuch (pull-off, aufgeklebter Prüfstempel) oder aber mit einem Ausziehversuch (pull-out, über Bohrloch eingesetzter Widerhaken) festgestellt. Liegt jedoch eine Schicht auf einer anderen Schicht oder auf dem Bauuntergrund und soll deren Haftung untereinander bestimmt werden, so wird hier im Kompendium von einer Haftzugprüfung (aufgeklebter Prüfstempel wie beim Abreißversuch) gesprochen.

Die Sprachregelungen, die beim Abfassen der Texte zu beachten waren, sind damit keineswegs erschöpft. So wird im Kompendium von **Instandsetzung** und nicht von **Sanierung** und auch von **Reparaturmörtel** und nicht von **Saniermörtel** gesprochen.

Die für ein Kompendium typische und erwünschte kurze textliche Darstellung gestattet es aber nicht, alle Baufachbegriffe oder auch die physikalischen Grundbegriffe zu erläutern. Hier muß auf Fachlexika und die Begriffsbestimmungen in einschlägigen Regelwerken verwiesen werden. Trotz aller Sorgfalt ist es schließlich nicht ausgeschlossen, daß einige Begriffe oder im Kompendium gebrauchte Formulierungen verbessert werden müssen. Auch hierzu sind Hinweise aus der Baupraxis sehr erwünscht.

Bei der Zusammenstellung bzw. Vervollständigung dieses Kompendiums handelt es sich um eine langfristige angelegte Arbeit; sie wird auch im Jahr 1991 fortgesetzt. Die einzelnen Blätter werden ständig ergänzt und aktualisiert, weitere Blätter mit anderen oder auch neuen Geräten bzw. Prüfverfahren kommen hinzu. Redaktionsschluß für die vorliegende Fassung des Kompendiums war Oktober 1990. Mit wesentlichen Beiträgen hat Herr Dipl.-Ing. Detlef Arndt die Arbeit unterstützt; er war vor allem für den Kontakt zu den Geräteherstellern

und für das Bildmaterial verantwortlich. Außerdem haben anfangs Frau Dipl.-Ing. Ute Niebergall und Herr Dr.-Ing. Michael Weber mitgewirkt und später Herr Dipl.-Phys Gerd Wilsch.

Allen, die uns durch Rat, Tat und Auskünfte unterstützt haben, sei auch an dieser Stelle gedankt.

Berlin, den 12. November 1990

Prof. Dr.-Ing. Gerald Schickert  
Dr. rer. nat. Martin Krause  
Dr. rer. nat. Herbert Wiggenhauser

#### **Vorwort zum BAM-Forschungsbericht 177**

Die erste Fassung des ZfPBau-Kompodiums wurde auf dem Internationalen ZfPBau-Symposium, das vom 27. Februar bis 1. März in Berlin von der BAM gemeinsam mit der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) veranstaltet wurde, mit sehr erfreulicher Resonanz vorgestellt. Es ergänzt die dort im Tagungsbericht gegebene "Systematik der ZfPBau-Verfahren", bei der in Übersichten insgesamt mehr als 100 Prüfmethoden bzw. Prüfgeräte in 17 Gruppen zusammengefaßt und kurz erläutert sind. Während dieser Veranstaltung und auch danach erhielten die Autoren zahlreiche Hinweise, Anregungen und Ergänzungsvorschläge, für die allen Fachkollegen sowie Geräteherstellern und Lieferanten ein besonderer Dank gebührt. Verbesserungsvorschläge ebenso wie Hinweise auf evtl. notwendige Berichtigungen oder Aktualisierungen bei neuen Verfahren oder Geräten sind auch weiterhin sehr willkommen.

Wegen der vielen Interessenbekundungen erscheint jetzt das ZfPBau-Kompodium nicht nur als ständig aktualisierte Loseblattsammlung, sondern einmalig auch in gebundener Form in der Reihe der BAM-Forschungsberichte und zwar mit dankenswerter Unterstützung durch den Präsidenten der BAM, Herrn Prof. Dr. G.W. Becker, in einer doppelt so hohen Auflage als sonst in dieser Schriftreihe üblich. Nicht zuletzt kommen hierin auch das Interesse vieler Fachdisziplinen und die fachübergreifende Mitwirkung zahlreicher Laboratorien der BAM zum Ausdruck, die auf unsere Bitte hin unter ihrem jeweiligen fachlichen Aspekt das Manuskript sorgfältig durchgesehen und Verbesserungsvorschläge unterbreitet haben. Ihnen ist ganz besonders zu danken und ebenso den vielen Firmen und Instituten, die uns unterstützten, indem sie die ihnen vorab zugesandten Manuskriptbögen prüften und Bildmaterial zur Verfügung stellten. Besonders hervorzuheben sind schließlich noch die Kontakte mit Herrn Dr. Dobmann, der für das

Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren (IzfP) in Saarbrücken unsere Arbeit mit wertvollen Hinweisen und Textvorschlägen gefördert hat.

Inbesondere danken wir auch folgenden Verlagen und Institutionen für die Überlassung von Bildern und die Genehmigung zur Veröffentlichung:

Beton-Verlag, Düsseldorf  
Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin,  
Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart,  
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP), Berlin,  
Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung, Aachen

sowie zahlreichen Firmen, die uns Prospektmaterial und Photos zur Verfügung gestellt haben.

Das Bauwesen hat einen stark wachsenden Bedarf an zerstörungsfreien Prüfmethoden. Leider nur selten steht dem bisher ein schon in der Praxis erprobtes Verfahren bzw. Prüfgerät gegenüber. Deshalb fehlt im vorliegenden Kompendium auch noch eine Zuordnung von Prüfaufgaben zu Prüfmethoden. Daran wird jedoch bereits unter dem Stichwort Bauschäden gearbeitet, wobei das in der BAM unter der Leitung von Herrn Dr. Wiggenhauser am 1. Januar 1991 neu gegründete Laboratorium "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen" hierfür gute Voraussetzungen bietet.

Ständig erweitert sich der Wissensstand. Neue Verfahren und Geräte kommen hinzu, wobei es nur wenig interessiert, ob ein Gerät u.U. kompliziert konstruiert ist, es muß sich nur - ähnlich wie es z.B. beim Fernseher der Fall ist - leicht handhaben lassen. Dann werden auch nach und nach verschiedene Blätter des Kompendiums, die derzeit noch einen ganzen Aufgabenkomplex ansprechen, in unterschiedliche Einzelblätter mit gezielter Problemstellung untergliedert werden können. So wird verständlich, daß in der vorliegenden Ausgabe noch in einigen Fällen die Darstellungen oben links auf der jeweils ersten Seite lediglich als Sinnbilder aufzufassen sind, die zum Thema hinführen sollen; es sind keineswegs Universalprüfgeräte für alle im jeweiligen Geräteblatt angesprochenen Problemstellungen dargestellt, die es ja praktisch auch nicht geben kann.

Gegenüber der ersten Fassung mit Redaktionsschluß Oktober 1990 enthält das vorliegende ZfPBau-Kompendium mit Stand vom Mai 1991 einige weitere Prüfverfahren, die ebenfalls für bestimmte Aufgaben sehr interessant sind, in der Baupraxis sich zumeist aber noch bewähren müssen. Das spezielle Anliegen der Autoren wird hieran deutlich: Das ZfPBau-Kompendium soll auch bei künftigen Ausgaben stets aktuell gehalten werden und nicht nur ein Nachschlagwerk sein, sondern Anwender und Gerätehersteller zur Fortentwicklung der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen anregen.

Berlin, den 31. Juli 1991

Die Autoren

### Hinweise zur Benutzung:

Dieses Kompendium ist eine Loseblattsammlung, welche jederzeit und beliebig ergänzt werden kann. So können einzelne Blätter hinzugefügt oder ausgetauscht werden, ohne daß sich die anderen Inhalte ändern.

Diese Konzeption bedingt, daß das Gesamtwerk keine durchgehende Seitennummerierung haben kann. Um trotzdem eindeutig aus dem Index auf Geräteblätter verweisen zu können, wurde eine alphabetische Ordnung der Geräteblätter nach ihrer Bezeichnung gewählt, obwohl in manchen Fällen eine Ordnung nach verwandten Verfahren oder Problemstellungen wünschenswert gewesen wäre.

Das vorliegende Kompendium wurde komplett unter Verwendung der elektronischen Datenverarbeitung erstellt. Die gesamte Information ist in einer (relationalen) Datenbank gespeichert und verknüpft. Eine Änderung in der Datenbank, z.B. wenn eine Stichwortverknüpfung zu einem Gerät hinzugefügt wird, wird damit sofort im gesamten Kompendium berücksichtigt. Gedruckt wurde das Gesamtwerk mit einem entsprechenden Desk-Top-Publishing (DTP)-Programm, wobei redaktionelle Eingriffe an dieser Stelle nicht mehr stattfanden. Die konsequente Ausnutzung dieser Technologien hat jedoch auch einige Auswirkungen, die für den Leser störend sein können:

- Es findet eine automatische Silbentrennung statt. Jedoch gibt es kein Programm, welches auf diesem Gebiet die deutsche Sprache perfekt beherrscht.
- Das Schriftbild wird von den eingestellten Parametern des DTP-Programms bestimmt. Deshalb kommt es manchmal vor, daß in einer Zeile der Ausgleichsalgorithmus für die Buchstaben keine optimale Lösung findet. Hier wäre ein redaktioneller Eingriff notwendig, um das Erscheinungsbild zu verbessern, allerdings zu dem Nachteil, daß die Erstellung des Kompendiums nicht mehr automatisch erfolgen könnte. Deshalb wurde i.A. dieser Eingriff unterlassen und die (wenigen) unschönen Stellen belassen, wofür der Leser um Verständnis gebeten wird.
- Sämtliche Ordnungen nach dem Alphabet erfolgen durch die Datenbank. Dieses Programm beherrscht aber nur die Ordnung nach der ASCII-Tabelle, in der die deutschen Sonderzeichen erst nach dem Ende des Basialphabets eingeordnet sind. Deshalb erscheint z.B. das ä erst nach dem z!

Das gesamte Kompendium ist eine Zusammenstellung von Geräten und Verfahren, mit denen zerstörungsfreie und -arme Untersuchungen im Bauwesen ausgeführt werden können. Zusätzlich enthält es noch einen Literaturteil und Adressen von Lieferanten bzw. Herstellern der Geräte. In der geplanten zweiten Version wird noch ein Phänomene-Teil hinzukommen, in welchem die auftretenden Phänomene (Schäden, Kenngrößen, Untersuchungsziele etc.) behandelt werden.

Das Kompendium ist aber keine Adressen- oder Literatur-Datenbank! Die Information in diesen Teilen wird notgedrungen immer unvollständig bleiben. Aus dem Index heraus wird deshalb auch nur auf Geräteblätter verwiesen, nie auf den Adressen- oder Literaturteil.

Auf den Geräteblättern ist oben links auf der ersten Seite ein Bild zu sehen, welches i.A. eine Photographie eines entsprechenden Gerätes ist. Die Bildunterschrift ist deshalb nur ein Verweis in den Literaturteil, wo die Herkunft des Photos angegeben ist.

Der Leser findet die ihn interessierenden Geräte auf drei möglichen Wegen:

- Direkt über den Namen im Kapitel mit den Geräte-/Verfahrensblättern.
- Über den Index, in dem die Verknüpfung mit Stichworten oder anderen Geräten angegeben ist.
- Aus dem Inhaltsverzeichnis, welches den Geräteblättern vorangestellt ist und in dem alle Geräte alphabetisch aufgeführt sind. Zusätzlich kann ein Zugriff auch über die Klassifizierung erfolgen. Die Listen, in denen diese für die Geräte und Verfahren nach Kriterien wie Technik, Ausprägung, Einsatzort und Handhabung vorgenommen ist, befindet sich im Kapitle Verzeichnis.

Im Literaturteil ist zu beachten, daß den Fachartikeln ein kurzer Abschnitt vorangestellt ist, in dem Fachbücher von allgemeinem Interesse zur Thematik der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen aufgeführt sind. Die Fachartikel selbst sind nach einem Label geordnet, welches sich aus der Jahreszahl des Erscheinungsdatums und den drei Anfangsbuchstaben des erstgenannten Autors zusammensetzt. Sind mehrere Veröffentlichungen mit dem gleichen Label aufgeführt, werden diese einfach dadurch unterschieden, daß dem Label eine zusätzliche Zahl angehängt wird. Aufgrund des Ordnungsalgorithmus der Datenbank (s.o.) hat dies aber zur Folge, daß die durch das Label /86Sch1/ bezeichnete Literaturstelle nach /86Sch1/, aber vor /86Sch2/ eingeordnet wird!

Dem Indexkapitel ist ein Abschnitt mit zusätzlichen Hinweisen zum Gebrauch vorangestellt.

## Geräte alphabetisch geordnet

- Abreiß-Versuch  
 Anemometer  
 Atomabsorptions-Spektroskopie  
 Auszieh-Versuch  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
 Biegebruchversuch  
 Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung  
 Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme  
 Bolzensetzgerät  
 Chlorid-Nachweis  
 Computer-Tomographie  
 Dickenmessung von dünnen Beschichtungen  
 Dickenmeßverfahren mit Ultraschall  
 Differential-Thermo-Analyse (DTA)  
 Druckgas-Verfahren  
 Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse  
 Endoskop (flexible Ausführung)  
 Endoskop (starre Ausführung)  
 Energiedispersive Analyse (EDX)  
 Farb-Eindringverfahren  
 Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben  
 Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand  
 Feuchtemeßgerät, dielektrisches  
 Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse  
 Flüssigkeits-Eindringtest  
 Gaschromatographie  
 Gaspermeabilitäts-Verfahren  
 Haftzugprüfung  
 Holographische Interferometrie  
 Hydrophobierungstest mit Elektrolyten  
 Impuls-Prüfhammer  
 Indikator-Technik  
 Induktions-Thermographie  
 Infrarot-Reflektographie  
 Infrarot-Strahlungsthermometer  
 Infrarot-Thermographie  
 Kalzium-Karbid-Methode  
 Kernspinresonanz zur Feuchtemessung  
 Kugelschlag-Versuch  
 Lambda-Nadelsonde  
 Laser-Speckle-Photographie  
 Laservibrometer  
 Lichtwellenleiter  
 Magnetische Rißortung in Spannstählen  
 Magnetpulverprüfung  
 Mikroklima-Bestimmung  
 Mikroskopie, optische  
 Mikrowellen-Reflexion  
 Mikrowellen-Transmission  
 Neigungssensor  
 Neutronensonde  
 Pfahlprüfung  
 Potentialverfahren, elektrochemisches  
 Quecksilber-Porosimeter  
 Radar  
 Radiographie mit Gammastrahlen  
 Radiographie mit Neutronen  
 Radiographie mit Röntgenstrahlen  
 Rauhiefenbestimmung  
 Reifegrad-Methode  
 Rißmarken  
 Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden  
 Rißvermessungsgeräte, optische  
 Rückprallhammer  
 Röntgen-Diffraktometrie (XRD)  
 Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)  
 Röntgen-Rückstreuung  
 Salz-Test  
 Sauerstoff-Sensor  
 Schallemissionsanalyse  
 Schwingsaitenaufnehmer  
 Schwingungsanalyse am Bauwerk  
 Setz-Dehnungsmessung  
 Ultraschall-Echo  
 Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen  
 Ultraschall-Laufzeit und -Intensität  
 Vakuum-Verfahren  
 Verformungsmessung  
 Vermessung über Satellit  
 Videoskop  
 Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden  
 Wirbelstromverfahren

## Klassifikation nach Zeitaufwand

### Langzeituntersuchung

Lichtwellenleiter  
Neigungssensor  
Rißmarken  
Sauerstoff-Sensor

### Mehr als ein Tag

Atomabsorptions-Spektroskopie  
Computer-Tomographie  
Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben  
Reifegrad-Methode  
Röntgen-Diffraktometrie (XRD)  
Schallemissionsanalyse  
Schwingsaitenaufnehmer  
Schwingungsanalyse am Bauwerk  
Verformungsmessung

### Weniger als ein Tag

Abreiß-Versuch  
Auszieh-Versuch  
Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
Biegebrechversuch  
Chlorid-Nachweis  
Dickmessung von dünnen Beschichtungen  
Differential-Thermo-Analyse (DTA)  
Druckgas-Verfahren  
Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse  
Endoskop (flexible Ausführung)  
Endoskop (starre Ausführung)  
Energiedispersive Analyse (EDX)  
Farb-Eindringverfahren  
Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse  
Flüssigkeits-Eindringtest  
Gaschromatographie  
Gaspermeabilitäts-Verfahren  
Holographische Interferometrie  
Hydrophobierungstest mit Elektrolyten  
Induktions-Thermographie  
Infrarot-Reflektographie  
Infrarot-Thermographie  
Kernspinresonanz zur Feuchtemessung  
Laser-Speckle-Photographie  
Laservibrometer  
Magnetische Rißortung in Spannstählen  
Magnetpulverprüfung  
Mikroklima-Bestimmung  
Mikroskopie, optische  
Mikrowellen-Reflexion  
Mikrowellen-Transmission  
Neutronensonde

Potentialverfahren, elektrochemisches  
Quecksilber-Porosimeter  
Radar  
Radiographie mit Gammastrahlen  
Radiographie mit Neutronen  
Radiographie mit Röntgenstrahlen  
Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden  
Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)  
Röntgen-Rückstreuung  
Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen  
Ultraschall-Laufzeit und -Intensität  
Vakuum-Verfahren  
Vermessung über Satellit  
Videoskop  
Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden

### Weniger als eine Stunde

Anemometer  
Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme  
Bolzensetzgerät  
Dickmessverfahren mit Ultraschall  
Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand  
Feuchtemeßgerät, dielektrisches  
Haftzugprüfung  
Impuls-Prüfhammer  
Indikator-Technik  
Infrarot-Strahlungsthermometer  
Kalzium-Karbid-Methode  
Kugelschlag-Versuch  
Lambda-Nadelsonde  
Pfahlprüfung  
Rauhtiefenbestimmung  
Rißvermessungsgeräte, optische  
Rückprallhammer  
Salz-Test  
Setz-Dehnungsmessung  
Ultraschall-Echo  
Wirbelstromverfahren

## Klassifikation nach Handhabung

### Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich

Abreiß-Versuch  
 Auszieh-Versuch  
 Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
 Biegebruchversuch  
 Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung  
 Bolzensetzgerät  
 Endoskop (flexible Ausführung)  
 Endoskop (starre Ausführung)  
 Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand  
 Feuchtemeßgerät, dielektrisches  
 Haftzugprüfung  
 Hydrophobierungstest mit Elektrolyten  
 Impuls-Prüfhammer  
 Indikator-Technik  
 Kalzium-Karbid-Methode  
 Kugelschlag-Versuch  
 Mikroskopie, optische  
 Neigungssensor  
 Reifegrad-Methode  
 Rückprallhammer  
 Salz-Test  
 Schwingsaitenaufnehmer  
 Vakuum-Verfahren  
 Videoskop

### Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich

Anemometer  
 Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme  
 Dickenmessung von dünnen Beschichtungen  
 Flüssigkeits-Eindringtest  
 Infrarot-Strahlungsthermometer  
 Lambda-Nadelsonde  
 Mikroklima-Bestimmung  
 Rauhtiefenbestimmung  
 Rißmarken  
 Rißvermessungsgeräte, optische  
 Setz-Dehnungsmessung

### Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich

Computer-Tomographie  
 Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben  
 Gaschromatographie  
 Gaspermeabilitäts-Verfahren  
 Holographische Interferometrie  
 Kernspinresonanz zur Feuchtemessung  
 Laser-Speckle-Photographie

Laservibrometer  
 Lichtwellenleiter  
 Magnetische Rißortung in Spannstählen  
 Mikrowellen-Reflexion  
 Neutronensonde  
 Pfahlprüfung  
 Radar  
 Röntgen-Diffraktometrie (XRD)  
 Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)  
 Schallemissionsanalyse  
 Schwingungsanalyse am Bauwerk  
 Verformungsmessung  
 Vermessung über Satellit  
 Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden

### Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig

Atomabsorptions-Spektroskopie  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
 Chlorid-Nachweis  
 Dickenmeßverfahren mit Ultraschall  
 Differential-Thermo-Analyse (DTA)  
 Druckgas-Verfahren  
 Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse  
 Energiedispersive Analyse (EDX)  
 Farb-Eindringverfahren  
 Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse  
 Induktions-Thermographie  
 Infrarot-Reflektographie  
 Infrarot-Thermographie  
 Magnetpulverprüfung  
 Mikrowellen-Transmission  
 Potentialverfahren, elektrochemisches  
 Quecksilber-Porosimeter  
 Röntgen-Rückstreuung  
 Sauerstoff-Sensor  
 Ultraschall-Echo  
 Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen  
 Ultraschall-Laufzeit und -Intensität  
 Wirbelstromverfahren

### Für das Prüfpersonal ist ein Zertifikat notwendig

Radiographie mit Gammastrahlen  
 Radiographie mit Neutronen  
 Radiographie mit Röntgenstrahlen  
 Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden

## Klassifikation nach Technik

### Chemische Testmethode

Chlorid-Nachweis  
Indikator-Technik  
Kalzium-Karbid-Methode  
Salz-Test

### Elementar-handwerkliche Testmethode

Auszieh-Versuch  
Farb-Eindringverfahren  
Kugelschlag-Versuch  
Rauhtiefenbestimmung  
Reifegrad-Methode  
Rißmarken  
Rißvermessungsgeräte, optische  
Rückprallhammer  
Setz-Dehnungsmessung

### Hilfsgerät

Anemometer  
Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung  
Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme  
Mikroklima-Bestimmung  
Neigungssensor  
Schwingsaitenaufnehmer

### Prüfverfahren mit aufwendigem Gerät

Vermessung über Satellit

### Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten

Atomabsorptions-Spektroskopie  
Computer-Tomographie  
Differential-Thermo-Analyse (DTA)  
Endoskop (flexible Ausführung)  
Endoskop (starre Ausführung)  
Energiedispersive Analyse (EDX)  
Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben  
Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse  
Gaschromatographie  
Gaspermeabilitäts-Verfahren  
Holographische Interferometrie  
Induktions-Thermographie  
Infrarot-Reflektographie  
Infrarot-Thermographie  
Kernspinresonanz zur Feuchtemessung  
Laser-Speckle-Photographie  
Laservibrometer  
Lichtwellenleiter  
Magnetische Rißortung in Spannstählen  
Mikrowellen-Reflexion  
Mikrowellen-Transmission  
Neutronensonde  
Pfahlprüfung  
Quecksilber-Porosimeter  
Radar

Radiographie mit Gammastrahlen  
Radiographie mit Neutronen  
Radiographie mit Röntgenstrahlen  
Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden  
Röntgen-Diffraktometrie (XRD)  
Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)  
Röntgen-Rückstreuung  
Schallemissionsanalyse  
Schwingungsanalyse am Bauwerk  
Ultraschall-Echo  
Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen  
Ultraschall-Laufzeit und -Intensität  
Verformungsmessung  
Videoskop  
Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden

### Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät

Abreiß-Versuch  
Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
Biegebruchversuch  
Bolzensetzgerät  
Dickenmessung von dünnen Beschichtungen  
Dickenmeßverfahren mit Ultraschall  
Druckgas-Verfahren  
Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse  
Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand  
Feuchtemeßgerät, dielektrisches  
Flüssigkeits-Eindringtest  
Haftzugprüfung  
Hydrophobierungstest mit Elektrolyten  
Impuls-Prüfhammer  
Infrarot-Strahlungsthermometer  
Lambda-Nadelsonde  
Magnetpulverprüfung  
Mikroskopie, optische  
Potentialverfahren, elektrochemisches  
Sauerstoff-Sensor  
Vakuum-Verfahren  
Wirbelstromverfahren

## Klassifikation nach Ausprägung

### Quasi zerstörungsfrei

Bolzensezgerät  
 Endoskop (flexible Ausführung)  
 Endoskop (starre Ausführung)  
 Farb-Eindringverfahren  
 Flüssigkeits-Eindringtest  
 Gaschromatographie  
 Kugelschlag-Versuch  
 Lambda-Nadelsonde  
 Potentialverfahren, elektrochemisches  
 Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden  
 Rückprallhammer  
 Videoskop

### Zerstörungsarm

Abreiß-Versuch  
 Atomabsorptions-Spektroskopie  
 Auszieh-Versuch  
 Biegebruchversuch  
 Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung  
 Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme  
 Chlorid-Nachweis  
 Differential-Thermo-Analyse (DTA)  
 Druckgas-Verfahren  
 Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse  
 Energiedispersive Analyse (EDX)  
 Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben  
 Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand  
 Gaspermeabilitäts-Verfahren  
 Haftzugprüfung  
 Indikator-Technik  
 Kalzium-Karbid-Methode  
 Kernspinresonanz zur Feuchtemessung  
 Mikroskopie, optische  
 Quecksilber-Porosimeter  
 Reifegrad-Methode  
 Röntgen-Diffraktometrie (XRD)  
 Salz-Test  
 Sauerstoff-Sensor  
 Schallemissionsanalyse  
 Vakuum-Verfahren  
 Spannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden

### Zerstörungsfrei

Anemometer  
 Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
 Computer-Tomographie  
 Dickenmessung von dünnen Beschichtungen

Dickenmeßverfahren mit Ultraschall  
 Feuchtemeßgerät, dielektrisches  
 Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse  
 Holographische Interferometrie  
 Hydrophobierungstest mit Elektrolyten  
 Impuls-Prüfhammer  
 Induktions-Thermographie  
 Infrarot-Reflektographie  
 Infrarot-Strahlungsthermometer  
 Infrarot-Thermographie  
 Laser-Speckle-Photographie  
 Laservibrometer  
 Lichtwellenleiter  
 Magnetische Rißortung in Spannstählen  
 Magnetpulverprüfung  
 Mikroklima-Bestimmung  
 Mikrowellen-Reflexion  
 Mikrowellen-Transmission  
 Neigungssensor  
 Neutronensonde  
 Pfahlprüfung  
 Radar  
 Radiographie mit Gammastrahlen  
 Radiographie mit Neutronen  
 Radiographie mit Röntgenstrahlen  
 Rauhiefenbestimmung  
 Rißmarken  
 Rißvermessungsgeräte, optische  
 Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)  
 Röntgen-Rückstreuung  
 Schwingungsaufnehmer  
 Schwingungsanalyse am Bauwerk  
 Setz-Dehnungsmessung  
 Ultraschall-Echo  
 Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen  
 Ultraschall-Laufzeit und -Intensität  
 Verformungsmessung  
 Vermessung über Satellit  
 Wirbelstromverfahren

## Klassifikation nach Einsatzort

### Direkt am Bauwerk möglich

Anemometer  
 Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung  
 Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme  
 Hydrophobierungstest mit Elektrolyten  
 Infrarot-Strahlungsthermometer  
 Lichtwellenleiter  
 Neigungssensor  
 Radiographie mit Gammastrahlen  
 Radiographie mit Neutronen  
 Radiographie mit Röntgenstrahlen  
 Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden  
 Schwingsaitenaufnehmer  
 Videoskop

### Labormethode

Atomabsorptions-Spektroskopie  
 Differential-Thermo-Analyse (DTA)  
 Energiedispersive Analyse (EDX)  
 Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben  
 Gaschromatographie  
 Kernspinresonanz zur Feuchtemessung  
 Quecksilber-Porosimeter  
 Röntgen-Diffraktometrie (XRD)  
 Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)

### Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich

Abreiß-Versuch  
 Auszieh-Versuch  
 Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
 Biegebrechversuch  
 Bolzensetzgerät  
 Dickenmessung von dünnen Beschichtungen  
 Dickenmeßverfahren mit Ultraschall  
 Druckgas-Verfahren  
 Endoskop (flexible Ausführung)  
 Endoskop (starre Ausführung)  
 Farb-Eindringverfahren  
 Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand  
 Feuchtemeßgerät, dielektrisches  
 Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse  
 Flüssigkeits-Eindringtest  
 Gaspermeabilitäts-Verfahren  
 Haftzugprüfung  
 Impuls-Prüfhammer  
 Indikator-Technik  
 Induktions-Thermographie  
 Kalzium-Karbid-Methode

Kugelschlag-Versuch  
 Lambda-Nadelsonde  
 Laservibrometer  
 Magnetische Rißortung in Spannstählen  
 Magnetpulverprüfung  
 Mikroklima-Bestimmung  
 Mikrowellen-Reflexion  
 Mikrowellen-Transmission  
 Neutronensonde  
 Pfahlprüfung  
 Potentialverfahren, elektrochemisches  
 Radar  
 Rauhtiefenbestimmung  
 Reifegrad-Methode  
 Rißmarken  
 Rißvermessungsgeräte, optische  
 Röntgen-Rückstreuung  
 Rückprallhammer  
 Sauerstoff-Sensor  
 Setz-Dehnungsmessung  
 Ultraschall-Echo  
 Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen  
 Ultraschall-Laufzeit und -Intensität  
 Vakuum-Verfahren  
 Vermessung über Satellit  
 Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden  
 Wirbelstromverfahren

### Messung vor Ort, Auswertung im Labor

Schwingungsanalyse am Bauwerk  
 Verformungsmessung

### Sowohl am Bauwerk als auch im Labor

Chlorid-Nachweis  
 Computer-Tomographie  
 Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse  
 Holographische Interferometrie  
 Infrarot-Reflektographie  
 Infrarot-Thermographie  
 Laser-Speckle-Photographie  
 Mikroskopie, optische  
 Salz-Test  
 Schallemissionsanalyse

## Klassifikation nach Auswertung

### Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor

Atomabsorptions-Spektroskopie  
 Chlorid-Nachweis  
 Computer-Tomographie  
 Differential-Thermo-Analyse (DTA)  
 Energiedispersive Analyse (EDX)  
 Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben  
 Gaschromatographie  
 Infrarot-Reflektographie  
 Kernspinresonanz zur Feuchtemessung  
 Laser-Speckle-Photographie  
 Quecksilber-Porosimeter  
 Radiographie mit Gammastrahlen  
 Radiographie mit Neutronen  
 Radiographie mit Röntgenstrahlen  
 Röntgen-Diffraktometrie (XRD)  
 Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)  
 Röntgen-Rückstreuung  
 Schallemissionsanalyse  
 Schwingungsanalyse am Bauwerk  
 Verformungsmessung

### Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort

Anemometer  
 Auszieh-Versuch  
 Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
 Biegebrechversuch  
 Bolzensetzgerät  
 Dickenmessung von dünnen Beschichtungen  
 Dickenmeßverfahren mit Ultraschall  
 Druckgas-Verfahren  
 Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse  
 Endoskop (flexible Ausführung)  
 Endoskop (starre Ausführung)  
 Farb-Eindringverfahren  
 Feuchtemeßgerät, dielektrisches  
 Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse  
 Gaspermeabilitäts-Verfahren  
 Holographische Interferometrie  
 Impuls-Prüfhammer  
 Indikator-Technik  
 Induktions-Thermographie  
 Infrarot-Strahlungsthermometer  
 Infrarot-Thermographie  
 Kalzium-Karbid-Methode  
 Lambda-Nadelsonde  
 Laservibrometer

Lichtwellenleiter  
 Magnetische Rißortung in Spannstählen  
 Magnetpulverprüfung  
 Mikroklima-Bestimmung  
 Mikroskopie, optische  
 Neigungssensor  
 Neutronensonde  
 Radar  
 Rauhtiefenbestimmung  
 Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden  
 Rißvermessungsgeräte, optische  
 Salz-Test  
 Sauerstoff-Sensor  
 Setz-Dehnungsmessung  
 Ultraschall-Echo  
 Ultraschall-Laufzeit und -Intensität  
 Vakuum-Verfahren  
 Vermessung über Satellit  
 Videoskop  
 Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden  
 Wirbelstromverfahren

### Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort

Abreiß-Versuch  
 Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand  
 Flüssigkeits-Eindringtest  
 Haftzugprüfung  
 Hydrophobierungstest mit Elektrolyten  
 Kugelschlag-Versuch  
 Mikrowellen-Reflexion  
 Mikrowellen-Transmission  
 Pfahlprüfung  
 Potentialverfahren, elektrochemisches  
 Reifegrad-Methode  
 Rißmarken  
 Rückprallhammer  
 Schwingsaitenaufnehmer  
 Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen





90BAM1

## Abreiß-Versuch

**Stichworte:** *Betonfestigkeit — Abreißfestigkeit — Bauwerks-haut — Oberflächenzugfestigkeit*

**Kurzbeschreibung:** Zur Untersuchung der Festigkeit von Beton: Eine mit einem geeigneten Kleber auf die zu untersuchende Oberfläche geklebte Metallscheibe wird mit Hilfe einer kalibrierten Vorrichtung abgezogen und die dafür aufzubringende Kraft gemessen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Voraussetzung für den Bezug zur Tragfähigkeit des Betons, also zur Betondruckfestigkeit ist, daß die Eigenschaft der Betonoberfläche mit den Eigenschaften der tieferliegenden Bereiche ausreichend übereinstimmt.

**Einflußgrößen:** Das Ergebnis ist u.a. von der Art des Betonzuschlags abhängig, eine Kalibrierung ist also unbedingt erforderlich. Weitere Einflußgröße: Feuchtigkeit

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk allgemein geeignet.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Kennwert für die Zugfestigkeit in der Nähe der Oberfläche (Oberflächenzugfestigkeit) bzw. für die Festigkeit (Abreißfestigkeit) des Betonuntergrundes im Hinblick auf dessen Tragvermögen für zusätzlich aufgebraute Schichten.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird meistens nur zur Prüfung aus besonderem Anlaß und nicht bei periodisch zu wiederholenden Untersuchungen eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Belastung manuell über Kurbel oder elektromechanisch; unterschiedliche Maximalkraft (bis 40 kN).

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren; Prüfvorschriften DIN 1048 Teil 2.

**Gerätekosten:** von 5000 bis 15000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Verwandte Verfahren sind: \*Auszieh-Versuch, \*Biegebruch-Versuch. Das Verfahren der \*Haftzugprüfung erfolgt nach dem gleichen Meßprinzip (und neuerdings auch mit den gleichen Geräten), aber mit der Fragestellung der Haftzugfestigkeit.

**Anwendung:** Der Abreiß-Versuch stellt eine Methode dar, um die Zugfestigkeit im Bereich der Oberfläche bzw. der freiliegenden Fläche von Betonbauteilen festzustellen (Oberflächenzugfestigkeit). So wird z.B. in den "Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (ZTV-SIB 1990)" beim Aufbringen von Spritzbeton für den Untergrund eine "Abreißfestigkeit" von mindestens  $1.5 \text{ N/mm}^2$  verlangt.

Die beim Abreißversuch ermittelten Kennwerte korrelieren für den jeweiligen Beton auch zufriedenstellend mit dessen Betondruckfestigkeit, wobei allerdings die Vorraussetzung erfüllt sein muß, daß die Betonfestigkeit der oberflächennahen Schichten mit der der inneren Bereiche übereinstimmt.

Zur Messung wird eine Abzugsplatte (Prüfstempel) mit einer definierten Fläche von mindestens 50 mm Durchmesser (bis zu einem Größtkorn des Zuschlages von höchstens 32 mm) mit einem geeigneten Kleber (z.B. Epoxidharz) auf das Bauteil geklebt. Die Abzugskraft wird dann nach Trocknung des Klebers mit einem Abzugsgerät bestimmt. Dazu wird die Belastung entweder manuell über eine Kurbel oder mit einer einstellbaren Geschwindigkeit elektromechanisch bis zum Abreißwert hochgefahren. Aus diesem Wert kann die Oberflächenzugfestigkeit berechnet werden (DIN 1048 Teil 2).

Sehr wichtig für ein einwandfreies Versuchsergebnis ist eine tatsächlich zentrierte Einleitung der Zugkraft ohne ungewollte Biegemomente durch z.B. Verkanten der Abzugsplatte. Mit einer neuentwickelten Vorrichtung nach dem Prinzip der hydrostatischen Abstützung werden störende Querkkräfte bzw. Biegemomente vermieden (/89BAM/, S. 41).

Als Variante des Versuchs kann der Bereich, der abgezogen werden soll, bis in eine gewünschte Tiefe mit einem Spezialbohrer freigebohrt und so die Festigkeit in tieferliegenden Bereichen geprüft werden. Wegen des Einflusses von Seitenkräften ist diese Methode allerdings mit Unsicherheiten verbunden.

Das für den Abreiß-Versuch angewandte Prinzip wird z.T. mit identischen Geräten auch zur \*Haftzugprüfung eingesetzt.

**Bewertung:** Mit dem Abreißversuch wird ein aussagefähiger Festigkeitskennwert des oberflächennahen Bereichs ermittelt. Als "Abreißfestigkeit" charakterisiert er den Zustand des Untergrundes für einen Mörtel- oder Betonauftrag, als "Oberflächenzugfestigkeit" gibt er ein Maß für die Widerstandsfähigkeit der Bauwerkshaut gegenüber äußeren Einwirkungen.

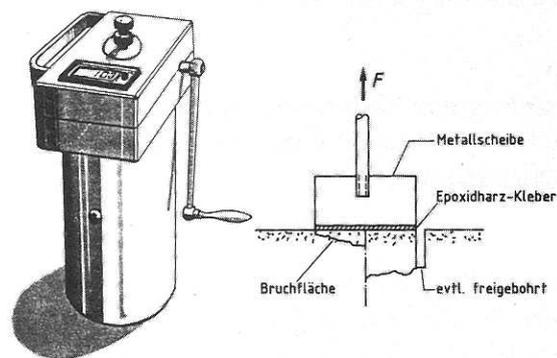
Der Abreiß-Versuch ist einfach durchzuführen. Neben dem \*Auszieh-Versuch bietet er die Möglichkeit, Festigkeitswerte direkt am Bauwerk zu erhalten, die i.d.R. auch gut mit der Betondruckfestigkeit korrelieren. Die Methode ist zwar weniger genau als der \*Auszieh-Versuch, ist aber —wegen der vergleichsweise geringen Schädigung der Betonoberfläche und der Tatsache, daß die Messung ohne große Vorbereitung der Oberfläche durchführbar ist— gut geeignet.

Nicht zuletzt wegen der jüngsten Weiterentwicklung der Gerätetechnik und der damit verbundenen einfachen Handhabung ist das Verfahren auch für Reihenuntersuchungen geeignet.

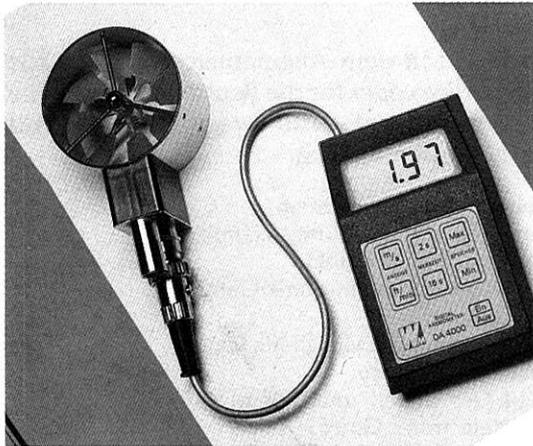
#### Gerätehersteller/-lieferanten:

Josef Freundl  
Bluhm & Feuerherdt  
FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
Germann Instruments, LTD.  
Herion-Werke KG  
PROCEQ SA  
Schenck AG, Carl

Literaturhinweise: 84Sch1, 89BAM, 90BAM1, 90Hei



Abreiß-Versuch für Festigkeitsprüfungen von Beton und Estrich /86Sch3/



90Wes

## Anemometer

**Stichworte:** Mikroklima — Bauwerkshaut — Umwelteinflüsse

**Kurzbeschreibung:** Hilfsgerät zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit von Luft als Teil des Mikroklimas an Oberflächen oder in Hohlräumen, z.B. hinter vorgehängten Fassaden.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Hilfsgerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Zu beachten ist, daß das Anemometer den Luftstrom beeinflussen kann.

**Einflußgrößen:** Stellwinkel zur Strömungsrichtung.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk allgemein geeignet.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Entfällt, da andere Aufgabenstellung.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen regelmäßig auszuführender Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist grundsätzlich für die Instrumentierung geeignet.

**Ausführungen:** Von einfachen Handgeräten bis zu fest installierten Geräten mit Fernüberwachung und automatischer Registrierung. Auch in Kombination mit anderen Geräten zur Mikroklimabestimmung erhältlich.

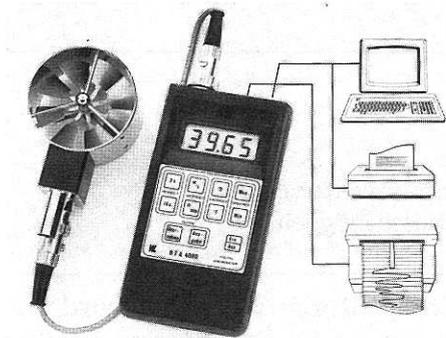
**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes Gerät.

**Gerätekosten:** von 900 bis 2000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Durch die Luftbewegung wird im einfachsten Fall ein Flügelrad in Bewegung gesetzt und aus der Umdrehungsgeschwindigkeit die Luftgeschwindigkeit abgeleitet. Diese Geräte eignen sich zum Einsatz bei Luftgeschwindigkeiten größer als 0.3 m/s. Die gemessene Geschwindigkeit hängt stark von der exakten Ausrichtung des Anemometers ab.

Instrumente für niedrige Luftgeschwindigkeiten arbeiten mit elektrischen bzw. thermischen Methoden.



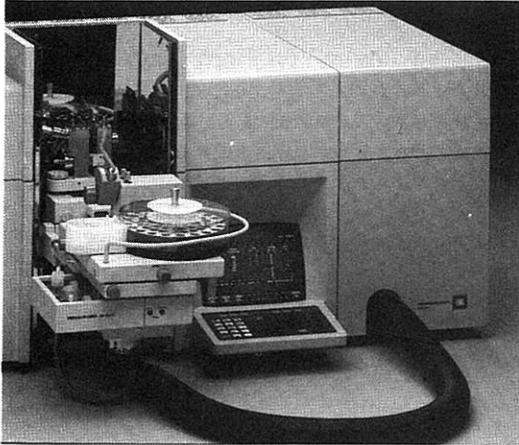
Digital-Anemometer von Wessels Messtechnik GmbH

**Bewertung:** Mit dem Anemometer kann die für das Mikroklima oder für die Beurteilung des Wärmeschutzes relevante Luftbewegung einfach und schnell gemessen werden.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Ahlborn Meß- und Regelungstechnik  
Airflow Lufttechnik GmbH  
Althen Meß- und Datentechnik GmbH  
BRAIVE Instruments  
Dantec Elektronische Meßgeräte GmbH  
Solomat Verkaufsbüro  
TESTEM, Ges. f. Meß- und Datentechnik mbH  
Ultrakust electronic GmbH  
Wessels Messtechnik GmbH  
ecoTech, G.F. Behre, Umwelt-Meßsysteme

**Literaturhinweise:** 90Wes



90Phi

## Atomabsorptions-Spektroskopie

**Stichworte:** *Spektroskopie — Probenahme — Chemische Analyse*

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zur gezielten chemischen Analyse nach der Methode der Resonanz-Absorption in der Gasphase. Es werden Proben mit einem speziellen Spektrometer im Labor untersucht.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Labormethode
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Mehr als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Probenahme und der Probentransport müssen so erfolgen, daß die Probe bis zum Nachweis im Labor möglichst keinen chemischen Veränderungen unterliegt.

**Einflußgrößen:** Art der Probenahme, Feuchtigkeit.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Labor-Untersuchungsmethode, nicht für Feldmessungen.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Elementanalyse an Proben bei gezielter Fragestellung.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Entfällt, da laborgebundenes Verfahren.

**Bauwerksinstrumentierung:** Entfällt, da laborgebundenes Verfahren.

**Ausführungen:** Die Geräte unterscheiden sich je nach zu analysierender Substanz und dafür optimaler Verdampfungsmethode.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren zur chemischen Analyse mit großer Nachweisempfindlichkeit; noch keine intensive Nutzung im Bauwesen

**Gerätekosten:** von 25000 bis 75000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Alternativmethoden sind sämtliche Verfahren der analytischen Chemie.

**Anwendung:** Die Atom-Absorptions-Spektroskopie ist ein Verfahren, mit der die chemische Analyse von kleinen Substanzmengen mit großer Genauigkeit und einer großen Nachweisempfindlichkeit durchgeführt werden kann. Zur Messung wird die zu analysierende Substanz in die Gasphase überführt, was entweder durch Lösung in einem Lösungsmittel und anschließender Verbrennung oder direkter Verbrennung in speziellen Graphitrohren erfolgt. Die Analyse erfolgt dann nach dem Prinzip der Resonanz-Absorption: Das zu untersuchende Gas wird mit einer Spektrallampe des zu untersuchenden Elements beleuchtet. Aus der Extinktion, das heißt der Lichtschwächung bei der betreffenden Wellenlänge kann dann die Konzentration des entsprechenden Elementes berechnet werden.

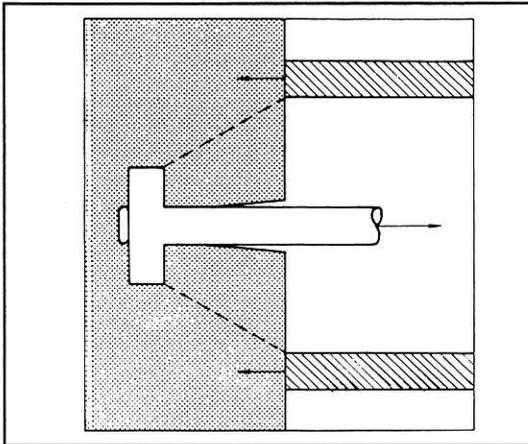
Die Meßgenauigkeit und Nachweisgrenzen hängen ab von den zur Verfügung stehenden Spektrallampen, Verdampfungsmöglichkeiten und Substanzmengen; als Anhaltswert kann eine Nachweisgrenze von 5 bis 50 ppm angegeben werden. Im Bauwesen bietet sich das Verfahren speziell für die Überwachung des Zustandes von Betonbauwerken an. Ein Problem liegt jedoch darin, daß die Bestimmung der interessierenden Kenngrößen wie z.B. Feuchtigkeit, Karbonatisierung oder Korrosionszustand bei der Verwendung der Atom-Absorptions-Spektroskopie nur indirekt über die Bestimmung der Elemente erfolgt; anhand von am Bauwerk entnommenen (z.B. Bohrmehlentnahme) und im Labor analysierten Proben. In der Zwischenzeit sind chemische Veränderungen der Proben nicht ausgeschlossen. Eine wesentliche Verbesserung würde ein fahrbares Laborgerät bringen, das in unmittelbarer Nähe zum Objekt bzw. Bauwerk arbeitet.

**Bewertung:** Bei diesem Verfahren werden nur Elemente (keine Moleküle) gemessen und zwar nur jene, nach denen gesucht wird. Die Anwendung ist deshalb nur dann sinnvoll, wenn eine eindeutige Fragestellung vorliegt. Bei allgemeiner chemischer Analyse der Proben ist es sinnvoller, auf andere chemische Analysemethoden zurückzugreifen.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Perkin-Elmer GmbH  
Philips GmbH, IPG-Industrial X-Ray

**Literaturhinweise:** 90Phi



86Jun1

## Auszieh-Versuch

**Stichworte:** Betonfestigkeit — Junger Beton — Ausbruchkegel — Bauwerkshaut — Lok-Test — Ausziehfestigkeit — Capo-Test — Erhärtungsprüfung

**Kurzbeschreibung:** Methode zur Bestimmung der Betonfestigkeit: Es wird die Kraft gemessen, die aufgebracht werden muß, um eine in den Beton eingebrachte Prüfscheibe mit Hilfe einer Abzugsvorrichtung aus diesem herauszuziehen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Elementar-handwerkliche Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Prüfscheiben müssen vor der Betonierung an der Schalung befestigt, oder aber später beim Festbeton in speziellen Sacklöchern angebracht werden.

**Bauwerksprüfung:** Möglich bei nachträglichem Anbringen der Prüfscheibe (CAPO-Test). Eingesetzt meist zur Prüfung aus besonderem Anlaß und nicht bei periodisch zu wiederholenden Untersuchungen.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

### Einflußgrößen:

**Ausführungen:** Unterschiedliche Montagemöglichkeiten der Prüfscheibe: Montage vor oder nach dem Betonieren (Lok-Test) oder danach (Capo-Test).

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Im Ausland bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren in den USA und in Dänemark; Prüfrichtlinien: ASTM C900 (USA); ISO/DIS 8046 (International); NT BUILD 211 (Skandinavien); DS 423.31 (Dänemark); BS 1881 Part 207 (Großbritannien).

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialfestigkeit, Verfahren liefert korrelierbaren Kennwert.

**Gerätekosten:** von 5000 bis 20000 DM

**Bauwerksüberwachung:** Geeignet zur Qualitätssicherung als begleitendes Prüfverfahren beim Errichten von Stahl- und Spannbetonbauwerken.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Englische Bezeichnung: Pullout Test oder: Cast-in-Place Pullout. Alternativmethode: \*Abreißversuch; s.a. im Index unter "Betonfestigkeit".

**Anwendung:** Der Auszieh-Test eignet sich vornehmlich zur Ermittlung der Festigkeit von jungem Beton. In der Praxis sind im wesentlichen drei Anwendungsformen verbreitet:

a) (Wird auch als Lok-Test bezeichnet): Eine Prüfscheibe von ca. 25 mm Durchmesser wird vor dem Einfüllen des Frischbetons an der Schalung mit einem Abstand von ca. 25 mm zur späteren Betonoberfläche befestigt. Zum Zeitpunkt der Prüfung wird eine Zugstange in die Prüfscheibe eingesetzt und diese mit einer mechanischen oder hydraulischen Abzugsvorrichtung herausgezogen, wobei eine kraterförmige Bruchfläche entsteht. Die aufzubringende Kraft wird gemessen und durch die Bruchfläche geteilt. Die so bestimmte Ausbruch-Festigkeit ist mit der gesuchten Druckfestigkeit über den Faktor 0.1 bis 0.3 korreliert, was anhand spezieller Kalibrierkurven abgelesen werden kann.

b) (Wird auch als Capo-Test bezeichnet): Zur Anwendung des Auszieh-Versuches ohne vorherige Anbringung der Prüfscheibe an der Verschalung ist es möglich, einen aufweitbaren Prüfring in einem speziell vergrößertem Sackloch anzubringen. Der weitere Versuchsverlauf ist ansonsten derselbe wie oben unter a) beschrieben.

c) Zur Minimierung der Betonschädigung an der Oberfläche kann die Methode auch auf solche Weise angewandt werden, daß nur die für die Prüfung der Mindestfestigkeit notwendige Kraft aufgebracht wird. Auch die Anwendung der \*Schallemissionsanalyse zur Bestimmung des Einsatzpunktes des Betonbruchs ist möglich.

**Bewertung:** Die beschriebene Methode erlaubt die absolute Bestimmung der Betonfestigkeit an schon bestehenden Bauwerken mit einer vergleichsweise hohen Genauigkeit. Dennoch ist eine statistische Auswertung der Meßwerte anzuraten. Je größer die Zuschläge, desto größer die Streuung der Meßwerte.

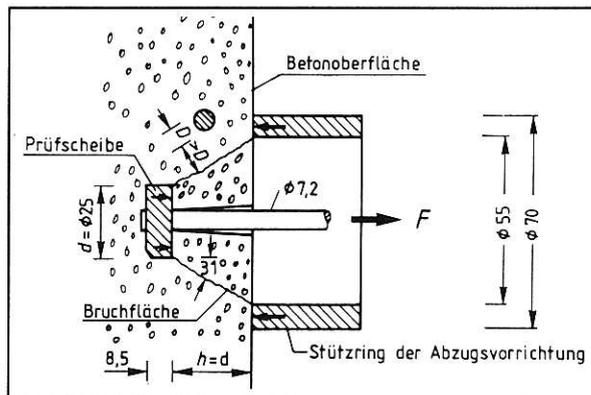
Die Ausziehmethode beschädigt den Beton an der Oberfläche, die Beschädigungen sind i. d. R. jedoch leicht behebbar. Die Methode ist im Vergleich zum \*Abreiß-Versuch in der Durchführung aufwendiger, bietet aber den Vorteil einer besseren Korrelation zur Betondruckfestigkeit. Außerdem liefert sie im Vergleich zum \*Abreiß-Versuch weniger streuende Meßwerte.

Eine vergleichende Untersuchung von Lok- und Capo-Test hat ergeben, daß die beiden Methoden nahezu gleichwertige Ergebnisse liefern /86VeI/.

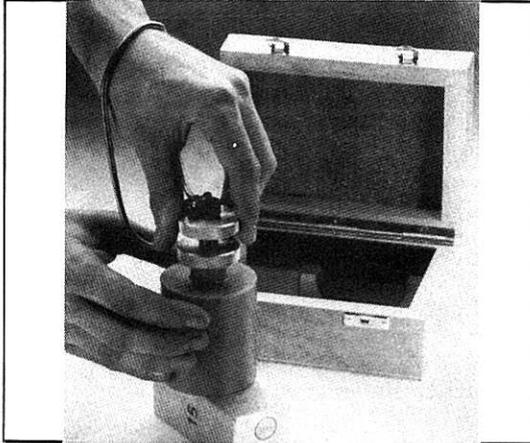
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Ger mann Instruments, LTD.

**Literaturhinweise:** 84Bic, 84Car, 84Dah, 84Kho, 84Lon, 84Par, 84Vog, 86Sch3, 86VeI, 89Kap



Auszieh-Versuch (pull-out test) mit Montage der Prüfscheibe vor dem Betonieren /86Sch3/



90Thy

## Bewehrungs-Prüfgerät (dauerma- gnetisches)

**Stichworte:** *Betondeckung — Magnetische Verfahren — Bewehrungslage*

**Kurzbeschreibung:** Ortungs- und Meßverfahren für Bewehrungsstahl: Die Anziehungskraft zwischen einem Permanentmagneten und dem Bewehrungsstahl gibt ein Maß für die Betondeckung.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Bewehrung muß magnetisierbar sein. Es werden jeweils die am dichtesten unter der Oberfläche liegenden Eisenteile gemessen. Die Meßfläche muß für das Prüfpersonal unmittelbar zugänglich sein.

**Einflußgrößen:** Bewehrungsdurchmesser; zu dicht beieinander liegende Bewehrungsstähle können geringere Überdeckung vortäuschen. Gleichstromführende Kabel.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Feldmessungen an Massivbauten bzw. -brücken. Nur noch selten angewandtes ZfPBau-Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Entfällt, da andere Aufgabenstellung.

**Bauwerksüberwachung:** Für Überwachung nur einsetzbar bei geringen Betondeckungen ( 20 mm).

**Bauwerksprüfung:** Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Mit einfachem Dauermagnet und "manueller" Kraftmessung; oder in Kombination mit magnetischer Waage.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren

**Gerätekosten:** von 300 bis 600 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** \*Bewehrungs-Prüfgerät (nur Ortung und Betondeckung), \*Bewehrungs-Prüfgerät mit Durchmesserbestimmung), \*Bewehrungs-Prüfgerät (Streifeldmessung). Wichtige Hinweise auch im Merkblatt der DGZfP /90DGZ/.

**Anwendung:** In der einfachsten Version wird ein Dauermagnet über die Betonoberfläche geführt und an einem Kontrollkörper die gerade noch fühlbare Detektionstiefe eingestellt, die maximale Reichweite liegt unter 20 mm. Zusätzlich kann die Kraft zwischen Permanentmagneten und Bewehrungsstahl gemessen werden.

Dafür sind mehrere Ausführungsformen bekannt. Einmal kann die Kraft über die Spannung einer Spiralfeder mit angebrachter Skala gemessen werden, wobei mit einem Kalibrierkörper die Anzeige geeicht wird. Die zweite, empfindlichere Möglichkeit besteht darin, eine magnetische Waage zu verwenden, bei der über den Ablenkwinkel eines Balkens die Anziehungskraft zwischen Dauermagneten und Bewehrung angezeigt wird. Die Kalibrierung muß für jeden Bewehrungsdurchmesser getrennt durchgeführt werden.

**Bewertung:** Die beschriebenen Methoden können nur als halbquantitativ bezeichnet werden. Im wesentlichen kann nur eine Ja/Nein Aussage erreicht werden, d.h. ob die Betondeckung z.B. einen Wert von 20 mm überschreitet oder nicht.

Das Gerät eignet sich besonders gut für eine schnelle Prüfung, ob dicht unter der Oberfläche Bewehrungsseisen verlaufen, z. B. vor dem Bohren kleiner Löcher.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

PROCEQ SA

Thyssen Edelstahlwerke Magnetfabrik Dortmund

**Literaturhinweise:** 86Dan, 86Sch3, 86Sch4, 88Dei, 89Sch, 89Yos, 90DGZ, 90Thy



90BAM1

## Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)

**Stichworte:** *Betondeckung — Magnetische Verfahren — Bewehrungslage — Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)*

**Kurzbeschreibung:** Zur Messung der Betondeckung und der Bewehrung aus magnetisierbarem Material nach dem Prinzip der magnetischen Induktion; zusätzliche Meßmöglichkeit des Bewehrungsdurchmessers.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Der Abstand zweier Bewehrungsstäbe darf nicht kleiner sein als die zu messende Betondeckung.

**Einflußgrößen:** Stahlart, speziell bei der Durchmesserbestimmung: Fremdeisen; stromführende Kabel.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Feldmessungen an Massivbauten bzw. -brücken.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Entfällt, da andere Aufgabenstellung.

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren; geeignet zur regelmäßigen Überwachung von Bauwerken.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren der Durchmesserbestimmung ist noch wenig in der Praxis erprobt, aber durchaus sowohl für Sonderprüfungen aus besonderem Anlaß als auch bei in angemessenen Zeitabständen zu wiederholenden Untersuchungen einsetzbar.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Geräte nach dem magnetischen Wechselfeldverfahren oder Wirbelstromverfahren.

**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes Untersuchungsverfahren.

**Gerätekosten:** von 3000 bis 5000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Funktionsweise wie das \*Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung) mit zusätzlicher Sonde zur Durchmesserbestimmung. Für weitere Hinweise siehe auch Merkblatt der DGZfP /90DGZ/.

**Anwendung:** Das Gerät ermöglicht die Ortung und Durchmesserbestimmung von magnetisierbaren Bewehrungen sowie die Messung der Betondeckung. Diese erfolgt in drei Arbeitsschritten: Zunächst wird mit einer Punktsonde der Verlauf der Bewehrung ermittelt, die nach dem gleichen elektromagnetischen Prinzip arbeitet wie das \*Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung). Der Verlauf der Bewehrung wird auf der Betonoberfläche markiert. Bei unbekanntem Bewehrungsdurchmesser kann dieser dann mit einer speziellen Durchmesserprobe bestimmt werden.

Als Einschränkung ist zu sagen, daß diese Messung sehr empfindlich auf Störeisen in der Umgebung reagiert, und so muß zur genauen Durchmesserbestimmung der Abstand benachbarter Einzelstäbe und Kreuzungspunkte das vier- bis siebenfache der Betondeckung betragen. Nach Bestimmung des Bewehrungsdurchmessers wird mit dessen Kenntnis die Betondeckung aus der Größe der in der Sekundärspule induzierten Spannung berechnet und angezeigt.

Das Meßprinzip bei Anwendung des Wechselfeldverfahrens und die Messung der Betondeckung entspricht dem unter \*Bewehrungsprüfgerät (Ortung und Betondeckung) beschriebenen Prinzip.

Ergänzend ist zu sagen, daß prinzipiell auch für die \*Bewehrungsprüfgeräte (Streuflußmessung) die Möglichkeit der Durchmesserbestimmung besteht.

Geräte, die nach dem \*Wirbelstromverfahren arbeiten, bieten die einzige Möglichkeit, die Betondeckung und den Durchmesser von nicht magnetisierbarer Bewehrung, z.B. Edelstahl, zu bestimmen.

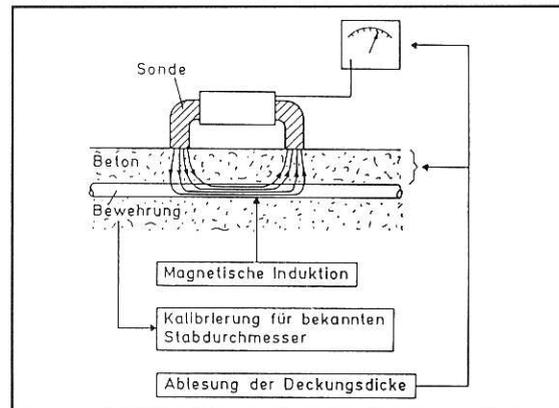
**Bewertung:** Dieses Gerät, welches eigentlich eine Kombination zweier Geräte darstellt, ist in der Hand eines erfahrenen Benutzers geeignet für den schnellen und einfachen Nachweis der Bewehrung.

Insbesondere die Durchmesserbestimmung ist jedoch anfällig auf Nebeneffekte, so daß die Ergebnisse kritisch hinterfragt werden sollten. Eine statistische Auswertung ist anzuraten.

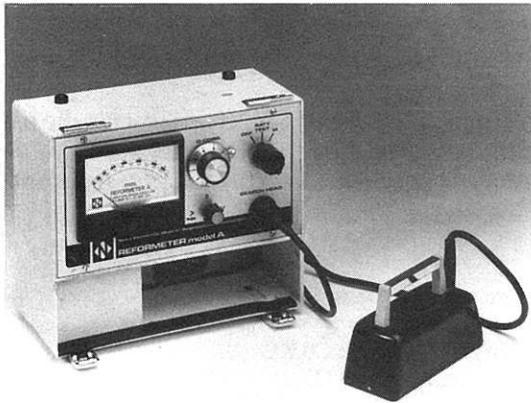
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Bluhm & Feuerherdt  
Elektro-Physik GmbH & Co.KG  
FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
PROCEQ SA  
SUSPA, Spannbeton GmbH  
Emil Schneider GmbH & Co.KG

**Literaturhinweise:** 86Dan, 86Sch4, 88Dei, 89Sch, 89Sch2, 89Yos, 90BAM1, 90DGZ, 91Feh



Lage der Bewehrung (Überdeckung) /86Sch4/



## Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)

**Stichworte:** *Betondeckung — Magnetische Verfahren — Bewehrungslage*

**Kurzbeschreibung:** Zum Orten der Bewehrung und Messen der Betondeckung. Meßprinzip: Magnetische Induktion nach dem Wechselfeld-Verfahren.

90BAM1

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Magnetisierbare Bewehrung, Zugänglichkeit der Meßfläche; der ungefähre Bewehrungsdurchmesser muß bekannt sein. Parallel liegende Stähle lassen sich gerade noch nachweisen, wenn der lichte Abstand größer oder gleich der Betondeckung ist.

**Einflußgrößen:** Stahldurchmesser, Stahlart, stromführende Kabel.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Feldmessungen an Massivbauten bzw. -brücken. Bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Entfällt, da andere Aufgabenstellung.

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet zur regelmäßig auszuführenden Überwachung von Bauwerken. Geeignet zur Qualitätssicherung als baubegleitende Prüfung während des Herstellungsprozesses.

**Bauwerksprüfung:** Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Geräte mit integrierter oder getrennter Primär- und Sekundärschleife.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Gerätekosten:** von 2000 bis 4000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Auch Geräte mit Messung des Bewehrungsdurchmessers (\*Bewehrungs-Suchgerät mit Durchmesserbestimmung); Alternativgerät: \*Bewehrungssuchgerät (Streuungsmessung/dauermagnetisches). Siehe auch Merkblatt der DGZfP / 90DGZ/.

**Anwendung:** Zur Ortung der Bewehrung wird der minimale Abstand zwischen einem auf der Betonoberfläche geführten Prüfkopf und dem (magnetisierbaren) Bewehrungsstaben bestimmt. In dieser Stellung kann dann auch der Abstand angezeigt und so die Betondeckung gemessen werden. Voraussetzung für die Betondeckungsmessung ist allerdings, daß entweder sämtliche interessierenden Bewehrungsstäbe den selben Durchmesser haben und hierfür zuvor der Zusammenhang zwischen Meßanzeige und dem Maß der Betondeckung kalibriert wurde oder aber daß der jeweilige Stabdurchmesser mit Sicherheit bekannt ist.

Das Meßprinzip beruht auf der Funktionsweise eines Transformators: 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. Über eine Kalibrierung in "eisenfreier" Umgebung kann dann die Stärke der Induktionsänderung mit einer Brückenschaltung sehr empfindlich gemessen und bei bekanntem Durchmesser der Bewehrung eine Abstandskalibrierung erreicht werden.

Im praktischen Einsatz tritt eine Vielzahl von Störgrößen auf, so daß man sich nicht auf einzelne Meßpunkte verlassen sollte. Vielmehr sollte der Verlauf der Bewehrung unter der interessierenden Betonoberfläche punktwise verfolgt, und die Abstandsmessung an mehreren Punkten vorgenommen werden. An Kreuzungspunkten, sowie an Bauwerkskanten und in Bereichen, in denen der Bewehrungsabstand kleiner als die Betonüberdeckung ist, sind die Meßwerte besonders kritisch zu betrachten. Weitere Einflußgrößen sind der Stahldurchmesser und letztlich auch die Stahlsammensetzung.

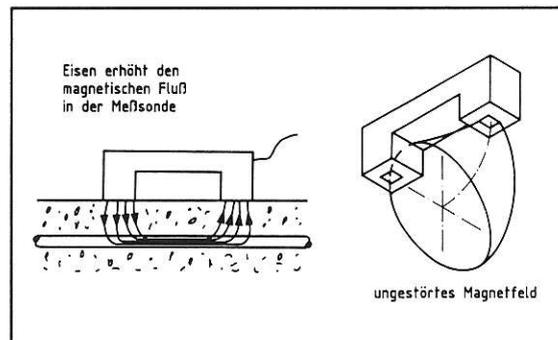
**Bewertung:** Bewährtes Verfahren für magnetisierbare Bewehrung.

Es werden zunehmend Geräte eingesetzt, die es zusätzlich gestatten, den Durchmesser der Bewehrung zu messen (siehe \*Bewehrungsprüfgerät mit Durchmesserbestimmung).

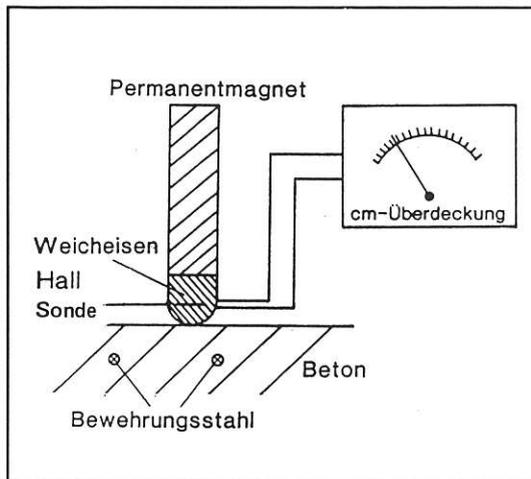
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Josef Freundl  
Elektro-Physik GmbH & Co.KG  
Germann Instruments, LTD.  
Nema Electronics BV  
Vestale GmbH

**Literaturhinweise:** 86Dan, 88Dei, 89Sch, 89Sch2, 89Yos, 90BAM1, 90DGZ, 91Dan, 91Feh



Prinzip eines Bewehrungs-Suchgerätes zur Bestimmung der Betondeckung sowie der Lage der Bewehrung in massiven Bauteilen /86Sch3/



90DGZ

## Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)

**Stichworte:** *Betondeckung — Magnetische Verfahren — Bewehrungslage — Magnetischer Gleichfeld-Fluß*

**Kurzbeschreibung:** Quantitatives Verfahren auf der Basis der Magnetisierung mit einem Dauermagneten und der Messung des Gleichfeld-Streulusses mit geeigneten Detektoren.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Bewehrung darf nicht zu eng liegen und keine anderen metallischen Objekte dürfen die Messung stören.

**Bauwerksprüfung:** Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort.

**Einflußgrößen:** Stromführende Kabel; Bewehrungsdurchmesser.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Feldmessungen an Massivbauten bzw. -brücken.

**Ausführungen:** Gerät zur punktuellen Messung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Entfällt, da andere Aufgabenstellung.

**Entwicklungsstand:** Das Verfahren befindet sich zur Messung längs einer Linie in der Entwicklung.

**Gerätekosten:** von 1500 bis 2500 DM

**Bauwerksüberwachung:** Geeignet zur regelmäßig auszuführenden Überwachung von Bauwerken.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Weiterentwicklung des \*Bewehrungsprüfgerätes (dauer magnetisch); Alternativmethoden: Bewehrungsprüfgerät (Ortung und Betondeckung/ mit Durchmesserbestimmung). Wichtige Hinweise auch im Merkblatt der DGZfP /90DGZ/.

**Anwendung:** Dieses Verfahren stellt quasi eine Weiterentwicklung des \*Bewehrungsprüfgerätes (dauer magnetisch) dar. Die Magnetisierung der Bewehrung erfolgt mit einem Dauermagneten, wobei das Magnetfeld durch die ggf. vorhandene – magnetisierbare – Bewehrung gestreut wird. Der Vergleich des mit einem Magnetgleichfeld-Detektor (z.B. Hallsonde) gemessenen Feldes und einem am Kalibrierkörper gemessenen Gesamtfeld liefert einen Wert für die Betondeckung. Vorausgesetzt wird dabei, daß bei vorgegebenem Stabdurchmesser das Gesamtfeld sich linear mit der Betondeckung ändert.

Zur Messung wird das Gerät im interessierenden Bereich des Bauwerks über die Oberfläche geführt und die Betondeckung an der von Zeit zu Zeit zu kalibrierenden Skala abgelesen.

In einer Weiterentwicklung des Verfahrens wird das Streufeld mit mehreren in einer Reihe angebrachten Hall-Detektoren synchron auf einer Länge von ca. 20 cm gemessen. Diese Sensorleiste wird über die Betonoberfläche geführt und eine Amplituden-Ortskurve mit einem Rechner aufgezeichnet. Daraus werden die Betondeckung und der Durchmesser orts aufgelöst berechnet. Das Verfahren hat eine Ähnlichkeit mit der \*Magnetischen Rißortung in Spannstählen.

Das Verfahren kann auch zur Bestimmung des Durchmessers der Bewehrung verwendet werden. Das Gleichfeldverfahren hat gegenüber den Wechselfeldverfahren (s. a. \*Bewehrungsprüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)) den Vorteil, daß das Verfahren nur gering von der chemischen Zusammensetzung und dem Gefügestand des Eisens abhängig ist /91Neu/.

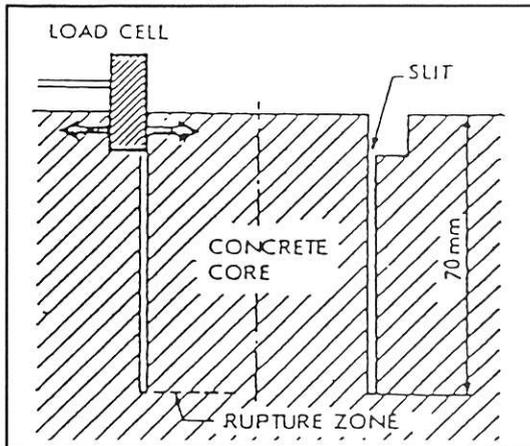
**Bewertung:** Die Bewehrungsmessung nach dem Streufeldprinzip hat derzeit noch eine etwas geringere Aussagesicherheit (relativer Meßfehler 5%) als die anderen Meßmethoden nach dem Wechselfeld- und Wirbelstromverfahren. Günstige Voraussetzungen bringt jedoch die geringe Abhängigkeit von den Kenngrößen des Werkstoffs.

Beim Gleichfeld-Streufeldverfahren wird der Meßwert nicht von der elektrischen Leitfähigkeit des Werkstoffs, sondern nur von dessen Permeabilität beeinflusst. Dabei ist zusätzlich von Vorteil daß letztere nur sehr wenig von der chemischen Zusammensetzung des Eisens abhängig ist. Ein interessantes Entwicklungspotential bietet die Synchronmessung mit einer Meßleiste. Bei entsprechendem Aufwand läßt sich das Verfahren so zu einem bildgebenden Verfahren entwickeln.

Vielversprechend sind auch die Entwicklungen, das Verfahren zur Messung des Bewehrungsdurchmessers anzuwenden.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**  
Dipl.-Ing. Heinrich List GmbH

**Literaturhinweise:** 86Kro, 89Sch, 89Sch2, 89Yos, 90DGZ, 91Neu1



84Mal1

## Biegebrechversuch

**Stichworte:** *Betonfestigkeit — Bauwerkshaut — Biegezugfestigkeit*

**Kurzbeschreibung:** Zur Festigkeitsuntersuchung von Beton: An einem freigebohrten Bohrkern wird die Kraft bestimmt, die aufgebracht werden muß, um eine oberflächenparallele Bruchfläche im Innern des Betons zu erzeugen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es muß entweder ein Tubus in den Frischbeton eingebracht oder im Festbeton ein Bohrkern freigebohrt werden.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt. Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort.

**Einflußgrößen:** Betonfeuchte.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Feldmessungen an Massivbauten bzw. -brücken. Im Vordergrund steht die Ermittlung der Materialeigenschaft.

**Ausführungen:** Von dem Handgerät mit hydraulisch betätigten Brechbacken ist nur eine Art der Ausführung bekannt.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialfestigkeit; Verfahren liefert korrelierten Kennwert. Geeignet zur Bestimmung der Biegezugfestigkeit von Beton in unterschiedlichen Tiefen (Standard: 70mm); über Kalibrierung auch Bestimmung der Druckfestigkeit.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren in Skandinavien und Großbritannien; Prüfrichtlinien: SS 137239 (Schweden); NT BUILD 212 (Skandinavien); BS 1881 Part 207 (Großbritannien).

**Gerätekosten:** von - bis -DM

**Bauwerksüberwachung:** Geeignet zur Qualitätssicherung bzw. als baubegleitende Prüfung während des Herstellungsprozesses.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Englische Bezeichnung: Break-Off Method. Alternativmethoden: \*Abreißversuch.

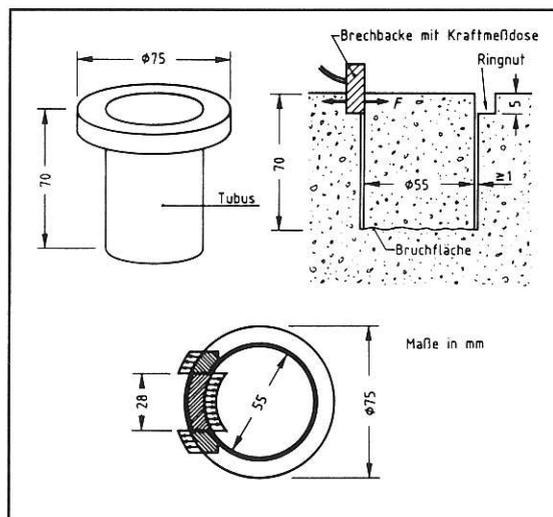
**Anwendung:** Der Biegebrech-Versuch stellt ein Verfahren dar, um die Biegezug-Festigkeit des Betons zu bestimmen. Zur Durchführung der Prüfung muß ein Plastik-Zylinder von ca. 55 mm Durchmesser und ca. 70 mm Tiefe im Festbeton vorhanden sein. Dieser kann durch zwei Methoden erzeugt werden:

- Die Einbringung eines entsprechenden Plastik-Tubus' in den Frischbeton und anschließender Entfernung nach der Erhärtung des Betons oder
- das Freibohren eines Zylinderkerns im Festbeton. Die Prüfung wird durchgeführt, indem man an einer Ringnut eine Brechbacke anbringt, die mit einer definierten Kraft den freien Betonzyylinder seitlich abdrückt, bis eine oberflächenparallele Bruchfläche entsteht. Die dafür aufzubringende Kraft wird mit Hilfe einer Meßdose bestimmt und stellt ein Maß für die Biegezugfestigkeit dar.

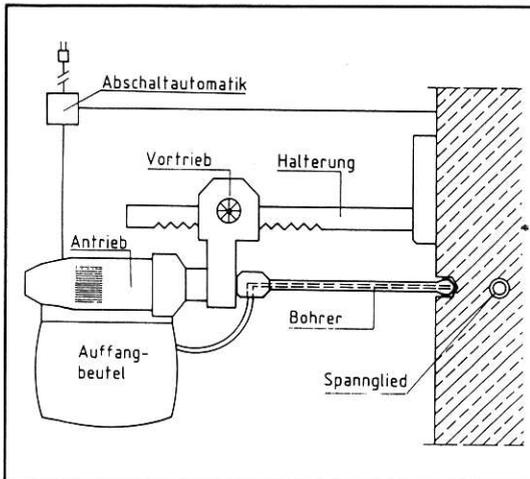
**Bewertung:** Obwohl der Biegebrechversuch sowohl in der Handhabung des Gerätes als auch durch seine vergleichsweise geringe Streuung der Meßwerte überzeugt, hat sich dieses Prüfverfahren bisher nicht durchgesetzt.

Der Plastiktubus kann beim Betonieren eigentlich nur in horizontal liegende Frischbetonflächen eingedrückt werden. Nachträglich beim Festbeton ist der Bohraufwand dem einer Bohrkernentnahme vergleichbar. Der Vorteil liegt in jedem Fall in der Art des Meßwertes, der in besonderem Maße von der Zug- bzw. Biegezugfestigkeit des Betons bzw. Baustoffs beeinflusst wird.

**Literaturhinweise:** 86Sch3



Biegebrech-Versuch am freigearbeiteten Betonkern  
/86Sch3/



86Jun1

## Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung

**Stichworte:** Bohrloch — Spannkanal — Probenahme

**Kurzbeschreibung:** Spezielle Bohrmaschine, die bei Kontakt mit der Bewehrung oder Hüllrohren abschaltet, um deren Beschädigung zu vermeiden.

### Klassifizierungen

**Technisch:**

**Ausprägung:**

**Einsatzort:**

**Auswertung:**

**Handhabung:**

**Zeitaufwand:**

Hilfsgerät

Zerstörungsarm

Direkt am Bauwerk möglich

Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Für die elektrische Funktionsweise muß eine leitende Verbindung zu der zu schützenden Bewehrung oder dem Hüllrohr an einer beliebigen Stelle hergestellt sein.

**Bauwerksprüfung:** Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort. Verfahren wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet als Hilfsgerät für Messungen an Massivbauten bzw. -brücken.

**Ausführungen:** Funktionsweise der Abschaltautomatik entweder elektrisch oder mechanisch. Manche Geräte schalten über Feuchtekontakt deutlich vor dem Eisen (z.B. Hüllrohr des Spannstahls) ab, andere erst bei unmittelbarem Kontakt.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Entfällt, da andere Aufgabenstellung.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Vergleiche Angaben in der Rubrik "Bauwerksprüfung".

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Gerät bisher nur für relativ große Bohrdurchmesser erhältlich (ab 15 mm).

**Anwendung:** Bei der Untersuchung von Betonbauwerken sind des öfteren Bohrungen in unmittelbarer Nähe von Spannkälen notwendig, z.B. zur Probenahme. Mit einer Abschaltautomatik kann eine Beschädigung weitgehend vermieden werden.

Zur Funktion einer solchen Automatik sind zwei Prinzipien möglich. a) Elektrisches Prinzip: Es wird eine elektrische Verbindung zwischen dem an einer anderen Stelle kontaktierten Spannkanal und der Bohrmaschine hergestellt. Der eventuelle Kontakt des Bohrers mit dem Spannkanal löst dann eine Abschaltung aus. b) Mechanisches Prinzip: Die Änderung des Bohrwiderstandes beim Anbohren von Eisen löst die Abschaltung aus.

Das Gerät kann im Prinzip auch dazu benutzt werden, einen Spannkanal bzw. das Hüllrohr gezielt an-, aber nicht durchzubohren, indem nach der automatischen Abschaltung der Maschine vorsichtig weitergebohrt wird.

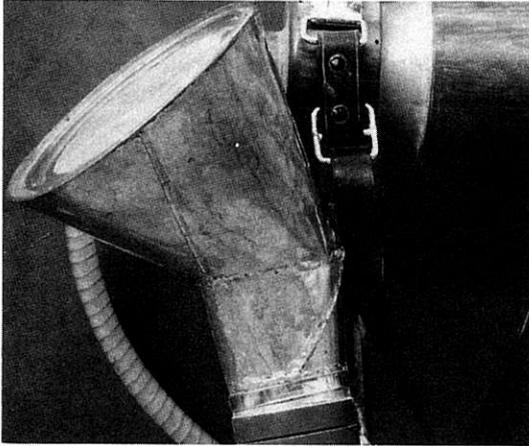
Auf dem Markt sind solche Geräte bisher standardmäßig nur für Bohrdurchmesser von 15 mm und größer erhältlich.

**Bewertung:** Die automatisch abschaltende Bohrmaschine wird immer dann sinnvoll eingesetzt, wenn die Bewehrungslage unbekannt ist oder bei Spannkälen, deren Beschädigung unbedingt vermieden werden muß.

Entwicklungsbedarf besteht für Geräte, die auch für kleine Bohrdurchmesser bis 2 mm geeignet sind.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Friedrich Duss



86Jun1

## Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme

**Stichworte:** Bohrloch — Bauwerkshaut — Probenahme

**Kurzbeschreibung:** Spezielle Ausführung einer Bohrmaschine zur Probenahme aus oberflächennahen Schichten.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Hilfsgerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Meßfläche muß für das Prüfpersonal unmittelbar zugänglich sein.

**Einflußgrößen:** Bohrgeschwindigkeit und -temperatur beeinflussen u. U. die chemische Zusammensetzung des Bohrmehls.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Prüfverfahren erfordert Untersuchungen der entnommenen Proben.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialzusammensetzung (z.B. Zement- oder Stahlart, alkaliempfindlicher Zuschlag usw.).

**Bauwerksüberwachung:** Vergleiche Angaben in der Rubrik "Bauwerksprüfung".

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur zur Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Mit Bohrmehlsauger und Auffänger, z.T. auch mit Zentrifuge.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

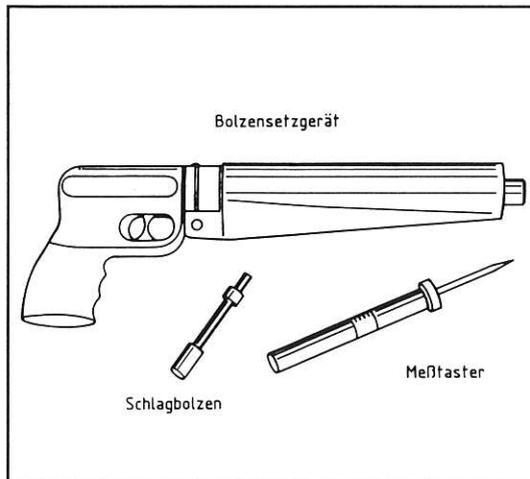
**Anwendung:** Die Maschine wird vorwiegend zur Probenahme für die nachfolgende chemische Analyse (z.B. auf Chloridgehalt) von Beton und anderen mineralischen Baustoffen eingesetzt.

Die Auswahl des Bohrers, der Bohrgeschwindigkeit und des Kühlverfahrens (naß oder trocken) richtet sich nach der Fragestellung. Die Verwendung von flüssigem Stickstoff als Kühlmittel bietet sich an, wenn am Bohrmehl chemische Analysen oder Feuchtebestimmungen durchgeführt werden sollen.

**Bewertung:** Bewährtes Verfahren der Probenahme für die nachfolgende chemische Analyse im Labor.

Der Einsatz der Maschine eignet sich insbesondere – bei einer entsprechenden Katalogisierung der Proben – zur Erstellung von Tiefenprofilen. Wünschenswert wäre auch ein Einsatz im Zusammenhang mit Untersuchungsmethoden an Mikrolöchern.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**  
SUSPA, Spannbeton GmbH



88Sch3

## Bolzensetzgerät

**Stichworte:** Druckfestigkeit — Betonfestigkeit — Eindring-Widerstandsmessung — Bauwerkshaut — Windsor-Verfahren

**Kurzbeschreibung:** Schätzverfahren zur Betonfestigkeit: Ein Schlagbolzen wird mit einem Bolzensetzgerät in den Beton geschossen und aus der Eindringtiefe auf die Betonfestigkeit geschlossen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Wegen der zu erwartenden starken Streuung des Meßwerte, verursacht durch die Betonzusammensetzung, sind Meßreihen mit anschließender statistischer Auswertung nötig.

**Einflußgrößen:** Art des Betonzuschlags.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Die Meßfläche muß für das Prüfpersonal unmittelbar zugänglich sein. Das Verfahren wird an nichtmetallischen Werkstoffen eingesetzt. Geeignet für Feldmessungen bei Massivbauten bzw. brücken.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialfestigkeit; Verfahren liefert (korrelierten) Kennwert. Abschätzung der Beton-Druckfestigkeit, Einsatz auch für Mauerwerk möglich.

**Bauwerksüberwachung:** Geeignet zur Qualitätssicherung bzw. als baubegleitende Prüfung während des Herstellungsprozesses.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur zur Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:**

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren in USA und Großbritannien; Prüfrichtlinien: ASTM C 803 (USA); BS 1881 Part 207 (Großbritannien).

**Gerätekosten:** von - bis - DM

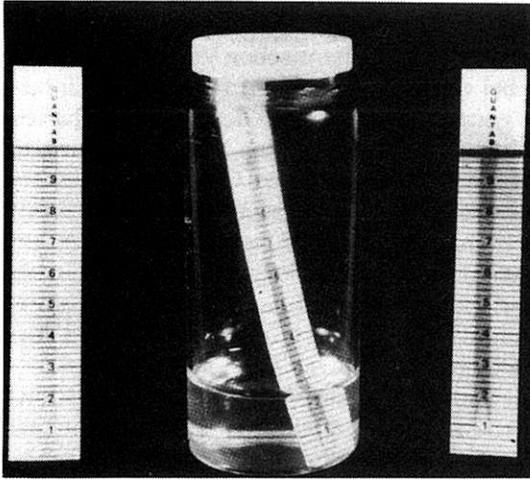
**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Wird auch als Windsor-Verfahren bezeichnet. Englische Bezeichnung: Penetration test. Sicherheitshinweis: Der Bolzen muß unbedingt senkrecht zur Oberfläche gesetzt werden, sonst Verletzungsgefahr.

**Anwendung:** Das Verfahren läßt sich einfach mit fast an jeder Baustelle vorhandenen Bolzensetzgeräten durchführen. Es wird die Eindringtiefe eines Schlagbolzens gemessen, der mit einem solchen Bolzensetzgerät in den Beton eingeschossen wird. Die Eindringtiefe stellt ein Maß für den Eindringwiderstand und damit für die Druckfestigkeit des Betons dar und wird mit einer speziellen Lehre gemessen. Eine Kalibrierung des Verfahrens speziell für jedes Bauwerk ist erforderlich.

Die Aussagekraft der Messung hängt wesentlich davon ab, ob das Bolzensetzgerät eine genau definierte Kraft liefert. Die Schwankungen sind bei den handelsüblichen Geräten nicht unerheblich.

**Bewertung:** Man kann die Eindring-Widerstandsmessung eher als Schätzverfahren bezeichnen, da die Streuung der Versuchsdaten recht groß ist. Es stellt aber eine preiswerte Methode dar, um Anhaltswerte speziell für die Betonfestigkeit zu erhalten. Der Vorteil gegenüber dem \*Kugelschlag-Versuch besteht darin, daß keine Anforderungen an die Ebenheit der Prüffläche gestellt werden. Auch ist das Prüfverfahren ebensogut für hochfesten wie wenig festen Beton geeignet (gleiche "Empfindlichkeit" in allen Festigkeitsbereichen).

**Literaturhinweise:** 86Sch3



86Jun

## Chlorid-Nachweis

**Stichworte:** Korrosion — Chloridgehalt — Umwelteinflüsse — Probenahme — Chemische Analyse — Tausalz — Quantab-Verfahren

**Kurzbeschreibung:** Bestimmung des Chloridgehaltes einer Probe mit naßchemischen Tests oder sonstigen Labormethoden.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Chemische Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Probenahme notwendig; Vermeidung von nachträglicher Verunreinigung der Probe.

**Einflußgrößen:** Konditionen der Probenahme (z.B. Bohrtemperatur); Nachträgliche Verunreinigungen; Chemisch verwandte Stoffe können die Analyse verfälschen.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Nur für die Bestimmung des Chloridgehaltes an ausgewählten Punkten.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Für mineralische Werkstoffe: z.B. Tausalzangriff.

**Bauwerksüberwachung:** Vergleichende Angaben in der Rubrik "Bauwerksprüfung".

**Bauwerksprüfung:** An gefährdeten Stellen sinnvoll. Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort und wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Labormethoden: Gravimetrische Bestimmung, optische oder potentiometrische Titration, sowie weitere aufwendigere chemische Analyse-Verfahren; Vor Ort: Schnellnachweise (halbquantitativ), Sprühverfahren.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Schwellwertbestimmung mit \*Indikator-Technik auch am Bauwerk möglich (z.B. Silberchromat-Sprühung).

**Anwendung:** Die Bestimmung des Chloridgehaltes ist eine wichtige Aufgabenstellung zur Bauwerksanalyse von Betonkonstruktionen. Es sollen hier kurz einige naßchemische Methoden beschrieben werden:

Die Bestimmung des Chloridgehaltes wird an frischen, feinkörnigen (< 0.25mm) Proben vorgenommen. Der Chloridanteil wird mit Salpetersäure, heißem Wasser, Soda oder div. Alkoholen aufgeschlossen. Das Chlorid wird dann über die Zugabe von Silbernitrat ausgefällt, dessen Menge bestimmt wird. Zur Auswertung gibt es wiederum mehrere Möglichkeiten: die gravimetrische Bestimmung, die Anzeige des vollständigen Ausfällens mit einem Farbindikator oder die potentiometrische Titration. Als weniger genaues Verfahren bietet sich noch die Trübungsmessung an.

Diese Verfahren sind auf ihre Anwendbarkeit im Bauwesen in diversen Forschungsvorhaben untersucht worden oder noch Gegenstand der Untersuchung (siehe z.B. /86Jun/ S. 181 ff, dort auch eine übersichtliche Beschreibung sämtlicher Verfahren zum Chloridnachweis).

Zur Schnellbestimmung des Chloridgehalts von Proben werden auch chemische Tests, die auf der Einfärbung eines in die Lösung gehaltenen Teststreifens basieren, verwendet (Quantab-Verfahren). Sie werden wegen ihrer minderen Genauigkeit als "halbquantitative Verfahren" bezeichnet (siehe auch \*Salz-Test).

Schließlich findet auch ein Sprühverfahren Anwendung, das der \*Indikator-Technik zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe vergleichbar ist: Eine frische Beton-Bruchfläche wird zunächst mit Silbernitratlösung, dann mit einem Indikator besprüht, der in den chloridfreien Bereichen rotbraunes Silberchromat entstehen läßt.

Als Labormethoden bieten sich dazu die im Rahmen dieses Kompendiums beschriebenen Methoden \*Röntgenfluoreszenzanalyse, \*Atomabsorptions-Spektroskopie, \*Röntgendiffraktometrie und in gewissen Grenzen das elektrochemische \*Potentialverfahren an.

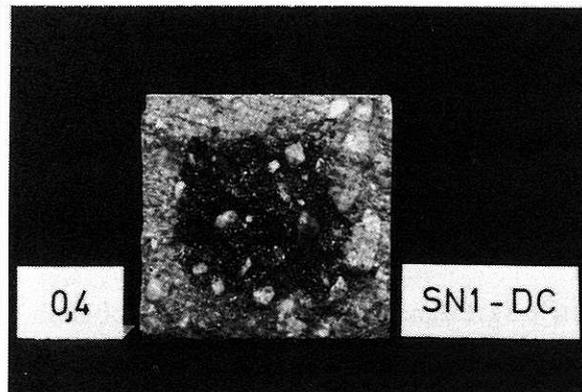
**Bewertung:** Die naßchemischen Verfahren ermöglichen bei entsprechendem Aufwand eine hinreichend genaue Bestimmung des Chloridgehaltes zur Schadensanalyse. Da das Verfahren nur die punktuelle Bestimmung des Chloridgehaltes ermöglicht, ist für eine umfassenden Untersuchung die Entnahme und Untersuchung einer großen Probenzahl notwendig. Die Erweiterung zu einem flächendeckenden Verfahren vor Ort wäre sinnvoll. Mögliche Ansätze dazu sind Gegenstand von Forschungsvorhaben.

Zu beachten ist bei der Auswertung, daß in dem Gesamtchloridgehalt auch der Eigenchloridgehalt des Betons (aus Bindemittel, Zuschläge, Zugabewasser) enthalten ist.

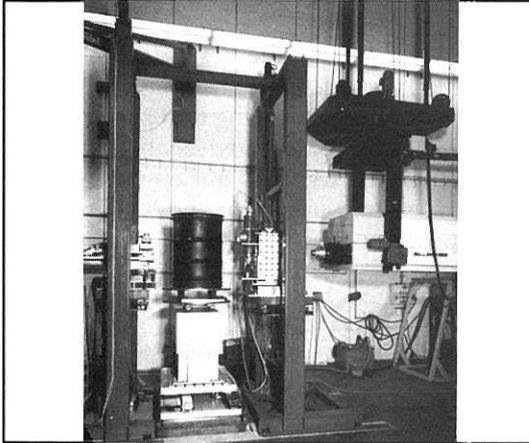
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Bluhm & Feuerherdt  
FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
SUSPA, Spannbeton GmbH

**Literaturhinweise:** 83Mau, 84Whi, 86Jun1, 88Fri, 88Sch1, 89Dor, 89Dor1, 89Spr



Frische Bruchfläche von Beton, der in Chloridlösung lagerte, nach Besprühen mit 1% Silbernitrat und 5%iger Kaliumdichromatlösung /86Jun/



90BAM3

## Computer-Tomographie

**Stichworte:** Röntgenstrahlung — Gammastrahlung — Bewehrungslage — Spannglieder, Lage der — Verpressungsgrad — Probenahme — Bildgebendes Verfahren — Verdichtungsmangel

**Kurzbeschreibung:** Weiterentwicklung der Durchstrahlungsverfahren (\*Radiographie) zu dreidimensionalen Verfahren; über eine computergesteuerte Mehrwinkel-Aufnahme und Auswertung wird eine Schnitt-Darstellung des ausgemessenen Volumensbereiches erzeugt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Mehr als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Anwendung ist bisher nur sehr bedingt möglich, wenn das zu untersuchende Bauteil nicht von allen Seiten zugänglich ist. Die Bestimmungen des Strahlenschutzes sind zu beachten.

### Einflußgrößen:

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Nur in wenigen Spezialfällen einsetzbar, aber prinzipiell als tomographisches Verfahren sehr gut zur Diagnose geeignet, insbesondere kritischer Stellen im Bereich von Spanngliedern und/oder schlaffer Bewehrung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Die Materialstruktur (Risse, Hohlstellen, Defekte etc.) läßt sich insgesamt und dreidimensional untersuchen. Derzeit noch wenig Anwendung, bei Fortentwicklung der Technik später aber möglich.

**Bauwerksüberwachung:** Vergl. Angaben in der Rubrik "Bauwerksprüfung".

**Bauwerksprüfung:** Wegen des hohen Aufwandes nur aus besonderem Anlaß sinnvoll.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung ungeeignet.

**Ausführungen:** Laborgeräte und transportable Versionen.

**Entwicklungsstand:** Verfahren im Entwicklungsstadium, erste Anwendungen in der Erprobung.

**Gerätekosten:** von 500000 bis 1500000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Die \*Radiographie mit Röntgenstrahlung gestattet die gleichen Prüfungen, allerdings ohne räumliche Auflösung (d.h. der Vordergrund verdeckt den Hintergrund).

**Anwendung:** Bei tomographischen Verfahren wird eine räumliche Darstellung eines Untersuchungsvolumens aus der rechnerischen Auswertung einer großen Anzahl von Durchstrahlungsaufnahmen im Computer erzeugt. Dabei ist es im Prinzip egal, welche Strahlenquellen zur Durchleuchtung herangezogen werden.

Aus den Randbedingungen des Bauwesens (Beton, Bewehrung, Feuchtigkeit, usw.) ergeben sich die auch für die \*Radiographie üblichen Strahlungsquellen (Röntgenquellen, Linearbeschleuniger, nukleare Quellen).

Zur Messung wird die interessierende Schnittebene des Bauteils aus möglichst vielen Winkeln durchstrahlt, die Absorption bestimmt und aus den gemessenen Absorptionsprofilen eine Schnittdarstellung berechnet. So ist eine räumliche Darstellung aller Bestandteile und Fehlstellen möglich, die mit den verschiedenen \*Radiographie-Techniken zu erfassen sind. Das Verfahren stellt für die zerstörungsfreie Prüfung von Proben im Labormaßstab (bis ca. 1 m Durchmesser) ein gut entwickeltes Verfahren dar, das Dichteaufösungen von 1-3 % und Volumenaufösungen im Kubikmillimeterbereich und kleiner gestattet.

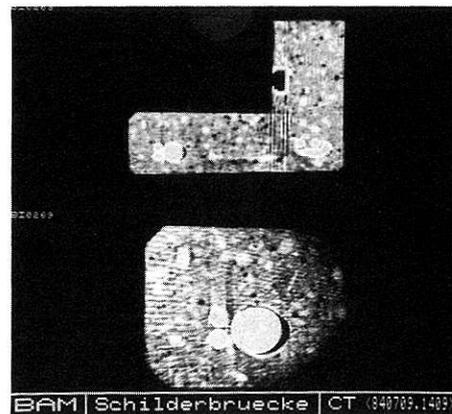
Zum Einsatz des Verfahrens am Bauwerk selbst stellt sich das Problem, daß eine vollständige Durchstrahlung in alle Raumrichtungen aus geometrischen Gründen selten möglich ist. Somit müssen über die nicht gemessenen Richtungen Zusatzannahmen gemacht werden. Unter diesen Bedingungen kann das Verfahren zur Erkennung von Betonschäden, zur genauen Ortung der Bewehrung und zum Feuchtigkeitsnachweis in Ziegeln eingesetzt werden, wenn es auf die genaue Ortung des Fehlers ankommt.

**Bewertung:** Tomographische Verfahren geben eine große Menge von Informationen, sind aber auch aufwendig in der Durchführung und kostenintensiv in der Anschaffung. Sie sind deshalb besonders dann zu empfehlen, wenn es auf eine möglichst umfassende Messung ankommt und Kosten dabei eine untergeordnete Rolle spielen.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Isotopen-Technik Dr. Sauerwein GmbH

**Literaturhinweise:** 86Hei, 86Hof, 86Sch6, 90BAM3, 91Mün



Schilderbrücke mit Spannstählen  
/90BAM3/



90Elc

## Dickenmessung von dünnen Beschichtungen

**Stichworte:** Farbauftrag — Schichtdicke — Anstrich — Bauwerkshaut — Stahlkonstruktion — Metallischer Werkstoff — Beschichtung

**Kurzbeschreibung:** Geräte zur Bestimmung der Dicke von Beschichtungen bis höchstens 2 mm auf metallischem Untergrund.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Meßfläche muß für das Prüfpersonal unmittelbar zugänglich sein. Das Verfahren wird bei metallischen Werkstoffen eingesetzt.

**Bauwerksprüfung:** Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort und ist sowohl geeignet für die in angemessenen Zeitabständen zu wiederholenden Hauptprüfungen als auch für Sonderprüfungen (Prüfung aus besonderem Anlaß).

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung ist das Verfahren nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Feldmessungen an Stahlkonstruktionen.

**Ausführungen:** Geräte für Schichten auf nichtmagnetischen und magnetischen Metallen; sowie optische Methoden für alle Untergründe.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Eignet sich zur Feststellung, ob der gesuchte Parameter in seiner Größe im Untersuchungsbereich gleichmäßig verteilt ist.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

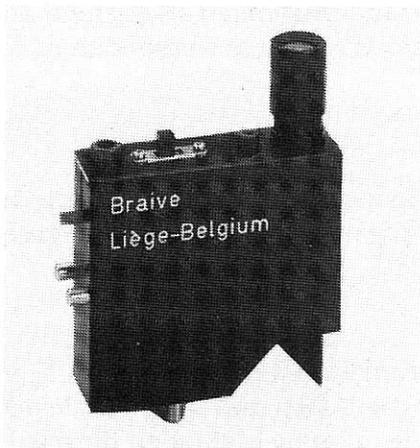
**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet zur regelmäßigen Überwachung von Bauwerken.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Mit den hier vorgestellten Schichtdickenmeßgeräten kann die Dicke von dünnen Beschichtungen (wie Farben, Kunststoffe, galvanische Schichten) auf metallischem Untergrund bestimmt werden.

Zur elektrischen Messung unterscheidet man zwei Meßprinzipien: Für nichtmagnetische Schichten auf magnetisierbarem Untergrund wie Eisen und Stahl wird nach dem Prinzip der magnetischen Induktion gearbeitet, während für nichtmetallische und nichtleitende Schichten auf nichtmagnetischen Metallen das \*Wirbelstromverfahren eingesetzt wird. Üblicherweise können beide Verfahren mit demselben Grundgerät und unterschiedlichen Meßköpfen durchgeführt werden. Es können in der Regel Schichtdicken bis 2 mm Dicke gemessen werden.

Ein weiteres Prinzip arbeitet mit einer optischen Methode: Die zu prüfende Schicht wird mit einer Hartmetallschneide bis zum Untergrund angeritzt und die Schichtdicke mit einem Meßmikroskop aus der Kenntnis des Schnittwinkels berechnet. Damit sind Schichtdickenmessungen auf sämtlichen Untergründen bis zu Dicken von 2 mm möglich.



Gerät zur Dickenmessung von dünnen Beschichtungen von Braive

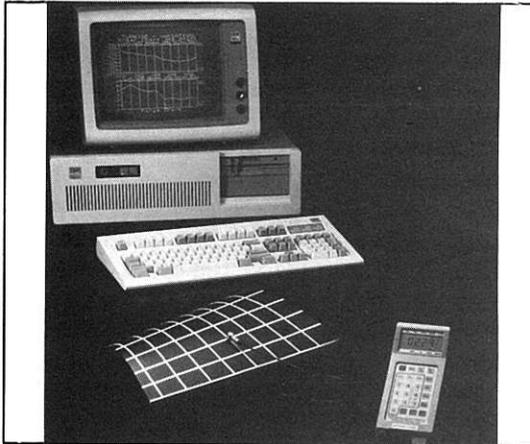
**Bewertung:** Die angebotenen Verfahren zur Dickenmessung von Beschichtungen auf metallischen Werkstoffen können als ausgereifte Verfahren bezeichnet werden, die die Messung der Dicken in einer für das Bauwesen zufriedenstellenden Genauigkeit ermöglichen. Das zerstörungsarme Anritzen der Oberflächen zur Benutzung des optischen Meßverfahrens ist im Bauwesen in den seltensten Fällen notwendig.

Die Messung der Dicke von Beschichtungen auf Beton ist mit den beschriebenen Verfahren nicht möglich.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Automation Dr. Nix GmbH  
 BRAIVE Instruments  
 Bluhm & Feuerherdt  
 Elcometer Instruments GmbH  
 Elektro-Physik GmbH & Co.KG  
 FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
 LAP GmbH, Laser Applikationen  
 Dipl.-Ing. Heinrich List GmbH  
 MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co.KG  
 Panametrics GmbH  
 Rütter & Co.b.v.  
 Röntgenanalytik Meßtechnik GmbH  
 i-Technik, B. Nötel

**Literaturhinweise:** 90Elc



90Pan

## Dickenmeßverfahren mit Ultraschall

**Stichworte:** *Ultraschall — Schichtdicke — Stahlkonstruktion — Ultraschall-Echo — Metallischer Werkstoff — Schallgeschwindigkeit*

**Kurzbeschreibung:** Zur Messung der Werkstoffdicke von homogenen Stoffen: Aus der Laufzeit von Ultraschallimpulsen und der Kenntnis der materialtypischen Schallgeschwindigkeit wird die Schichtdicke berechnet und angezeigt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Meßfläche muß für das Prüfpersonal unmittelbar zugänglich sein. Anwendung des Verfahrens bei metallischen Werkstoffen, für inhomogene Stoffe, z.B. Beton, wegen der auftretenden Störechos nicht zu verwenden.

**Einflußgrößen:** Begrenzungsflächen müssen möglichst eben sein.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Feldmessungen an Stahlkonstruktionen.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Eignet sich zur Feststellung, ob der gesuchte Parameter in seiner Größe im Untersuchungsbereich gleichmäßig verteilt ist.

**Bauwerksüberwachung:** Vergleichende Angaben in der Rubrik "Bauwerksprüfung".

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl geeignet für die in angemessenen Zeitabständen zu wiederholenden Hauptprüfungen als auch für Sonderprüfungen (Prüfung aus besonderem Anlaß).

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

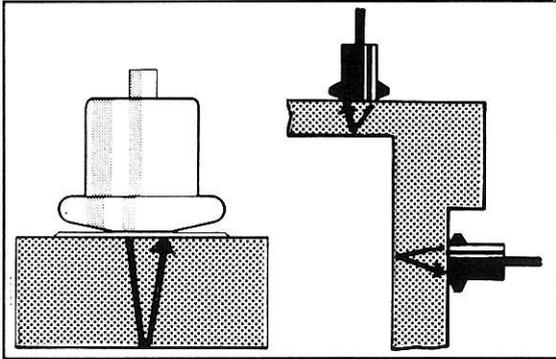
**Ausführungen:** Mit festem oder wählbarem Frequenzband; unterschiedliche Prüfköpfe je nach Material.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Gerätekosten:** von 6000 bis 8000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Das Verfahren basiert auf dem gleichen Prinzip wie das \*Ultraschall-Echo.

**Anwendung:** Die Dickenbestimmung erfolgt durch eine Laufzeitmessung eines Ultraschallimpulses in einem möglichst homogenen Material. Vom Prinzip her entspricht das Verfahren dem \*Ultraschallecho-Verfahren. Der vom Prüfkopf ausgesandte Impuls wird an der Rückseite der zu messenden Wand oder Schicht reflektiert, und die



Anwendungsbeispiele (Waddickenmessung)  
/90Mic1/

Dicke aus der notwendigerweise bekannten Schallgeschwindigkeit berechnet und angezeigt. Die Schallgeschwindigkeit kann extern oder bei manchen Geräten durch Messung der Laufzeit durch eine Schicht bekannter Dicke eingegeben werden. Das Verfahren eignet sich im wesentlichen nur für Metalle, da im mineralischen Bereich die Unebenheit der Grenzflächen und die Inhomogenität aufgrund der Zuschläge wie im Beton zu Störreflexionen führen können. Für Stahl können je nach Aufwand Dickenmeßbereiche von 0.1 bis 1000 mm erreicht werden.

In Verbindung mit Datenloggern zur Meßwert-speicherung läßt sich die Prüfung von größeren Flächen wesentlich beschleunigen.

**Bewertung:** Die Anwendung der Ultraschallprüfung für die Dickenmessung von metallischen Werkstoffen ist ein ausgereiftes Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung und in den meisten Fällen problemlos einsetzbar.

Schwierigkeiten treten für mineralische Baustoffe, insbesondere bei Beton auf. Der Grund dafür sind die Größe der Zuschläge, die oft in der Größenordnung der günstigen Ultraschallwellenlängen liegen, sowie das Problem der Ankopplung der Prüfköpfe.

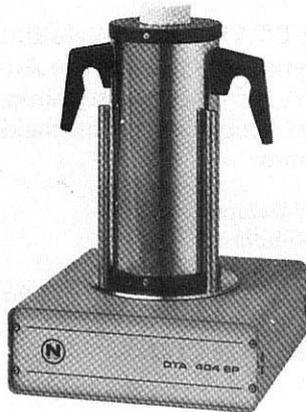
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

BRAIVE Instruments  
Elcometer Instruments GmbH  
Elektro-Physik GmbH & Co.KG  
Krautkrämer GmbH  
Dipl.-Ing. Heinrich List GmbH  
MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co.KG  
Panametrics GmbH  
Rütter & Co.b.v.  
Röntgenanalytik Meßtechnik GmbH  
Universal Elektronik Handelsgesellschaft m.b.H.  
i-Technik, B. Nötel

**Literaturhinweise:** 90Pan, 90TÜV



Ultraschall-Dickenmeßgeräte von  
Krautkrämer



90Net

## Differential-Thermo-Analyse (DTA)

**Stichworte:** *Probenahme — Chemische Analyse*

**Kurzbeschreibung:** Mit der Differential-Thermo-Analyse werden Aussagen über die chemische Zusammensetzung einer Probensubstanz gewonnen. Die Zusammensetzung wird über die Identifikation der Phasenübergänge ermittelt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Labormethode
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Probenahme muß mit Sorgfalt erfolgen um eine Veränderung der Substanz durch den Entnahmeprozess zu vermeiden.

**Bauwerksprüfung:** Entfällt, da laborgebundene Untersuchungsmethode.

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Entfällt, da laborgebundene Untersuchungsmethode.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Zur Untersuchung von kleinen oder auch großen Proben, die dem Bauwerk entnommen werden. Labor-Untersuchungsmethode, nicht für Feldmessungen.

**Ausführungen:** Zur Apparatur gehören: Kalorimeter mit zwei symmetrisch angeordneten Meßkammern, Ofen mit Temperatursteuerung, Vergleichssubstanz.

**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes chemisch/analytisches Untersuchungsverfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Ermittlung chemischer Verbindungen.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Entfällt, da laborgebundene Untersuchungsmethode.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Die thermogravimetrische Analyse (TGA) ist eine verwandte Methode (siehe Anwendung).

**Anwendung:** Die Differential-Thermo-Analyse (DTA) nutzt die Tatsache eines charakteristischen Energieumsatzes beim Phasenübergang zur quantitativen Analyse aus. Die Messung basiert auf einem Vergleich der Temperaturen der Probe und einer ausgewählten Referenzsubstanz in einer symmetrischen Meßkammer. Dabei weist die Referenzsubstanz im zu untersuchenden Temperaturbereich keine Phasenübergänge auf. Bei konstanter Energiezufuhr (Wärme) durch den Ofen wird über Temperaturfühler die Temperatur in beiden Kammern gemessen und die Differenz aufgezeichnet. Eine solche Temperaturdifferenz erscheint nur bei Phasenübergängen und aus dem Kurvenverlauf lassen sich somit Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Probe ziehen.

Häufige Anwendungsgebiete der DTA sind die Untersuchung von mineralischen Stoffen sowie der Reaktionswärme aus der Verbrennung von organischen Stoffen, der Entwässerung der Tone und der Klinkerphasenbildung in Zementrohmehlen. Mit der DTA kann z.B. auch untersucht werden, ob eine Hydrophobierung auf Bauwerksoberflächen vorhanden ist.

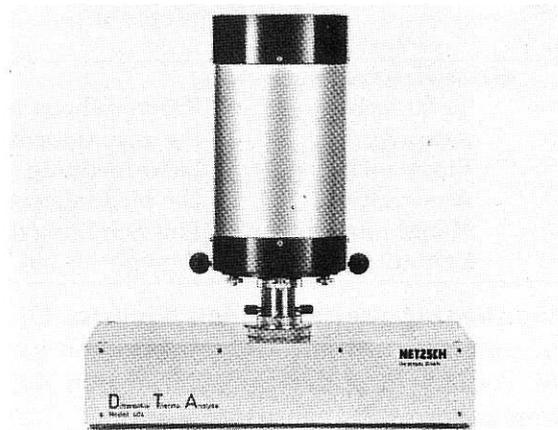
Eine zur DTA verwandte Methode ist die thermogravimetrische Analyse. Während bei der DTA die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Kammern als Funktion der zugeführten Energie bzw. der Temperatur der Referenzsubstanz aufgezeichnet wird, wird bei der TGA die Massendifferenz als Observable herangezogen. Damit kann aus der gemessenen Masseänderung der Anteil der betreffenden Substanzen an der Gesamtprobe sehr genau ermittelt werden /88Mau/. Besonderer Anwendungsfall ist die quantitative Bestimmung des Kunststoffanteils von Zementmörteln.

**Bewertung:** Die DTA ist eine ausgereifte Labormethode der analytischen Chemie. Die Anwendung im Bauwesen ist auf Proben beschränkt, weshalb der sorgfältigen Probenahme entscheidende Bedeutung zukommt.

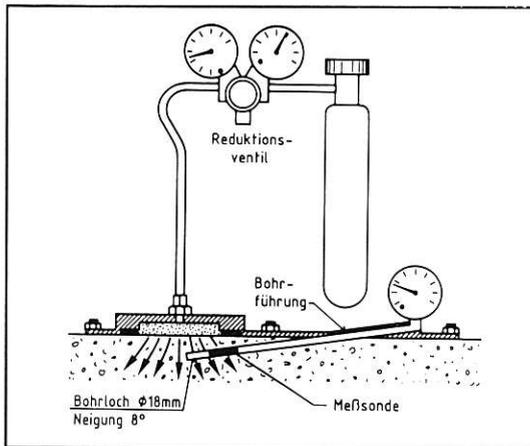
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Bähr-Gerätebau GmbH  
 Netzsch-Gerätebau GmbH  
 Seefeldler Meßtechnik GmbH & Co. Vertriebs KG

**Literaturhinweise:** 79Deh, 90Net



Gerät zur Differenz-Thermo-Analyse von Netzsch



86Sch3

## Druckgas-Verfahren

**Stichworte:** Fehlstellen — Bohrloch — Gaspermeabilität — Einschluß — Bauwerkshaut — Luftdurchlässigkeit von Beton — Durchströmbarkeit

**Kurzbeschreibung:** Es wird die Luftdurchlässigkeit von Beton bestimmt, indem von außen aufgetragene Druckluft mit einer Meßsonde in einem Bohrloch nachgewiesen wird

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es sind Bohrlöcher erforderlich.

**Einflußgrößen:** Bohrloch darf das übrige Materialgefüge nicht verändern (Gefahr der Rißbildung), ggf. vorhandener Feuchtegehalt mindert die Durchströmbarkeit.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für die Messung vor Ort an Massivbauten bzw. -brücken; im Vordergrund steht dort die Ermittlung der Materialbeschaffenheit.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Unter sonst gleichen Randbedingungen können Besonderheiten in der Materialstruktur detektiert werden.

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführenden Überwachung ist das Verfahren noch zu aufwendig, könnte aber in einer weiterentwickelten Form dazu geeignet sein.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist noch wenig in der Praxis erprobt, aber durchaus sowohl für Sonderprüfungen aus besonderem Anlaß als auch für zu wiederholende Untersuchungen einsetzbar.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Zur Apparatur gehören: Drucklufteinrichtung mit Stempel, Druckmeßsonde.

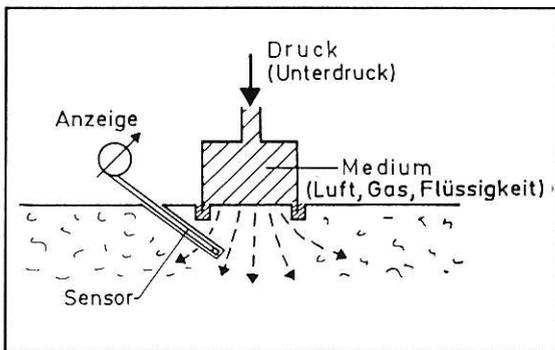
**Entwicklungsstand:** Verfahren wird z.Z. an verschiedenen Forschungseinrichtungen in der vorliegenden oder ähnlichen Art weiterentwickelt.

**Gerätekosten:** von 1000 bis 3000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Siehe auch \*Vakuum-Verfahren, \*Gaspermeabilitäts-Verfahren.

**Anwendung:** Mit dem Druckgas-Verfahren können Kennwerte für die Gasdurchlässigkeit von Beton erhalten werden. Über eine Druckgasflasche und einen entsprechenden Flansch wird ein mäßiger Überdruck auf die Betonoberfläche gebracht. Bei einem der bekannt gewordenen Verfahren wird eine Meßsonde seitlich durch ein 18 mm Bohrloch in den Beton eingeführt und der Druckanstieg mit einem Manometer gemessen. Ein anderes Verfahren mißt den Druckanstieg in einer Meßglocke, die in einigem Abstand zur Einleitung des Druckgases auf die Oberfläche gesetzt wird. Daraus werden Kennwerte für die Gasdurchlässigkeit ermittelt.

Die Gasdurchlässigkeit ist ein entscheidender Kennwert für die Korrosionsanfälligkeit von Stahlbeton. Bei vergleichbaren Fällen läßt sich schätzen, ob die Karbonatisierungsfront mehr oder weniger schnell voranschreiten wird.



Permeabilität (Schema) /86Sch4/

**Bewertung:** Mit diesem Verfahren ist eine recht einfache Messung der Gasdurchlässigkeit von Beton in Nähe der Oberfläche möglich. Mit einer entsprechenden Weiterentwicklung im Sinne einer besseren Handhabbarkeit ist der Einsatz für die regelmäßige Überwachung an korrosionsgefährdeten Punkten von Betonbauwerken denkbar. Das Bohrloch wird in eine ganz bestimmte Tiefe vorgetrieben, der Meßwert gibt eine zuverlässige Aussage über die Materialbeschaffenheit an dieser Meßstelle. Befinden sich hingegen die Druckglocke und auch die Meßglocke beide auf der Oberfläche, so bleibt unklar, wie tief die Bauwerkshaut erfaßt wurde und wie groß der tatsächlich gemessene Oberflächenbereich ist.

Mögliche Entwicklungspotentiale sind: Verwendung von Tracergasen (Sauerstoff- oder Stickstoffisotope, Wasserstoff oder Helium) zur Erhöhung der Genauigkeit und Empfindlichkeit (siehe auch \*Gaspermeabilitäts-Verfahren).

**Literaturhinweise:** 85McC, 86Sch3, 86Sch4, 90Gün



90BAM1

## Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse

**Stichworte:** *Schwingungsmessung — Elastizitätsmodul — Frequenzanalyse — Probenahme — Baustoffdynamik — Elastische Materialkenngrößen*

**Kurzbeschreibung:** Methode zur Bestimmung der elastischen Materialeigenschaften mit einer Impulserregung und anschließender Messung der Eigenschwingzeit.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die erwartete Form der Eigenschwingung muß im voraus bekannt sein (Biege-, Torsions- oder Longitudinalschwingung).

**Einflußgrößen:** Form und Lagerung des Probekörpers; am Bauwerk: großer Einfluß der Rand- bzw. Lagerungsbedingungen, der einen sinnvollen Einsatz der Methode z.T. unmöglich macht.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Zusätzlich zu Untersuchungen von Bauwerksproben als zerstörungsfreie Vorprüfung oberflächennaher Schichten denkbar.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Relativwerte (Homogenität, Isotropie) und elastische Materialkenngrößen (Elastizitätsmodul, Schubmodul, Querdehnzahl) können an verhältnismäßig kleinen Probekörpern (z.B. Bohrkernen) ermittelt werden.

**Bauwerksüberwachung:** Bei Weiterentwicklung des Verfahrens speziell für Messungen am Bauwerk erscheint die sinnvolle Anwendung bei regelmäßig wiederkehrenden Überwachungsarbeiten durchaus möglich.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist am Bauwerk noch wenig in der Praxis erprobt; aber durchaus für Sonderprüfungen als auch Wiederholungsprüfungen entwickelbar.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung ungeeignet; derartige Anwendungen nicht bekannt.

**Ausführungen:** Anlage besteht aus piezoelektrischen Abtastern und einem elektronischen Auswertegerät.

**Entwicklungsstand:** Bisher nur Standardverfahren zur Prüfung einzelner Werkstücke in der Fertigung; Anwendungen im Bereich des Bauwesens in erster Linie für Labormessungen. Entwicklungspotential für den Einsatz am Bauwerk vorhanden.

**Gerätekosten:** von 30000 bis 35000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Vergl. auch ergänzungen zu DIN 1048, Abschnitt 3.5 (Elastische Kennwerte aus dynamischen Prüfverfahren) /91DAf/.

**Anwendung:** Um die elastischen Eigenschaften wie dynamischer Elastizitätsmodul, Schubmodul und Poisson-Zahl (Querdehnzahl, Querkontraktionszahl) eines Materials zu berechnen, wird bei diesem Verfahren die Eigenfrequenz der verschiedenen Schwingungsarten ( Biege-, Torsions-, Longitudinalschwingung) bestimmt. Beim Verfahren des Gerätes Grindo-Sonic der Fa. Lemmens wird der Probekörper dabei mit Hilfe eines Prüfhammers mit relativ geringer Energie zum Schwingen angeregt und die Eigenfrequenz des Körpers aus der Einschwingzeit kurz vor Erreichen des Ruhezustandes berechnet und angezeigt. Aus den Meßergebnissen werden rechnerisch die elastischen Materialkenngrößen ermittelt. Die Berechnung erfolgt für bekannte Geometrien mit zugehörigen Formeln und Formfaktortabellen sowie der Annahme weitgehender Isotropie und Homogenität. In die Rechnung gehen also die Masse und die Maße des Probekörpers ein. Bei komplizierten Geometrien und Eigenschaften der Probekörper muß die rechnerische Bestimmung entsprechend erweitert werden. Auch Richtungseigenschaften (z.B. Faserverbundwerkstoffe) können analysiert werden.

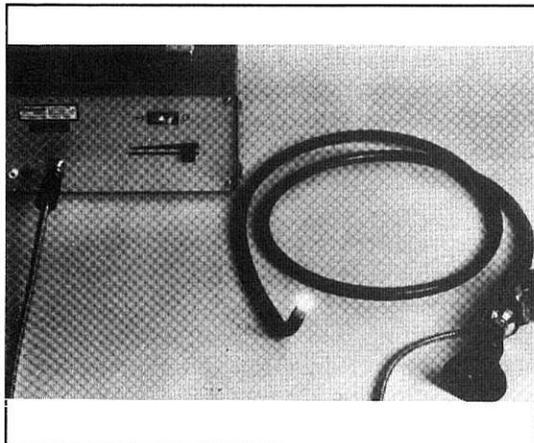
Das Verfahren ist entwickelt worden für Reihenuntersuchungen, z.B. in der Fertigung. Das Gerät kann für unterschiedliche Werkstoffe wie Keramik, Metalle, Verbundwerkstoffe, Beton, Zement, Holz eingesetzt werden. Es sind auch Anwendungen direkt am Bauwerk möglich, z.B. zur Untersuchung von Schichtablösungen. Entsprechende Projekte befinden sich in Vorbereitung.

**Bewertung:** Das Verfahren ermöglicht die experimentelle Bestimmung der elastischen Materialeigenschaften von isoliert zugänglichen Werkstücken mit hoher Genauigkeit (1% Meßfehler). Der Anwendung direkt am Bauwerk sind durch die Meßvorschriften zur Anregung von unterschiedlichen Schwingungsformen Grenzen gesetzt und Anwendungen nur im Einzelfall möglich. Unerwartet große Dämpfungen können aber auch dort einen Hinweis auf lokale Gefügestörungen, Ablösungen, Risse o.ä. geben.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Bluhm & Feuerherdt  
Lemmens GmbH, J.W. GmbH Grindo-Sonic

**Literaturhinweise:** 85Ste, 90BAM1



86Hun

## Endoskop (flexible Ausführung)

**Stichworte:** *Hohlraum — Bohrloch — Bauwerkshaut — Rißerkennung — Sichtprüfung — Bildgebendes Verfahren — Befestigungselement*

**Kurzbeschreibung:** Optisches Gerät zur visuellen Inspektion von Hohlräumen. Die Beleuchtung und die Bildübertragung erfolgen über Lichtleiterbündel.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es müssen geeignete Hohlräume vorhanden und zugänglich sein oder erzeugt werden.

### Einflußgrößen:

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für zugängliche Hohlräume wie Fassadenbekleidungen, abgedeckte Verankerungen o.ä.; geeignet für Messungen vor Ort an Massivbauten bzw. -brücken; im Vordergrund steht dabei die Ermittlung der Materialbeschaffenheit.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Der Materialaufbau (verschiedene Schichten, Homogenität wie z.B. Verwendung gleicher Mauersteine oder einheitlicher Zustand des Mauerwerks, Hinterfüllungen o.ä.) kann zumindestens global detektiert werden.

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet zur regelmäßig auszuführenden Überwachung von Bauwerken.

**Bauwerksprüfung:** Der Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort (abgesehen von Bohrlöchern im Einzelfall); Verfahren ist geeignet für regelmäßige Haupt- sowie Sonderprüfungen (Prüfung aus gegebenem Anlaß).

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Außendurchmesser: 1 bis 20 mm; von außen steuerbare Abwinkelung erhältlich (für 6 bis 20 mm Durchmesser); Öffnungswinkel 30 bis 90° wählbar.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten durch Kombination mit Videotechnik.

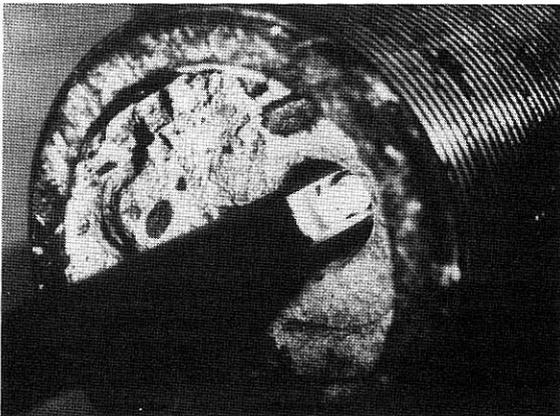
**Gerätekosten:** von 4000 bis 23000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Gerät wird auch als Fiberskop bezeichnet. Über Adapter sind optische Geräte wie Foto- und Videokameras anschließbar. Zur Nutzung siehe auch: \*Endoskop (starre Ausführung) und \*Videoskop.

**Anwendung:** Mit einem Endoskop können Hohlräume in Bauwerken visuell inspiziert werden. Bei der hier beschriebenen Gerätegruppe der flexiblen Endoskope werden dabei die Beleuchtung sowie die Bildübertragung über flexible Lichtleiterbündel vorgenommen. Je nach Ausführung ist auch eine von außen bedienbare allseitige Blickrichtungssteuerung vorhanden.

Viele der auf dem Markt erhältlichen flexiblen Endoskope im Durchmesserbereich von 6 bis 20 mm verfügen über eine robuste Ummantelung und sind wasserdicht, so daß vielfältige Anwendungen im Baubereich möglich sind. Typische Beispiele dafür sind die Überprüfung von Konstruktionselementen wie Ankerbolzen, der Zustand von Fugen und Fugenverfüllungen oder die Fortsetzung von außen sichtbarer Risse im Bauwerksinneren, sowie die Überprüfung von Korrosionszuständen.

Mit einem Durchmesser von bis zu 0,5 mm existieren auch Endoskope, die die Untersuchung in extrem kleinen Löchern gestatten. Dabei wird dann allerdings die Auflösung durch die Anzahl der verwendeten Lichtleiter erkennbar begrenzt (ca. 10000 Bildpunkte bei 1,2 mm und 5000 bei 0,5 mm). Durch den Anschluß einer Video- oder Photokamera ist eine Bildaufzeichnung möglich.



Einführen eines Endoskops in einen aufgebohrten Spannkopf /86Hun/

**Bewertung:** Die flexiblen Endoskope haben durch die technischen Innovationen auf dem Lichtleitersektor einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Ihr Einsatz im Bauwesen erfolgt bei der Sichtprüfung an schwer zugänglichen Stellen bzw. Hohlräumen.

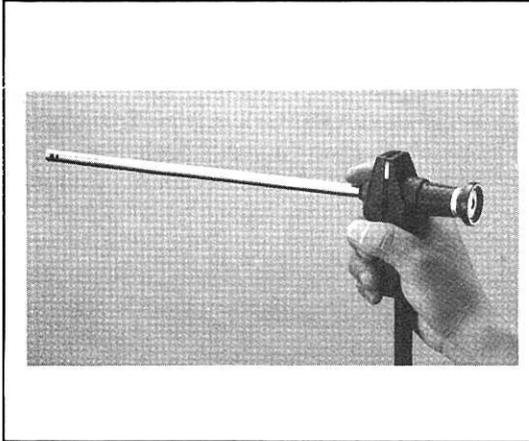
Die Interpretation der Bilder wird durch die Verzerrungseffekte der Optiken erschwert und erfordert Erfahrung.

Die Auswertung und Bearbeitung der aufgezzeichneten Bilder mit einer digitalen Bildverarbeitung stellt häufig eine sinnvolle Ergänzung dar. Eine Ausnahme bildet folgender Fall: Das durch das flexible Endoskop aufgezeichnete Bild setzt sich aus den Bildpunkten der einzelnen Glasfasern zusammen. Dadurch entsteht ein Raster, welches es praktisch unmöglich macht, elektronische Filter zur Kontrastanhebung zu benutzen.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Classen + Co.(GmbH + Co.)  
 HELLING KG (GmbH & Co.)  
 Helling Kommanditgesellschaft für Industrieprojekte  
 und Anlagenbau (GmbH & Co.)  
 Olympus Optical Corporation GmbH  
 Michael Steiner Richard Wolf GmbH  
 Schölly Fiberoptic GmbH  
 Storz GmbH & Co., Karl  
 Videomed GmbH

**Literaturhinweise:**86Hun, 86Sch6, 88Cav, 89Sch3, 90Ste



900ly

## Endoskop (starre Ausführung)

**Stichworte:** *Korrosion — Fehlstellen — Hohlraum — Bohrloch — Einschluß — Bauwerkshaut — Rißerkennung — Boreoskop — Sichtprüfung — Bildgebendes Verfahren — Befestigungselement*

**Kurzbeschreibung:** Optisches Gerät zur visuellen Inspektion von Hohlräumen. Die Ausleuchtung erfolgt dabei über Lichtleiter oder direkt mittels Glühlampe und die Abbildung mit einem Linsensystem.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es müssen Hohlräume in geeigneter Form vorhanden sein bzw. erzeugt werden können.

### Einflußgrößen:

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Messungen vor Ort an Massivbauten bzw. -brücken; im Vordergrund steht dabei die Ermittlung der Materialbeschaffenheit; geeignet auch für Spannbewehrungen (Verpressungsgrad der Hüllrohre, äußerer Zustand der Spannglieder).

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Der Materialaufbau (verschiedene Schichten, Homogenität wie z.B. Verwendung gleicher Mauersteine oder einheitlicher Zustand des Mauerwerks, Hinterfüllungen o.ä.) kann zumindest global detektiert werden; auch in sehr kleinen Bohrungen

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet zur regelmäßig auszuführenden Überwachung von Bauwerken.

**Bauwerksprüfung:** Der Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort (abgesehen von Bohrlöchern im Einzelfall); Verfahren ist geeignet für regelmäßige Haupt- sowie Sonderprüfungen (Prüfung aus gegebenem Anlaß).

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Durchmesser 2.5 bis 15 mm, nutzbare Länge 10 bis 150 cm (abhängig vom Durchmesser), Blickrichtungen wählbar; Anschluß von Photo- oder Videokameras über Adapter möglich.

**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes Untersuchungsverfahren.

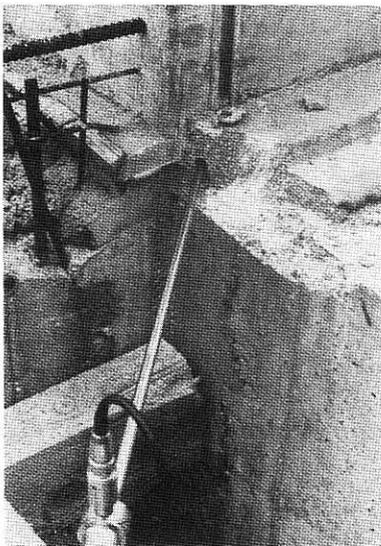
**Gerätekosten:** von 2000 bis 15000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Starre Endoskope werden auch als Boreskope bezeichnet.

**Anwendung:** Bei der hier beschriebenen Gerätegruppe der starren Endoskope handelt es sich um Geräte, die einen Hohlraum mit Lichtleiter und einer externen Lichtquelle beleuchten und eine visuelle Untersuchung über ein Linsensystem ermöglichen. Bei den Hohlräumen kann es sich um konstruktiv vorhandene oder künstlich erzeugte (z.B. Bohrlöcher) handeln. Je nach Anwendung können verschiedene Abbildungsoptiken und Blickwinkel gewählt werden. Durch den Anschluß von optischen Geräten wie Lupen, Mikroskopen, Fotoapparaten und Videokameras ist es möglich, die Bilder zu vergrößern und aufzuzeichnen.

Die Endoskopie gestattet es in zahlreichen Fällen, erste Schadensanalysen durchzuführen. Typische Beispiele dafür sind: Fortsetzung von Rissen im Inneren eines Bauwerks; Überprüfungen von Fassadenverankerungen; Untersuchung von Spanngliedern in Spannbetonbauwerken, speziell die Untersuchung von Spannschlössern; und, gezielt über Bohrlöcher, die Untersuchung von Lochfraßkorrosion. Als Hilfsgerät dazu bietet sich eine \*Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung an.

Die Endoskopie mit starren Endoskopen eignet sich für Untersuchungen an dafür erzeugten Bohrlöchern, die in den meisten Fällen als quasi zerstörungsfrei angesehen werden können.



Untersuchung der Fußfuge einer Fertigteilstütze /86Hun/

**Bewertung:** Die Endoskopie ist als Methode geeignet, um einen optischen Eindruck vom Zustand eines Bauwerks in von außen zugänglichen Hohlräumen zu erhalten. Eine direkte Schadensanalyse ist jedoch ohne ergänzende Methoden nur im Einzelfall möglich.

Die Abbildung über Linsensysteme beim starren Endoskop hat gegenüber den flexiblen Endoskopen mit Glasfaserübertragung den Vorteil, daß die optische Auflösung nur durch die Bildfehler des Linsensystems begrenzt ist, während diese bei Glasfaserübertragung durch die Anzahl der Fasern bestimmt ist.

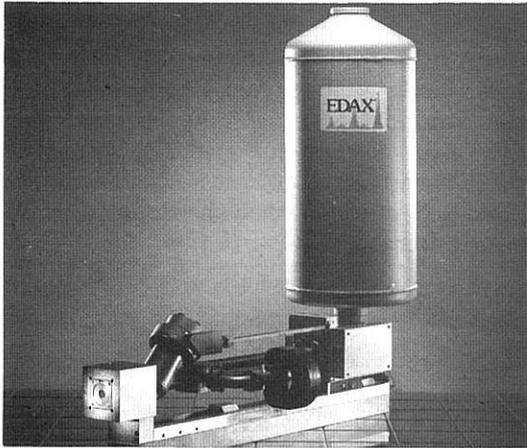
Die Interpretation der Bilder wird durch die Verzerrungseffekte der Optiken und die ungewöhnliche Perspektive erschwert und erfordert Erfahrung.

Die Auswertung und Bearbeitung der aufgezeichneten Bilder mit einer digitalen Bildverarbeitung stellt häufig eine sinnvolle Ergänzung dar.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Classen + Co.(GmbH + Co.)  
 HELLING KG (GmbH & Co.)  
 Helling Kommanditgesellschaft für Industrieprojekte  
 und Anlagenbau (GmbH & Co.)  
 Olympus Optical Corporation GmbH  
 Michael Steiner Richard Wolf GmbH  
 SUSPA, Spannbeton GmbH  
 Schölly Fiberoptic GmbH  
 Storz GmbH & Co., Karl  
 Videomed GmbH

**Literaturhinweise:** 86Hun, 86Sch6, 88Cav, 89Sch3, 90Oly, 90Ste



90Rön

## Energiedispersive Analyse (EDX)

**Stichworte:** Röntgenstrahlung — Spektroskopie — Probenahme — Chemische Analyse — Zementzusammensetzung

**Kurzbeschreibung:** Laborverfahren zur chemischen Analyse. Die charakteristische Röntgenstrahlung der Elemente wird energieaufgelöst zerlegt und gestattet die Bestimmung der Art und des Anteils der in der Probe vorhandenen Elemente.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Labormethode
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es müssen geeignete Proben entnommen werden.

**Bauwerksprüfung:** Nur bei gezielter Fragestellung sinnvoll (Prüfung aus besonderem Anlaß).

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Entfällt, da Laborgebundene Untersuchungsmethode.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Im Vordergrund steht vor Ort die Ermittlung der Materialbeschaffenheit, z.B. der Werkstoffzusammensetzung.

**Ausführungen:** Zur Apparatur gehören: Abgeschirmte Meßkammer, Anregungsquelle, Detektor, Rechner, Datenbank.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialzusammensetzung (z.B. Zement- oder Stahlart, alkaliempfindlicher Zuschlag, Asbestanteil usw.).

**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes Untersuchungsverfahren der analytischen Chemie.

**Gerätekosten:** von 50000 bis 500000 DM

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Das Verfahren ist vom Prinzip her der \*Röntgenfluoreszenzanalyse verwandt. Die Abkürzung EDAX<sup>®</sup> ist die Handelsbezeichnung eines Herstellers.

**Anwendung:** Die Energiedispersive Analyse (EDX) bezeichnet ein Verfahren, welches die von einer Probe emittierte charakteristische Röntgenstrahlung energieselektiv analysiert. Als Detektor dient dabei ein spezieller Kristall aus Lithium-gedriftetem Silizium. In der Röntgenanalytik stellt dieses Verfahren eine der Möglichkeiten der Elementanalyse dar. Dieser Nachweis ist bei Anregung mit Röntgenstrahlung wegen der Wellenlänge der dabei entstehenden Strahlung für alle Elemente mit einer Ordnungszahl größer als 10 möglich, mit Spezialdetektoren auch ab der Ordnungszahl sechs.

Zur Analyse von Probekörpern und Flüssigkeiten werden anwenderfreundliche Analyse-Apparaturen angeboten, die zur Messung von Probekörpern oder Küvetten von Durchmessern von ca. 2 bis 10 cm und bis zu einer Höhe von etwa 10 cm geeignet sind. Zu beachten ist dabei, daß im allgemeinen nur die der anregenden Strahlungsquelle zugewandte Oberfläche mit einer geringen Nachweistiefe (wenige Mikrometer) analysiert werden kann. Die Messung findet normalerweise im Vakuum statt.

Die Durchführung der Analyse ist weitgehend automatisiert. Die Daten werden rechnergesteuert aufgenommen und mit den in einer Datenbank gespeicherten Referenzdaten verglichen, wodurch die Elemente identifiziert werden können. Eine quantitative Analyse ist im Prinzip auch möglich, erfordert jedoch die Kenntnis einer Fülle von Parametern. Die Nachweisgrenze liegt im Bereich 100 ppm.

Das Nachweisverfahren der energiedispersiven Analyse wird auch im Zusammenhang mit anderen Anregungsmechanismen, wie z.B. Elektronenstrahlen benutzt. Dafür, und im Zusammenhang mit Scannern ist es zum bildgebenden Verfahren entwickelt worden.

**Bewertung:** EDX stellt ein ausgereiftes Verfahren der physikalisch/analytischen Chemie zur Elementbestimmung dar.

Leider ist das Verfahren wegen der Beschränkung auf Probenmaterial am Bauwerk nicht direkt einsetzbar. Bedeutung hat es insbesondere für die Reihenuntersuchung von Baustoffen.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**  
Röntgenanalytik Meßtechnik GmbH



Typisches EDX-Spektrogramm /90Rön/



88Klu

## Farb-Eindringverfahren

**Stichworte:** *Bauwerkshaut — Rißerkennung — Metallischer Werkstoff — Farbstoff — Fluoreszenz*

**Kurzbeschreibung:** Zur Erkennung von Oberflächenrissen in nicht porösen Werkstoffen: Ein von außen aufgesprühter Farbstoff dringt entlang der Risse in das Bauteil ein und markiert diese dadurch.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Elementar-handwerkliche Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Verfahren nur für nicht-poröse Oberflächen, insbesondere Metalle.

### Einflußgrößen:

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet zur Prüfung an Stahlkonstruktionen, Untersuchungsobjekt vor Ort sind einzelne Teile der Gesamtkonstruktion.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Geeignet für die Sichtbarmachung von Oberflächenfehlern (z.B. Risse, Bindefehler).

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen; vorzugsweise bei der Prüfung von Schweißverbindungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur zur Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Verschiedene Prüfmittelsysteme: Rot-Weiß-Methode, Fluoreszenz-Methode, insbesondere UV-anregbare Farbstoffe.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Gerätekosten:** von 10 bis 1000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** In Kombination mit \*Endoskopen auch für die Untersuchung von Rissen in Hohlräumen einsetzbar; einfacher Rißnachweis auch mit der \*Magnetpulverprüfung möglich.

**Anwendung:** Mit dem Farbeindringverfahren lassen sich Risse an der Oberfläche von nicht porösen Werkstoffen sehr einfach und preiswert nachweisen.

Nach einer Vorreinigung wird die zu untersuchende Oberfläche mit einem Farbstoff bedeckt oder besprüht. Nach einer gewissen Einwirkzeit wird der Farbstoff wieder von der Oberfläche abgewaschen und es bleibt nur der in die Risse und Fehlstellen eingedrungene Anteil übrig, womit diese markiert werden. Je nach Farbstoff muß eventuell noch ein Entwickler aufgebracht werden. Zur besseren Erkennbarkeit werden auch fluoreszierende Farbstoffe verwendet, die zum Nachweis mit einer ultravioletten Lichtquelle beleuchtet werden.

Das Verfahren eignet sich sehr gut für metallische Werkstoffe und Keramik, für poröse Materialien ist es nicht geeignet. So wirkt z.B. Beton aufgrund seiner Mikrostruktur wie ein molekulares Sieb, welches beim Eindringen der Farbstoff-Flüssigkeit in die Poren des Betons den Farbstoff ausfiltert.

**Bewertung:** Des Verfahren stellt eine einfache und preiswerte Methode zur ersten Sichtprüfung von Rissen in metallischen Werkstoffen dar.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

DIFFU-THERM, Helmut Klumpf, Technische Chemie GmbH

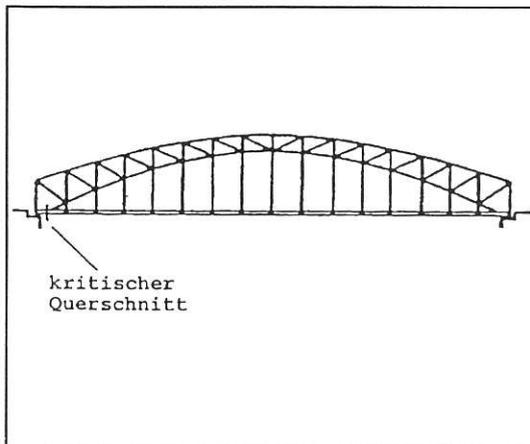
HELLING KG (GmbH & Co.)

Helling Kommanditgesellschaft für Industrieprojekte und Anlagenbau (GmbH & Co.)

Dr. K. Hönle GmbH

Emil Schneider GmbH & Co.KG

**Literaturhinweise:** 86Hof, 86Sch3, 88Klu



90Dah

## Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben

**Stichworte:** *Stahlkonstruktion — Probenahme — Restnutzungsdauer — Streckversuch — Kerbschlagbiege-Versuch*

**Kurzbeschreibung:** Für Stahlkonstruktionen: Aus dem Bauwerk entnommenen Bohrkernen werden Proben zur Festigkeitsuntersuchung hergestellt. Die ermittelten Kennwerte sind Grundlage für die Bestimmung der Restnutzungsdauer.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Labormethode
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Mehr als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Probenahme muß sachkundig an signifikanten Stellen erfolgen und darf die Konstruktion in ihrem Tragverhalten nicht beeinträchtigen.

**Bauwerksprüfung:** Anwendung nur bei gezielter Fragestellung sinnvoll (Prüfung aus besonderem Anlaß).

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für die Prüfung von Stahlkonstruktionen, der Hauptteil der Untersuchung findet im Labor statt.

**Ausführungen:** Entnahme von kleinen Bohrkernen mit handelsüblichen Hohlbohrern, daraus spezielle Fertigung von Probekörpern im Labor.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Zur Ermittlung der wesentlichen Festigkeitskennwerte des verwendeten Stahls.

**Entwicklungsstand:** Verfahren im Entwicklungsstadium, erste Anwendungen in der Erprobung.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Für die laufende Überwachung ist das Verfahren nicht geeignet.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

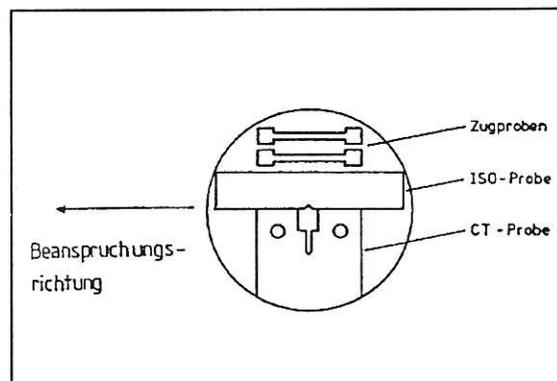
**Anwendung:** Die Methode wurde entwickelt, um Aussagen über die Sicherheit und Restnutzungsdauer von Stahlbrücken zu erhalten. Die Festigkeitsuntersuchung erfolgt parallel mit drei (zerstörenden) Prüfmethode: einem Zugversuch, einem Kerbschlagbiegeversuch und einem bruchmechanischen Versuch. Die dafür notwendigen Proben werden aus einem dem Bauwerk auf zerstörungsarme Weise entnommenen Bohrkern (Durchmesser 60 mm) präpariert. An diesen Proben werden die erwähnten Festigkeitsuntersuchungen durchgeführt. Sie liefern Materialkennwerte für die Angabe der Spannungs-Dehnungslinie, der Kerbschlagfestigkeit und des J-Integrals.

Der Auswahl der Kernbohrungen zur Probenahme kommt bei diesem Verfahren eine wichtige Bedeutung zu: Sie müssen an den vitalen Bauelementen und an den kritischen Querschnitten der Brückenkonstruktion liegen. Die Kernbohrungen dürfen aber nicht zu einer wesentlichen Beeinträchtigung des Istzustandes führen, was mit einer Miniaturisierung des Durchmessers auf 60 mm und einer sorgfältigen Auswahl der Bohrstellen erreicht wird. Die Bohrlöcher werden nach der Probenahme mit Stahlschrauben geschlossen.

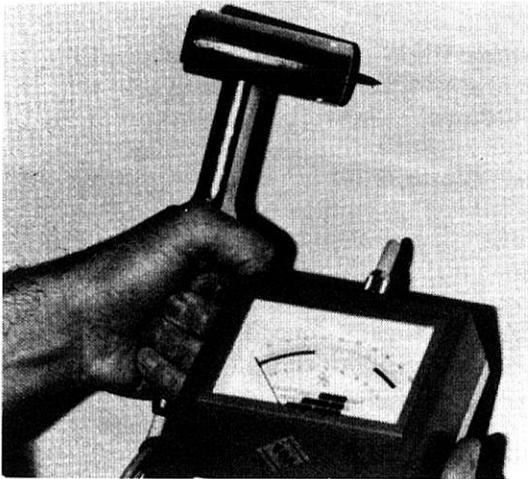
Das Verfahren ist z.Z. Gegenstand mehrerer Forschungsvorhaben, mit denen die Praxistauglichkeit dieses Verfahrens zur wirklichkeitsnahen Abschätzung der Restnutzungsdauer alter Stahlbrücken überprüft werden sollen.

**Bewertung:** Das Verfahren wird entwickelt, um die für die Berechnung der Restnutzungsdauer ("Restlebensdauer") alter Stahlbrücken erforderlichen Materialkennwerte zu erhalten. Dieses Verfahren könnte einen sinnvollen Kompromiß hinsichtlich möglichst zerstörungssarmer Prüfung darstellen, da die erforderlichen Festigkeitskennwerte bis heute nicht zerstörungsfrei ermittelt werden können. Die Aussagefähigkeit der Kennwerte, insbesondere des J-Integrals, auf die Beurteilung der Restnutzungsdauer alter Stahlbrücken muß allerdings noch weiter abgesichert werden, da der Einfluß der – hier für metallische Proben extrem kleinen – Probengrößen auf die Streuung der Ergebnisse noch weitgehend unbekannt ist.

Literaturhinweise: 90Bra, 90Dah



Bearbeiteter Bohrkern, aus dem die Proben für die Festigkeitsuntersuchungen gewonnen werden /90Dah/



83Are

## Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand

**Stichworte:** Holz — Bauwerkshaut — Umwelteinflüsse — Feuchteverteilung — Hydrometer, Hydromette

**Kurzbeschreibung:** Zur Bestimmung der Feuchte in Holz und mineralischen Baustoffen: Über Elektroden und ein Widerstandsmeßgerät wird der elektrische Widerstand gemessen; eine Reduzierung des Widerstandes zeigt eine erhöhte Feuchte an.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es sind u.U. Bohrlöcher erforderlich.

**Einflußgrößen:** Elektrolytgehalt, Inhomogenitäten.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Ausgereiftes Verfahren für Holz; in der Baupraxis für Ingenieurbauwerke jedoch selten angewandtes Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialzustand als zeitabhängige Größe, der nicht durch mechanische Einwirkung verändert wird (Feuchte).

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung besonderer Fragestellungen im Rahmen regelmäßig auszuführender Überwachungen; bei erfolgreicher Weiterentwicklung ist das Bohrlochverfahren anwendbar (siehe "Anwendung").

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird meistens nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist grundsätzlich für die Instrumentierung geeignet, aber in der Baupraxis noch wenig erprobt.

**Ausführungen:** Unterschiedliche Elektrodenformen je nach Baustoff, Anwendung auch in Bohrlöchern möglich.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Gerätekosten:** von 500 bis 2000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Alternativen: siehe Index (Feuchtegehalt, Feuchteverteilung).

**Anwendung:** Die Elektrische Widerstandsmessung erfolgt über eine Messung des Stromes bei einer vorgegebenen Spannung wie beim allgemein gebräuchlichen Ohmmeter.

Das Verfahren findet Einsatz bei mineralischen Baustoffen, besonders für Putz und Mauerwerk, sowie für Holz.

Zur Feuchtemessung am Bauwerk wird das Gerät über geeignete Elektroden mit der zu messenden Fläche in Kontakt gebracht und die elektrische Leitfähigkeit als Maß für die Feuchtigkeit gemessen. Die Meßwerte können nur als orientierende Werte betrachtet werden, da speziell für mineralische Baustoffe eine starke Störgrößenabhängigkeit besteht (Elektrolytgehalt, Inhomogenitäten). Durch ein Verschieben der Elektroden auf der Oberfläche kann die Feuchtigkeitsverteilung ermittelt werden.

Die Messung des elektrischen Widerstands wird auch zur Bestimmung des Feuchtegehalts unterhalb der Oberfläche eingesetzt. In einer abgedichteten Bohrung stellt sich aufgrund des Gleichgewichts zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt einer Betonoberfläche und der umgebenen Luftfeuchte ein entsprechendes Gleichgewicht ein. Danach wird über den elektrischen Widerstand die Luftfeuchte in der Bohrung bestimmt. Über Kalibrierkurven wird die entsprechende Betonfeuchte ermittelt. Dieses Verfahren ist jedoch mit einer relativ großen Ungenauigkeit verbunden.

Eine ähnliche Variante des Verfahrens wird für die Bestimmung der Oberflächenfeuchte von Betonoberflächen angewandt. Hierzu wird ein abgedichtetes Gehäuse auf die Oberfläche gebracht und die entstehende Gleichgewichtsfeuchte der Luft gemessen. Dieses Verfahren wird angewendet, um eine Angabe über den Feuchtegehalt an der Oberfläche vor evtl. durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen zu erhalten.

**Bewertung:** Die Widerstandsmessung zur Ermittlung der Feuchtigkeit eignet sich kaum zur Bestimmung von absoluten Werten, sondern im wesentlichen nur zur Ermittlung der Feuchteunterschiede dicht an der Oberfläche. Aber auch dazu muß einschränkend gesagt werden, daß eine starke Störgrößenabhängigkeit besteht (Elektrolytgehalt, Inhomogenitäten). Die zuverlässigsten Werte werden noch für den Werkstoff Holz erreicht.

Die Zuverlässigkeit der Messung der Gleichgewichtsfeuchte im Bohrloch kann z.Z. als noch nicht ausreichend angesehen werden.

Für die bei Ingenieurbauwerken auftretenden Fragestellungen ergibt sich damit für diese Methode kaum eine Anwendung.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

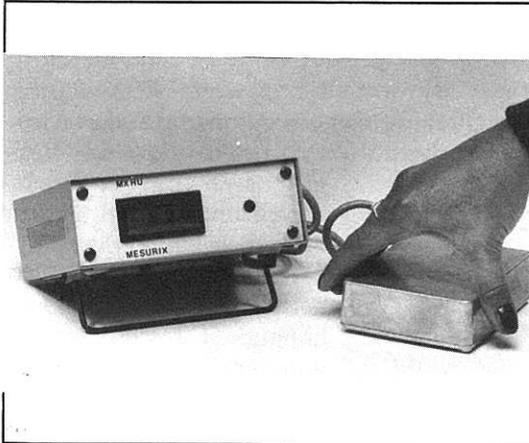
BRAIVE Instruments

Germann Instruments, LTD.

TESTEM, Ges. f. Meß- und Datentechnik mbH

Ultrakust electronic GmbH

**Literaturhinweise:** 83Are, 86Wit, 90Rot



90BAM1

## Feuchtemeßgerät, dielektrisches

**Stichworte:** *Bauwerkshaut — Umwelteinflüsse — Feuchtemessung, kapazitive — Beschichtung — Feuchteverteilung — Feuchtegehalt*

**Kurzbeschreibung:** Gerät zur Messung der Feuchtigkeit in oberflächennahen Schichten: Nutzt den Einfluß der hohen Dielektrizitätskonstante von Wasser auf die Kapazität eines Meßkondensators.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Nicht geeignet für Metalle; das Gerät muß auf den jeweiligen Baustoff kalibriert sein.

**Einflußgrößen:** Evtl. vorhandene Beschichtungen, Art des Baustoffes, in Meßortnähe befindliche Metalle.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk allgemein geeignet.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialzustand als zeitabhängige Größe, der nicht durch mechanische Einwirkung verändert wird (Feuchte).

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet zur regelmäßigen Überwachung von Bauwerken.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl geeignet für in angemessenen Zeitabständen zu wiederholende Hauptprüfungen als auch für Sonderprüfungen (Prüfungen aus besonderem Anlaß).

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Unterschiedliche Kondensatoranordnung für Oberflächen- oder Tiefenmessungen; für großflächige Untersuchung auch fahrbare Systeme.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Gerätekosten:** von 200 bis 2000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Alternativmethoden: Siehe Index; das Verfahren wird auch zur Messung der Luftfeuchtigkeit benutzt (\*Mikroklima).

**Anwendung:** Die dielektrische Feuchtemessung nutzt die hohe statische Dielektrizitätskonstante von Wasser ( $\epsilon \approx 80$  aus. Im Prinzip wird das zu messende Material zwischen zwei Kondensatorplatten oder andere geeignete Elektroden gebracht, die Kapazitätsänderung im Vergleich zu trockener Umgebung gemessen und daraus ein zunächst relativer Feuchtigkeitswert erhalten, der noch auf das Material und die Dichte bezogen werden muß. Da Wasser auch eine relativ hohe elektrische Leitfähigkeit besitzt, muß mit elektrischen Wechselfrequenzen bis zu wenigen Megahertz gearbeitet werden, bei denen sich aber die statische Dielektrizitätskonstante des Wassers noch nicht wesentlich ändert. Die eigentliche Kapazitätsmessung erfolgt dann über eine Messung des Stroms zur Aufladung des Kondensators oder über eine Bestimmung der Resonanzfrequenz eines Schwingkreises.

In der praktischen Anwendung im Bauwesen werden die Elektroden bei den meisten Geräten so angeordnet, daß diese nebeneinander auf der Bauwerksoberfläche aufgebracht werden und das elektrische Feld so den Baustoff bis zu einer gewissen Tiefe durchdringt. Bei Betonbauwerken ist die Eindringtiefe in der Regel geringer als die Betondeckung. Für Messungen in größeren Entfernungen von der Oberfläche sind auch Sonden anwendbar.

Verbreitet sind auch dielektrische Feuchtemessungen in nach außen abgedichteten Bohrlöchern. Aus der sich einstellenden Gleichgewichtsfeuchte wird auf die Feuchte des Bauwerks geschlossen. Dieses Verfahren eignet sich jedoch nur sehr bedingt für quantitative Feuchtegehaltsbestimmung.

Für absolute Messungen ist eine Kalibrierung notwendig. Diese hängt jedoch empfindlich von der Materialzusammensetzung ab, u.a. wegen des unterschiedlichen Anteils von Kristallwasser in den einzelnen chemischen Verbindungen des Baustoffs.

**Bewertung:** Die dielektrische Feuchtemessung eignet sich sehr gut als preiswerte Methode, um durchfeuchtete Bereiche in Beton und anderen mineralischen Baustoffen zu orten und einen Vergleichswert mit der Feuchtigkeit an anderen Stellen desselben Bauwerks zu erhalten. Ein Nachteil ist dabei allerdings die große Abhängigkeit des Meßwertes von der Oberflächenfeuchte.

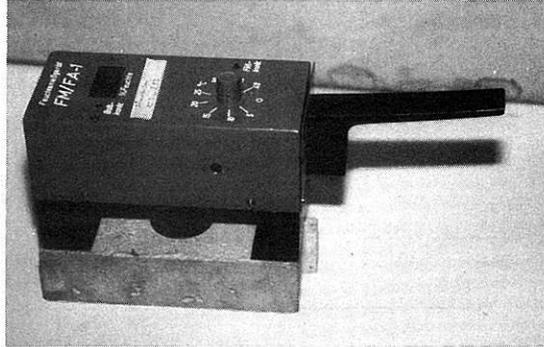
Für die Absolutmessung der Feuchtigkeit ist das Verfahren dagegen wenig geeignet, da die Baustoffzusammensetzung einen wesentlichen Einfluß auf die Kapazität des Meßkondensators hat und deshalb

z.B. für jede Betonrezeptur eine eigene Kalibrierkurve erstellt werden muß.

#### Gerätehersteller/-lieferanten:

Andernach KG, A.W.  
BRAIVE Instruments  
Bauakademie der DDR  
Bluhm & Feuerherdt  
John S. Hall British Import & Trading  
Driesen + Kern GmbH  
Elcometer Instruments GmbH  
FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
Gabo Qualimeter Testanlagen GmbH  
Heraeus Vötsch GmbH  
Itronic-Fuchs GmbH  
JMS Jörg-Michael Schlender  
M.K. Juchheim GmbH & Co.  
SUSPA, Spannbeton GmbH  
Vaisala Oy  
Heinz Zimmermann Ingenieurbüro

**Literaturhinweise:** 75Hun, 84Mal2, 86Hof, 88Sch, 89Sch5, 90BAM1, 90Rot, 90Ven



Dielektrisches Feuchtemeßgerät nach dem Streufeldkondensator-Prinzip /90BAM4/



90Spe

## Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse

**Stichworte:** *Stahlart — Spektroskopie — Metallischer Werkstoff — Chemische Analyse — Fluoreszenz*

**Kurzbeschreibung:** Das zu untersuchende Material wird an der Oberfläche zum Plasmaleuchten angeregt und die charakteristische Fluoreszenz nach Wellenlänge und Intensität analysiert, woraus sich die vorhandenen Elemente quantifizieren lassen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Oberflächen dürfen nicht kontaminiert sein, evt. Freischleifen des Metalls.

**Einflußgrößen:** Nässe kann die Funkenentladung stören.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Sehr gut geeignet zur Verwechslungsprüfung bzw. Identifikation von Metallen, bzw. deren chemischer Zusammensetzung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialzusammensetzung (Stahlart).

**Bauwerksüberwachung:** Vergleiche Bemerkung in der Rubrik "Bauwerksprüfung".

**Bauwerksprüfung:** Verfahren zur Prüfung aus besonderem Anlaß. Dieses kann z.B. bei alten Stahlkonstruktionen bzw. -brücken der Fall sein, wenn Unterlagen über die verbauten Materialien bei der Errichtung oder Instandsetzung fehlen.

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Unterschiedliche Nachweisempfindlichkeiten.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren zur Verwechslungsprüfung in der Metallindustrie; Einsatz im Bauwesen möglich, ist aber noch nicht erprobt.

**Gerätekosten:** von 50000 bis 120000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Fluoreszenz, Lumineszenz und Phosphoreszenz waren historisch getrennte Begriffe. Heute werden Fluoreszenz und Lumineszenz als gleichwertige Begriffe benutzt, während Phosphoreszenz veraltet ist.

**Anwendung:** Die Fluoreszenzspektroskopie ermöglicht die Analyse der chemischen Zusammensetzung einer Probe. Diese Analyse geschieht über die spektrale Zerlegung der Lichtemission der angeregten Probe, wobei die energetische Lage der charakteristischen Fluoreszenzlinien die qualitative Angabe der vorhandenen Elemente gestattet und über die Intensität dieser Linien die quantitative Zusammensetzung bestimmt wird. Zur Anregung der Emission ist die Erzeugung eines Plasmas nötig, was z.B. über eine Funken- oder Bogentladung oder auch eine Laseranregung erfolgen kann.

Eine in der Praxis direkt am Bauwerk einsetzbare Methode ist die chemische Analyse von Stahlkonstruktionen zur nachträglichen Identifizierung von Bereichen, bei denen unterschiedliche Stahlsorten verwendet oder bei einer Bauwerkssanierung nachträglich eingesetzt wurden. Bisher ist dieses Verfahren in der Baupraxis kaum bekannt. Ein praxisnaher Versuch befindet sich in Planung, zum Einsatz kommen die in der Industrie zur Verwechslungsprüfung von Metallen verwendeten Geräte.

Dazu wird die, ggf. saubergeschliffene, Oberfläche durch eine elektrische Entladung lokal aufgeschmolzen und ein kleiner Anteil verdampft. Dadurch werden die Atome jedes Elements zu einer charakteristischen Fluoreszenz angeregt, die spektral zerlegt wird und den Anteil der für die Stahlzusammensetzung interessierenden Elemente angezeigt. Je nach Element und Versuchsdurchführung sind damit Analysengenauigkeiten von 0.02% bis 0.002% erreichbar, was zu einer Identifikation der Stahlart ausreichend sein sollte. Im Prinzip dauert die Aufnahme eines Meßpunktes wenige Sekunden, so daß auch größere Oberflächen in vertretbarem Zeitaufwand zu überprüfen sind.

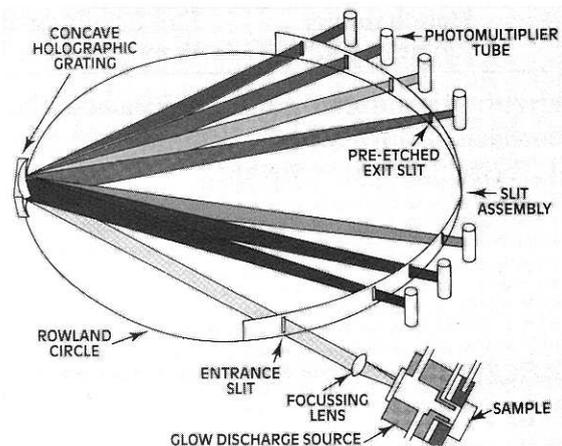
**Bewertung:** Das Verfahren wird bisher im Bauwesen nicht eingesetzt. Einsatzmöglichkeiten bieten sich besonders für die Bestandsaufnahme von Stahlbrücken, bei denen die Bau- bzw. Reparaturunterlagen unvollständig sind.

Hier liegt ein interessantes Entwicklungspotential dieser Methode im Bauwesen, da die Analyse direkt am Bauwerk mit einer kurzen Meßzeit pro Punkt erfolgen kann. Möglich ist auch ein kombinierter Einsatz mit der Methode der \*Festigkeitsuntersuchung an metallischen Proben. Die Anzahl der für eine Gesamtprüfung des Bauwerks zu nehmenden Proben könnte mit Einsatz der Fluoreszenzspektroskopie wesentlich verringert werden.

#### Gerätehersteller/-lieferanten:

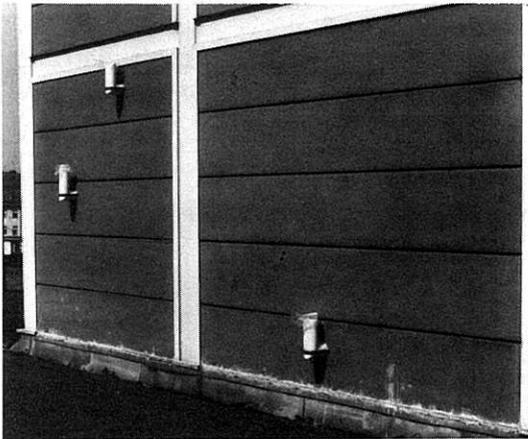
Leco Instrumente GmbH

Spectro Analytical Instruments GmbH



Prinzip eines Polychromators zur spektralen Zerlegung der Fluoreszenz; hier nach Anregung durch eine

Literaturhinweise: 90Spe



90BAM6

## Flüssigkeits-Eindringtest

**Stichworte:** Wassereindringtiefe — Hydrophobierung — Bauwerkshaut — Karsten'sches Prüfröhrchen — Beschichtung

**Kurzbeschreibung:** Zur Messung der Wasseraufnahme an Bauwerksoberflächen: Es wird die Wassermenge pro Zeiteinheit bestimmt, die aus einem aufgeklebten Glasröhrchen in die Oberfläche eindringt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

### Nebenbedingungen für den Einsatz:

**Einflußgrößen:** Witterungsbedingungen (Temperaturschwankungen) können das Meßergebnis stark beeinflussen.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk allgemein geeignet.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Das Wasseraufnahmevermögen des Materials wird an einem bestimmten Punkt gemessen.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Unterschiedliche Genauigkeit der Skalierung des Glasröhrchens; je nach Fragestellung unterschiedliche Durchmesser.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

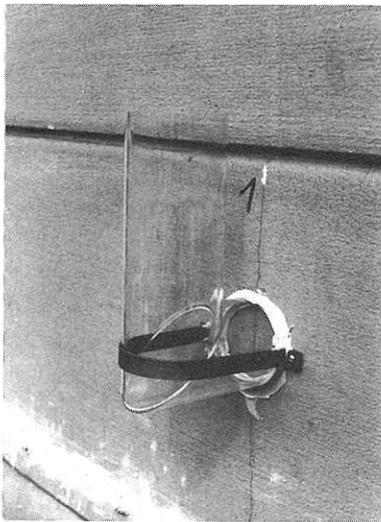
**Gerätekosten:** von 30 bis 100 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Die Wassereindringprüfung erfolgt über die Messung der Wassermenge, die pro Zeiteinheit von der Bauwerksoberfläche aus einer an der Fläche angebrachten und an der Eintrittsstelle rundum abgedichteten Glasküvette aufgenommen wird. Je nach Ausführung der Küvette können Ablesegenauigkeiten bis 0.01 ml erreicht werden.

Anwendungsbereiche für diese preiswerte Methode sind die Bestimmung des Saugverhaltens von Baumaterialien und die Qualitätsüberprüfung von Hydrophobierungen. Gegenüber der Untersuchung von Bohrkernen besteht der Vorteil der genauen Bestimmung des Wassereindringkoeffizienten unter den tatsächlichen Randbedingungen am Bauwerk.

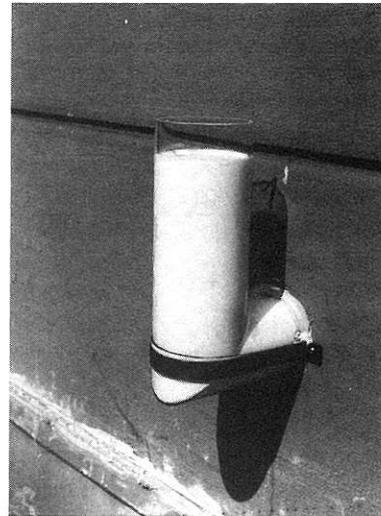
Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des Verfahrens ist die Möglichkeit der Abschätzung von Rißabmessungen aus der Menge des eingedrungenen Wassers im Vergleich zu einer Stelle ohne Riß.



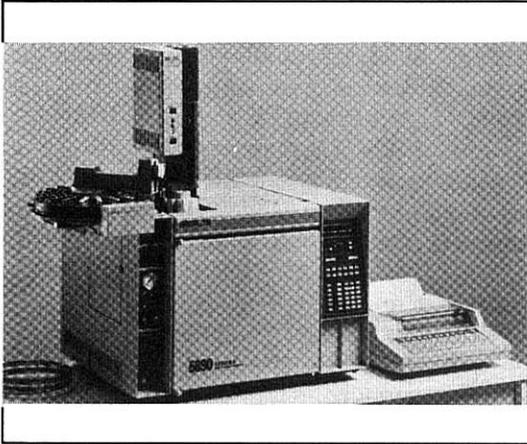
Prüfung der Eindringtiefe von Flüssigkeiten in Risse von Betonfertigteilen (Versuchsvorbereitung)  
/90BAM6/

**Bewertung:** Preiswerte Methode zur Abschätzung des Wassereindringkoeffizienten und des Zustandes von Hydrophobierungen.

Literaturhinweise: 85McC, 89Wen, 90BAM6



Gefäß aus Acrylglas gefüllt mit fluoreszierender Farbe /90BAM6/



90Hew

## Gaschromatographie

**Stichworte:** *Probenahme — Chemische Analyse*

**Kurzbeschreibung:** Zur qualitativen und quantitativen Analyse von Stoffgemischen. Mit der Gaschromatographie werden die Mischungen in einzelne Komponenten zerlegt und mit weiteren Analysetechniken auf ihre Bestandteile untersucht.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Labormethode
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es ist eine Probenahme von einigen Milligramm pro Meßpunkt erforderlich.

**Einflußgrößen:** Evtl. Änderung der Zusammensetzung der Probe während des Transportes in das Labor.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Im Vordergrund steht die Ermittlung der Materialbeschaffenheit.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialzusammensetzung und besondere Bestandteile (z.B. kunststoffmodifizierte Betone).

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Zur Apparatur gehören: Gaschromatograph, angeschlossene Elektronik und Detektoren.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten, als Laborverfahren ausgereift.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Das Verfahren gehört zu der Gruppe der chromatographischen Trennverfahren, die vornehmlich im Bereich der analytischen organischen Chemie eingesetzt werden. Es dient zur Trennung von Gasen und von Stoffen, die sich in den gasförmigen Zustand überführen lassen. Bei der Gaschromatographie wird dabei der Proben-transport von einem inerten Gas übernommen. Helium oder Stickstoff durchströmt mit einer konstanten Geschwindigkeit die Trennsäule des Chromatographen und nimmt die Probensubstanz mit. Die verschiedenen Komponenten werden an den Elementen der Trennsäule unterschiedlich lange zurückgehalten. Am Ausgang der Trennsäule ist die Probe in ihre Bestandteile zerlegt, die dann in zeitlichen Abständen zur chemischen Bestimmung an einen Detektor gelangen.

Als Detektoren sind unterschiedliche Komponenten üblich, z.B. Wärmeleitfähigkeitszellen, Flammenionisationsdetektoren oder Elektroneneinfangdetektoren. Die Aussagekraft der Gaschromatographie kann durch die direkte Kopplung mit einem Massenspektrometer erhöht werden. Der Aufwand für die Nachweismethode ergibt sich aus der geforderten Nachweisgenauigkeit.

Zur Durchführung der Messung müssen Proben genommen werden, wobei vergleichsweise kleine Mengen ausreichen (0.001 bis 100 Mikrogramm in wenigen Millilitern Lösungsmittel).

**Bewertung:** Die Gaschromatographie ist ein bewährtes und aussagesicheres chemisches Analyseverfahren, welches besonders für Fragestellungen der organischen Chemie angewendet wird.

Die analytischen Fragestellungen des Bauwesens, die die Materialzusammensetzung und -verunreinigung betreffen, sind damit für mineralische Baustoffe z.T. auch lösbar, jedoch sind betreffende Anwendungen nur wenig bekannt.

Ein Vorteil der Methode liegt darin, daß für die Analyse nur kleine Materialmengen notwendig sind, was eine zerstörungsarme Untersuchung garantiert. Der Nachteil der Methode liegt in der Beschränkung der zu analysierenden Stoffe auf z.B. CO<sub>2</sub> oder organische Anteile (z.B. für kunststoffmodifizierte Betone); oder auch organische Anteile der Luftverschmutzung.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Gesellschaft für Sediment- und Wasseranalytik mbH (SEWA)

Hewlett-Packard GmbH, Vertriebszentrale Deutschland

Perkin-Elmer GmbH

**Literaturhinweise:** 73Fig, 90Hew



90For

## Gaspermeabilitäts-Verfahren

**Stichworte:** *Fehlstellen — Bohrloch — Gaspermeabilität — Einschluß — Bauwerkshaut — Tracergas — Durchströmbarkeit — Kiesnest — Verdichtungsmangel*

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zur Schadenserken-  
nung in Beton: Aus der unterschiedlichen Gasdurch-  
lässigkeit von fehlerfreiem und fehlerbehaftetem Be-  
ton werden Rückschlüsse auf den Betonzustand ge-  
zogen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** In den meisten Fällen müssen Bohrlöcher eingebracht werden. Je nach Prüfziel unterschiedliche Versuchsstrategie (wo und wie wird Tracergas eingeleitet, wo und wie detektiert).

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist noch nicht in der Praxis erprobt, aber durchaus zur Prüfung aus besonderem Anlaß einsetzbar.

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

### Einflußgrößen:

**Ausführungen:** Anwendung der Verfahren mit Luft oder mit Heliumgas und empfindlicher Nachweismethode (Massenspektrometer)

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet zur Messung an Massivbauten und Brücken. Vom Prinzip her möglich (aber noch nicht erprobt) ist auch die Überprüfung des Verfüllungsgrades von Spannkämen.

**Entwicklungsstand:** Untersuchungen mit Luft z. T. als fertig entwickelte Geräte erhältlich, Anwendung mit Helium in der Entwicklung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Rißerkennung und Fehlstellenerkennung sind möglich.

**Gerätekosten:** von 3000 bis 25000 DM

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren zu aufwendig.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Einfache Ausführungen von Permeabilitätsverfahren sind: \*Druckgas-Verfahren, \*Vakuum-Verfahren

**Anwendung:** Als Gaspermeabilitätsverfahren werden solche Verfahren bezeichnet, die aus der Messung der Durchlässigkeit für bestimmte Gase Rückschlüsse auf den Bauwerkszustand ermöglichen. Solche Verfahren sind für Betonbauwerke von Bedeutung und können hier z.B. zur Überprüfung von Spannkämen, Rissen und Fehlstellen, aber auch von Hydrophobierungen eingesetzt werden.

Bis auf Ausnahmen (\*Druckgas-Verfahren, \*Vakuum-Verfahren) sind diese Methoden noch nicht in der Praxis der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen verbreitet; es befinden sich weitere Verfahren in der Entwicklung.

Für die Messung der Permeabilität von atmosphärischer Luft existieren mehrere Ansätze, die die Oberflächenpermeabilität von Beton- und Gesteinsoberflächen bestimmen, indem an der Oberfläche eine Saugglocke angebracht wird /89Sch7, 90Kie/. Bei Schönlin wird dabei nach dem Evakuieren der Druckanstieg pro Zeitintervall gemessen und daraus ein spezielles Permeabilitätsmaß berechnet. Durch die Korrelation der Karbonatisierung mit der Permeabilität kann indirekt eine Aussage über den Karbonatisierungsfortschritt gewonnen werden, allerdings tritt hierbei der Feuchtegehalt als wesentliche Störgröße auf. Das Verfahren ist deshalb eher geeignet für eine Überprüfung der Wirksamkeit einer Betonnachbehandlung /89Sch7, 91Hil/.

Ein anderer Ansatz der Permeabilitätsmessung beruht darauf, daß die Diffusion eines Gases, vorzugsweise Helium, durch den Beton mit einem empfindlichen Nachweisgerät an der Oberfläche orts aufgelöst bestimmt wird. Zu diesem Zweck kann das Helium auch über kleine Bohrlöcher in das Bauwerk eingebracht und an der Oberfläche z. B. mit einem Massenspektrometer nachgewiesen werden /91Wig/. Das im Stadium der Entwicklung befindliche Verfahren soll zur Detektion von Rissen bzw. Rißverbindungen und Fehlstellen in Beton eingesetzt werden.

**Bewertung:** Die Gaspermeabilitäts-Verfahren werden an Probekörpern im Labor zur Kennwertbestimmung routinemäßig angewandt.

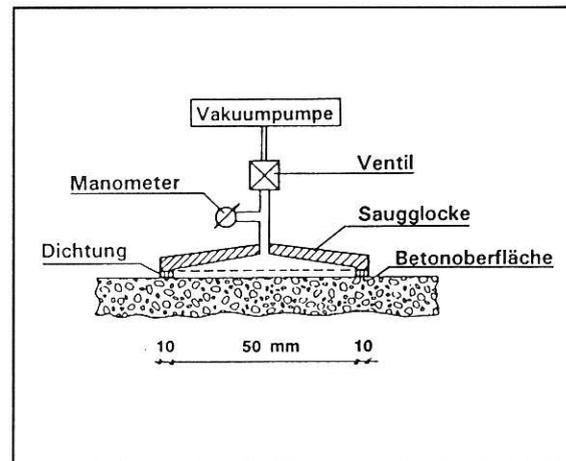
Die Anwendung am Bauwerk ist leider noch nicht Routine, es liegt aber ein gewisses Entwicklungspotential darin, die Durchlässigkeit von Bauteilen für schnell diffundierende Gase zur zerstörungsfreien Prüfung der Verbindung zwischen Rissen oder der Ausdehnung von Kiesnestern zu benutzen.

Das Verfahren mit der Verwendung von Helium und dessen Nachweis durch die Massenspektrometrie befindet sich im Stadium der Entwicklung. Es stellt einen vielversprechenden Ansatz für die Ortung von im Inneren von Spannbeton-Bauwerken liegenden Fehlern dar. Aber auch einfache Prüfziele wie das Orten von Verdichtungsmängeln (Kiesnester) müßten sich mit vertretbarem Aufwand realisieren lassen.

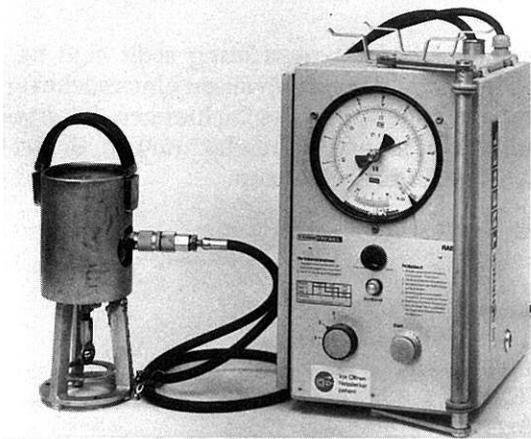
#### Gerätehersteller/-lieferanten:

SUSPA, Spannbeton GmbH

**Literaturhinweise:** 84Deu, 84Han, 85Eng, 85Gru, 85Law, 85Lee, 85McC, 85Pay, 86Grä, 86Grä1, 89Fuk, 89Sch7, 90FOR, 90Kie, 91DAf, 91Hil, 91Wig1



Prüfverfahren zur Bestimmung der Oberflächenpermeabilität nach Schönlin /91Hil1/



90BAM1

## Haftzugprüfung

**Stichworte:** Farbauftrag — Anstrich — Bauwerkshaut — Beschichtung — Haftzug-Festigkeit

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zur Messung der Haftzugfestigkeit zwischen verschiedenen Schichten. Eine mit Kunstharz-Kleber auf die Oberfläche geklebte Scheibe wird mit Hilfe eines mechanischen Gerätes abgezogen und die dafür aufgebrauchte Kraft bestimmt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Meßfläche muß für das Prüfpersonal unmittelbar zugänglich sein.

**Einflußgrößen:** Art der Beschichtung, Oberflächenbeschaffenheit.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen am Bauwerk allgemein geeignet.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialaufbau und dessen Zusammenhalt (verschiedene Schichten) kann punktweise detektiert werden.

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren; vergleiche Rubrik "Bauwerksprüfung".

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl geeignet für die in angemessenen Zeitabständen zu wiederholenden Hauptprüfungen als auch für Sonderprüfungen. Einsatz i.d.R. aber nur aus besonderem Anlaß.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Geräte mit manueller, elektromechanischer oder pneumatischer Arbeitsweise.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren; Prüfvorschrift für Oberflächensysteme: ZTV-SIB 90.

**Gerätekosten:** von 1000 bis 15000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Verwandtes Verfahren (z. T. mit den gleichen Geräten): \*Abreiß-Versuch (mit der Fragestellung der Betonfestigkeit).

**Anwendung:** Das Verfahren entspricht in seiner Durchführung dem \*Abreiß-Versuch. Hier bei der Haftzugprüfung liegt jedoch die Fragestellung in der Haftzug-Festigkeit zwischen unterschiedlichen Schichten der Bauwerkshaut.

Je nach Material der zu untersuchenden Schicht (Putz, Beschichtung, Anstrich) müssen die Größe der Abzugsplatte, der verwendete Kleber, das ggf. erforderliche Freischneiden der Prüffläche und die Abzugskraft optimiert werden. In den jeweiligen Richtlinien finden sich hierzu bestimmte Festlegungen.

Für die Haftzugprüfung werden z.T. dieselben Geräte verwendet wie für den \*Abreiß-Versuch, es genügt jedoch zur Durchführung des Versuches i.d.R. eine kleinere Maximalkraft, als für den Abreiß-Versuch (dort bis zu 40 kN).

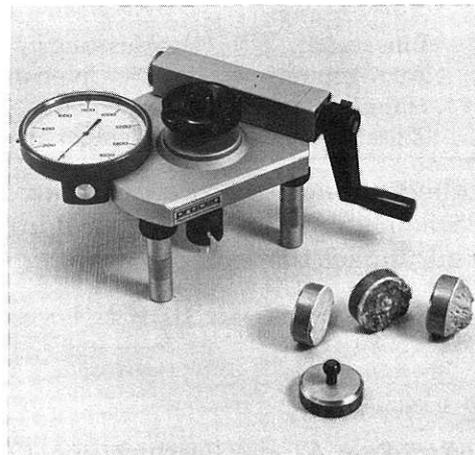
Sehr wichtig ist eine einwandfreie Einleitung der Abzugskraft in die Prüffläche. Sie erfolgt in der Regel zentrisch ohne Querkraft oder Biegemoment. Vorversuche zeigten allerdings in bestimmten Fällen Vorteile bei Einleitung eines reinen Biegemomentes ("Abhebeln").

**Bewertung:** Die Haftzugprüfung stellt eine bewährte Methode der punktwweisen Untersuchung des Haftvermgens von Beschichtungen dar, insbesondere von Kunststoffbeschichtungen, Betonanstrichen, Mörtel und Putzen.

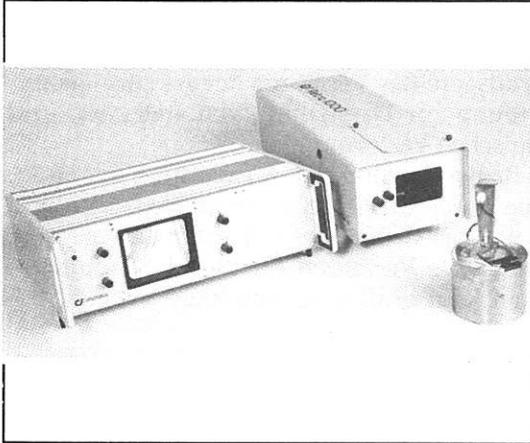
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Josef Freundl  
Bluhm & Feuerherdt  
FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
Germann Instruments, LTD.  
Herion-Werke KG  
PROCEQ SA  
SUSPA, Spannbeton GmbH

**Literaturhinweise:** 86Sch3, 89Met, 90BAM1, 90Kn, 90ZTV



Dyna-Haftprfer von Proceq zur Ermittlung der Zugfestigkeit von Beton und Messung der Haftzugfestigkeit von aufgetragenen Schichten /91Pro/



91Ber

## Holographische Interferometrie

**Stichworte:** *Verformung — Schwingungsmessung — Holographie — Rißdynamik*

**Kurzbeschreibung:** Berührungsloses Verfahren zur Messung der statischen und dynamischen Verformung von Oberflächen mit der Technik der Holographie.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Fester, erschütterungsarmer Standort für die Geräte.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist noch nicht in der Baupraxis erprobt, aber bei Fortentwicklung durchaus für Sonderprüfungen einsetzbar.

**Einflußgrößen:**

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Labormäßig ausgereiftes, in der Baupraxis aber bei Feldmessungen bisher nicht eingesetztes Verfahren.

**Ausführungen:**

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Die Materialbeanspruchung (Spannungs- bzw. Verformungszustand) kann detektiert werden; Rißprüfungen sind möglich (Rißfortschritt).

**Entwicklungsstand:** Gebräuchliches Laborverfahren in der zerstörungsfreien Prüfung; Einsatz im Bauwesen in der Erprobung.

**Gerätekosten:** von 200000 bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren zu aufwendig.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Bei diesem Verfahren wird die Technik der holographischen Aufnahmen ausgenutzt, um die Verformung von Prüfkörperoberflächen darzustellen. Für die Schwingungsanalyse kann dieses Verfahren auch bei externer Schwingungsanregung zur Darstellung der Schwingungsformen der Oberfläche angewendet werden. In neueren Anwendungen für das Bauwesen wird dieses Verfahren auch benutzt, um Rißbewegungen in Beton zu erfassen.

Im Prinzip funktioniert das Verfahren wie folgt: Von dem ruhenden Probekörper oder dem interessierenden Bauwerksbereich wird ein Hologramm erstellt. Danach wird der Körper einer Probelast ausgesetzt und das zuerst aufgenommene Hologramm mit einer neuen holographischen Aufnahme überlagert. Das sich so ergebende interferometrische Hologramm zeigt typische Streifenmuster, aus denen sich die Art der Verformung und deren Amplitude ablesen lässt. Die Streifen geben die Bereiche gleicher Verformung an.

In einer neuen Entwicklung werden die Hologramme mit einer Videokamera aufgezeichnet und mit einem speziellen Prozessor analysiert. Dadurch können die Schwingungsformen der Oberfläche bei externer Anregung in Echtzeit dargestellt werden, was das Auffinden von kritischen Resonanzen erleichtert. Für das Bauwesen ist diese Anwendung interessant, um das Verhalten von Rissen zu untersuchen. Dabei kann die Verformung auch durch eine Wärmeausdehnung induziert werden.

**Bewertung:** Die interferometrische Holographie ist ein ausgereiftes Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung zur Darstellung von statischen und dynamischen Verformungen.

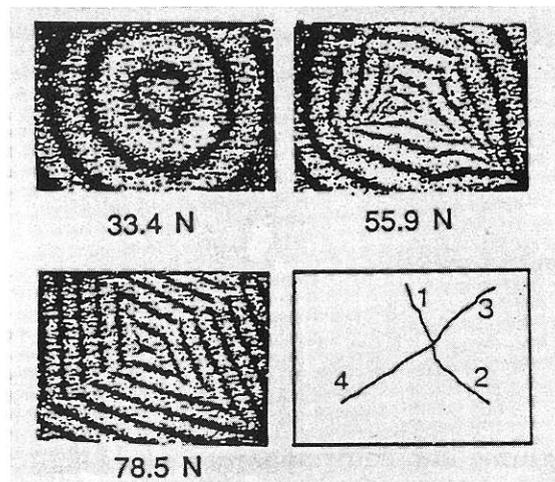
Im Bauwesen sind der Anwendung der Holographie durch die Oberflächenunebenheiten von Beton und der Größe der Objekte Grenzen gesetzt, so daß dieses Verfahren für die Reihenuntersuchungen kein großes Anwendungspotential besitzt.

Neuere Geräteentwicklungen, die die Untersuchung von bis zu 1 m<sup>2</sup> großen Flächen ermöglichen, erscheinen jedoch für Forschungszwecke sinnvoll. Insbesondere zur Untersuchung von Rientstehungsprozessen und Rißbewegungen in Beton ergeben sich vorteilhafte Anwendungen.

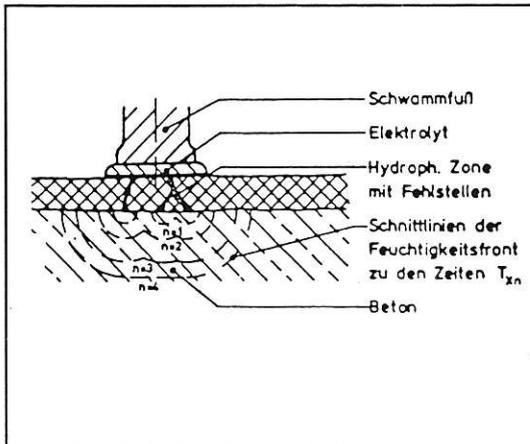
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Berg & Meyer Industrie-Consulting GmbH

**Literaturhinweise:** 86Cie, 90Dau, 90Nor, 90Ste1



Deformationsmuster für die Ausbreitung von Oberflächenrissen (in Keramik) bei unterschiedlichen Belastungen /90Nor/



89Gat

## Hydrophobierungstest mit Elektrolyten

**Stichworte:** Hydrophobierung — Leitfähigkeit, elektrische — Bauwerkshaut — Elektrolyt

**Kurzbeschreibung:** Das Eindringen einer elektrolytischen Flüssigkeit durch die Hydrophobierungsschicht einer Betonoberfläche wird über die elektrische Leitfähigkeit nachgewiesen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Oberfläche muß vor der Untersuchung gereinigt und getrocknet werden.

**Bauwerksprüfung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet zur regelmäßigen Überwachung von Bauwerken.

**Einflußgrößen:** Feuchte, Salzgehalt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:**

**Ausführungen:**

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Qualität der Hydrophobierungsschicht.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren, in ZTV-SIB 90 beschrieben.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:**

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Für waagerechte und senkrechte Flächen einsetzbar.

**Anwendung:** Mit dem Verfahren kann die Qualität von Hydrophobierungen von Betonoberflächen geprüft werden.

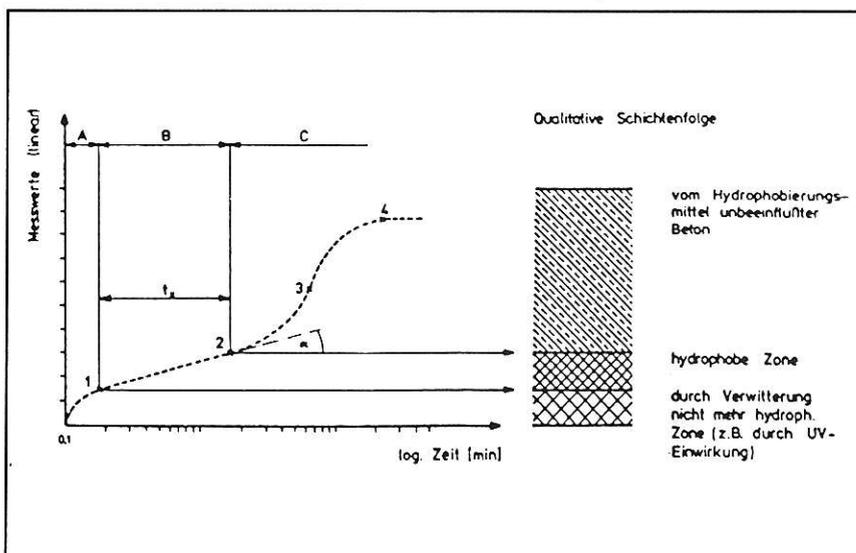
Auf der Betonoberfläche werden Elektroden angebracht, die mit fortschreitender Zeit Elektrolytflüssigkeit (zB.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) an die Hydrophobierungsschicht und den darunterliegenden Beton abgeben. Diese Flüssigkeit dringt in den Beton ein, und zwar um so schneller, je mehr Fehler die Hydrophobierungsschicht aufweist. Die Menge der eingedrungenen Flüssigkeit wird über die elektrische Leitfähigkeit nachgewiesen, die im oberflächennahen Bereich zwischen den beiden Elektroden entsteht. Die Leitfähigkeit wird über der Zeit aufgetragen; die Art des Kurvenverlaufs und die Zeiten, nach denen ein signifikanter Anstieg der Leitfähigkeit erfolgt, werden zur Angabe über den Zustand der Hydrophobierung herangezogen.

Nach der Prüfanweisung in der *Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingung (ZTV-SIB 90) /90ZTV/*, erfolgt die Messung für Flächenbereiche von jeweils  $0,4 \times 0,4 \text{ m}^2$ . Es wird eine Strom-Zeit-Kurve in einem Meßintervall von 90 min erstellt (als Beispiel vergl. die Abb).

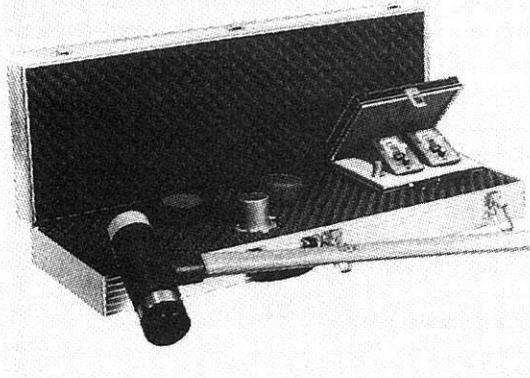
**Bewertung:** Es handelt sich hier um ein bewährtes Verfahren, das mit dem letzten Entwicklungsstand in die ZTV-SIB90 aufgenommen wurde.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**  
Gebr. Pförtner GmbH & Co.KG

**Literaturhinweise:** 89Gat, 90ZTV



Schematischer Verlauf der Meßkurve /89Gat/



90Zie

## Impuls-Prüfhammer

**Stichworte:** *Bauwerkshaut — Stahlkonstruktion — Körperschall — Metallischer Werkstoff — Schallgeschwindigkeit — Schallaufnehmer — Niete — Schrauben*

**Kurzbeschreibung:** Vielfältig verwendbares Gerät zur Bestimmung der Impulsausbreitung, vorzugsweise in Metallen. Rückschlüsse auf Verankerung von Bolzen, Nieten und Schrauben.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Meßfläche muß für das Prüfpersonal unmittelbar zugänglich sein.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl geeignet für in angemessenen Zeitabständen zu wiederholende Hauptprüfungen als auch für Sonderprüfungen aus besonderem Anlaß.

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für die Messungen vor Ort an Stahlkonstruktionen.

**Ausführungen:** Bestimmung der Schallausbreitung mit integriertem oder extern angebrachtem Schallaufnehmer.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Integritätsprüfung von Bauteilen.

**Gerätekosten:** von 2000 bis 12000 DM

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet zur regelmäßig auszuführenden Überwachung von Bauwerken.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Im Prinzip das gleiche Verfahren, aber aufwendiger in der Auswertung, wird benutzt zur \*Pfahlprüfung.

**Anwendung:** Es gibt zwei Varianten des Impulsprüfhammers, ohne und mit elektrischem Schallaufnehmer. Bei der einfachen Ausführung wird mit dem Hammer ein mechanischer Stoß auf das zu untersuchende Bauwerksteil abgegeben und mit dem Ohr die Schallübertragung aus dem Nachklingen beurteilt. Die aufwendigeren Ausführungen haben einen integrierten Schallaufnehmer mit dem die Frequenz und die Dämpfung gemessen wird. Von einem der Hersteller werden diese Schallaufnehmer auch direkt im Hammer integriert angeboten.

Das Hauptanwendungsgebiet des Impulsprüfhammers liegt im Bereich der Stahlkonstruktionen, bei denen die Verankerung von Bolzen, Nieten und Schrauben so auf eine sehr einfache Weise geprüft werden kann. Bei Mauerwerken läßt sich mit dem Impulshammer der Verbund der Ziegel prüfen. Im Bereich der Betonbauwerke sind im begrenzten Maße auch Fehlstellen unterhalb der Oberfläche und Abblätterungen (Ablösungen) festzustellen.

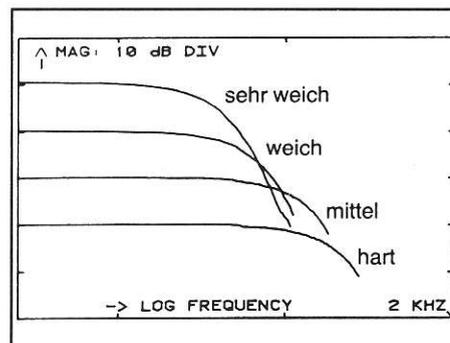
Um die Integrität von unterirdischen Betonpfeilern zu prüfen, kann ebenfalls ein Impuls-Prüfhammer eingesetzt werden. Dazu erfolgt dann aber eine numerische Datenspeicherung mit anschließender Fourieranalyse.

Allgemein kann aber gesagt werden, daß man für die Beurteilung von Steinwerk im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen mit der Impuls-Hammermethode ohne eine Schallaufzeichnung und Frequenzanalyse nicht auskommt, womit das Verfahren dann mehr den apparativ aufwendigeren Verfahren wie der \*Schwingungsanalyse am Bauwerk der \*Ultraschall-Laufzeit- und Intensitätsmessung sowie der \*Pfahlprüfung ähnelt.

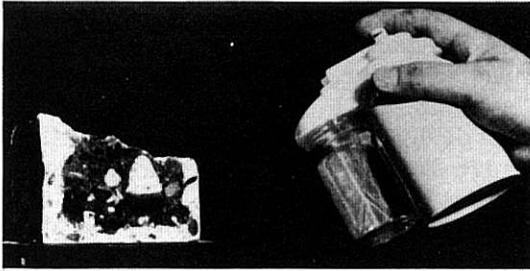
**Bewertung:** Für die Untersuchung von Stahlkonstruktionen stellt insbesondere der Impulsprüfhammer mit integriertem Beschleunigungsaufnehmer ein einfaches und bewährtes Gerät dar. Für Fragestellungen im Bereich von Betonbauwerken ist der Einsatz dagegen nur im Einzelfall sinnvoll.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**  
Ziegler-Instruments GmbH

**Literaturhinweise:** 90Zie



Frequenzspektrum des Kraftimpulses bei Verwendung von Aufschlagtips unterschiedlicher Härte (Hammer 5.4 kg, Kopfdurchmesser 80 mm) /90Zie/



771ke

## Indikator-Technik

**Stichworte:** *Karbonatisierung — pH-Wert — Bauwerkshaut — Probenahme — Phenolphthalein*

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zur Abschätzung der Karbonisierungstiefe von Beton: Aus dem Farbumschlag einer Indikatorflüssigkeit können bereiche markiert werden, die einen bestimmten pH-Wert über- bzw. unterschreiten.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Chemische Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Test nur an frisch erzeugten Bruch- oder Trennflächen.

### Einflußgrößen:

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren, insbesondere zur Beurteilung des Korrosionsschutzes für oberflächennahe Bewehrung in Stahl- und Spannbeton.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialzustand als zeitabhängige Größe, der nicht durch mechanische Einwirkung verändert wird (Karbonisierungstiefe).

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung besonderer Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl geeignet für regelmäßige Hauptprüfungen als auch für Prüfungen aus besonderem Anlaß.

### Bauwerksinstrumentierung:

**Ausführungen:** Indikatorflüssigkeiten mit unterschiedlichen Umschlagwerten.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten im Zusammenhang mit Bildaufnahme (Videotechnik).

**Gerätekosten:** von 100 bis 500 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048 Vorbereitung.

**Anwendung:** Die Indikator-technik dient dazu, eine Aussage über die Karbonatisierungstiefe von Beton zu erhalten. Dazu wird die zu untersuchende Fläche, die eine frische Bruchfläche sein soll, mit destilliertem Wasser und einer Indikatorflüssigkeit benetzt. Je nach verwendetem Indikator erhält man einen Farbumschlag ab einem bestimmten pH-Wert. Da sich durch die Karbonatisierung der pH-Wert des Betons von hohen, die Alkalität anzeigenden Werten (etwa 12) verringert, kann z.B. durch die Markierung des Bereichs, in dem der pH-Wert auf 9 umgeschlagen ist, eine Aussage über die Tiefe der Karbonatisierungsfront gewonnen werden.

Als häufig verwendeter Indikator hat sich Phenolphthalein bewährt. Dieser Indikator wird auf die frische Bruchfläche gesprüht und zeigt durch seine violette Färbung die basischen, also nicht karbonatisierten Bereiche an.

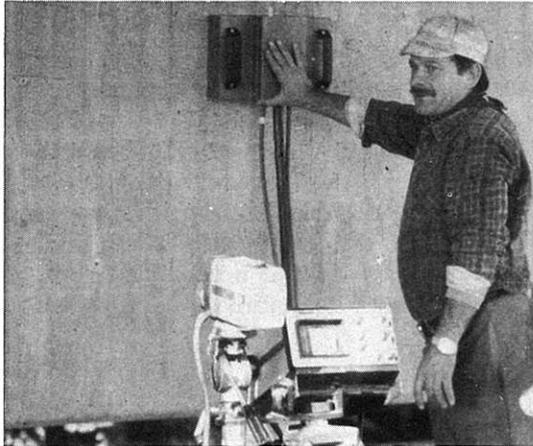
Über die erfolgreiche Anwendung dieser Methode in Bohrlöchern ist bisher wenig bekannt geworden. Das liegt an der Schwierigkeit, daß durch den Bohrvorgang der nicht karbonatisierte Zement im Bohrloch verteilt wird und evt. eine basische Oberfläche im Bohrloch vortäuscht. Außerdem entstehen Verfälschungen, wenn mit Wasser gekühlt wird.

**Bewertung:** Das Indikatorverfahren stellt zwar ein recht sicheres Verfahren zur punktweisen Bestimmung der Karbonatisierungstiefe dar, jedoch kann es wegen der Notwendigkeit der Untersuchung von Bruchflächen nur begrenzt als zerstörungsarm bezeichnet werden.

Hier ist die Entwicklung von Alternativmethoden gefragt, die entweder die Untersuchung einer signifikanten Indikatorreaktion in kleinen Bohrlöchern erlaubt oder auf eine andere Weise das Fortschreiten der Karbonatisierungsprozesse anzeigt.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**  
Germann Instruments, LTD.

**Literaturhinweise:** 86Gru, 91DAf



86Hil

## Induktions-Thermographie

**Stichworte:** *Betondeckung — Bewehrungslage — Spannglieder, Lage der — Induktion, magnetische — Bildgebendes Verfahren — Thermogramm*

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zur Ortung von Bewehrungsstäben mit der \*IR-Thermographie. Die Stähle werden zu diesem Zweck über magnetische Induktion erwärmt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Zum Betrieb des Induktors werden hohe elektrische Leistungen benötigt; für das Aufbringen des Induktors an den interessierenden Stellen kann ein Gerüst oder Kranwagen erforderlich sein.

**Einflußgrößen:** Winkel zwischen Bewehrungsnetz und Induktorachse.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Untersuchungsobjekt vor Ort sind einzelne Teile der Gesamtkonstruktion.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Keine Aussage über die Materialbeschaffenheit.

**Bauwerksüberwachung:** Im allgemeinen ergeben sich bei dieser Aufgabe keine Fragestellungen, bei denen das Verfahren nützlich wäre.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Zur Anlage gehören: IR-Kamera, Induktor zur Erwärmung der Stähle.

**Entwicklungsstand:** Verfahren mit vereinzelter Anwendung im Bauwesen.

**Gerätekosten:** von 60000 bis 500000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Preiswerte Alternativmethoden sind \*Bewehrungs-Suchgeräte, die jedoch keine bildgebende Untersuchung ermöglichen.

**Anwendung:** Die Induktions-Thermographie ist ein Verfahren, das die \*IR-Thermographie ausnutzt, um unter der Oberfläche liegende metallische Bauteile sichtbar zu machen. Die Fragestellung für die Anwendung liegt in der Ortung von Bewehrungsstäben in Stahlbetonbauwerken. Die Stähle, die voraussetzungsgemäß magnetisierbar sein müssen, werden von außen über einen flächenhaften Induktor unter Anwendung der elektromagnetischen Induktion erwärmt. Diese Erwärmung geschieht auf Baustellen sinnvollerweise im Nieder- (60 Hz) oder Mittelfrequenzbereich (0,5 bis 10 kHz).

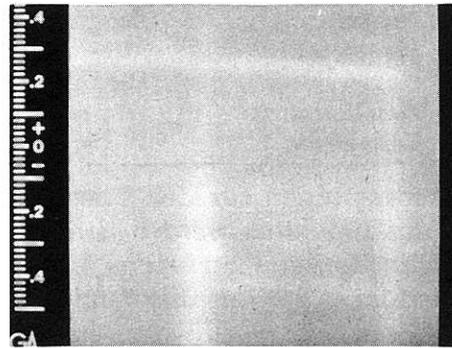
Die Temperaturerhöhung der induktiv aufgeheizten Bewehrungsstäbe zeichnet sich anschließend auf der Bauwerksoberfläche ab. Die Temperaturverteilung auf der Oberfläche wird mit Hilfe einer IR-Kamera auf einem Monitor dargestellt. So wird eine genaue Ortung der Bewehrungsstäbe in einem bildgebenden Verfahren ermöglicht. Die Beobachtung der zeitlichen Entwicklung der Temperaturerhöhung auf der Oberfläche nach der Erwärmung ermöglicht zudem eine Aussage über die Betondeckung bzw. über die relative Tiefenlage der einzelnen Bewehrungslagen. Ein verwandtes Verfahren ist die Vibrationsthermographie /75Luo/ bei der die Wärmeentwicklung durch die Hysterese bei Schwingungen erzeugt wird. Auf dem Thermogramm zeigen sich dann die Bereiche der plastischen Verformung des Bauteils ab.

**Bewertung:** Das Verfahren ist im Vergleich zu anderen Verfahren zur Bewehrungssuche sehr teuer. Es ermöglicht aber eine schnelle und vergleichsweise exakte sowie großflächig bildgebende Ermittlung der Bewehrungslage und auch der Betondeckung, so daß die Anwendung im Einzelfall sinnvoll erscheint. Insbesondere in Fällen, wo die Bewehrung auf keinen Fall beschädigt werden darf, ist der Einsatz der Induktions-Thermographie sinnvoll.

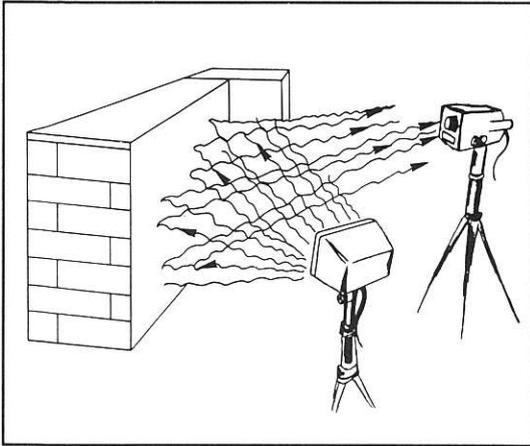
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Hochtief AG

**Literaturhinweise:** 86Hil, 86Sch9, 87Mil, 89Sch2, 90Haa



Thermogramm mit schlaffer Bewehrung  
/86Hil/



86Sch6

## Infrarot-Reflektographie

**Stichworte:** *Emissivität — Infrarot-Strahlung — Bauwerks-haut — Bildgebendes Verfahren — Feuchteverteilung — Thermogramm*

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zum Nachweis insbesondere von Oberflächenfeuchtigkeit, wobei die spektrale Eigenschaft der Wasserabsorptionsbanden ausgenutzt wird.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Nicht nur bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse, sondern auch beim Meßvorgang sind Kenntnisse der physikalischen Zusammenhänge erforderlich.

**Einflußgrößen:** Witterungsbedingungen können das Ergebnis beeinflussen.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk allgemein geeignet.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialzustand als zeitabhängige Größe, der nicht durch mechanische Einwirkungen verändert wird (Feuchtigkeit).

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren zu aufwendig.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist noch wenig in der Praxis erprobt, aber durchaus für Sonderprüfungen aus besonderem Anlaß einsetzbar.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Zur Apparatur gehören: IR-Kamera, ausgesuchte IR-Filter, IR-Lichtquelle.

**Entwicklungsstand:** Der Einsatz dieses Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen erscheint grundsätzlich möglich, erfordert jedoch noch erhebliche Entwicklungsarbeit.

**Gerätekosten:** von 60000 bis 500000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Für dieses Verfahren werden dieselben Komponenten wie für die \*IR-Thermographie benötigt.

**Anwendung:** Normalerweise liefert eine IR-Kamera, die für die Methode der \*IR- Thermographie eingesetzt wird, ein Intensitätsbild der von der Oberfläche ausgehenden Strahlungsverteilung. Die IR-Reflektographie benutzt im Prinzip dieselbe Meßanordnung mit einer anderen Fragestellung: Während bei der IR-Thermographie die Oberfläche des Körpers als schwarzer oder grauer Strahler betrachtet und Zusatzstrahlung eine Störgröße darstellt, ist bei der IR-Reflektographie gerade das Reflexionsverhalten der Oberfläche für eine solche Zusatzstrahlung Gegenstand der Untersuchung.

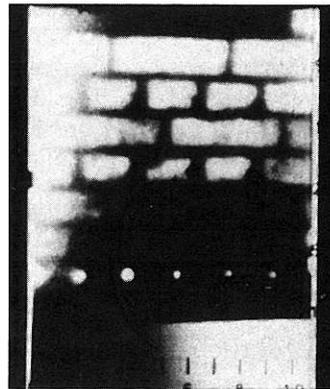
Zum Feuchtigkeitsnachweis wird z.B. der Effekt ausgenutzt, daß Wasser die Infrarotstrahlung in bestimmten Frequenzbereichen absorbiert und sich damit auch der Reflexionskoeffizient der Oberfläche ändert. Reduziert man den Frequenzbereich der Strahlung einmal auf den Bereich dieser Wasserabsorption und benutzt eine Referenzaufnahme in einem Frequenzbereich, in dem Wasser keine Absorption hat, sollte eine Unterscheidung von trockenen und feuchten Bereichen gelingen. Im Prinzip müßte zumindest grob auch eine quantitative Angabe für die Oberflächenfeuchte erreichbar sein. Die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse zur Kalibrierung reichen aber noch nicht aus.

Für das Verfahren liegen Laborerfahrungen vor, für eine praktische Anwendung im Bauwesen bedarf es noch einer gezielten Entwicklung.

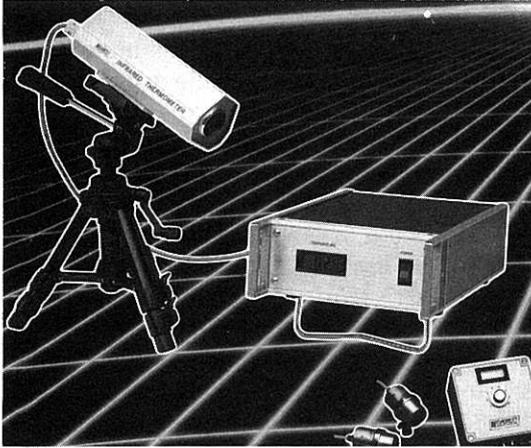
Für die Feuchtemessung in Baustoffen und anderen Werkstoffen findet auch das Verfahren der Infrarot-Reflektometrie ohne bildgebende Darstellung Anwendung. Solche Geräte sind auf dem Markt erhältlich und im Feuchtebereich von 0 bis 10% einsetzbar (/90Fis/, S. 172 ff).

**Bewertung:** Die zu diesem Verfahren vorliegenden Laborerfahrungen lassen es als eine vielversprechende Methode zur bildgebenden Feuchteuntersuchung erscheinen. Für die absolute Messung des Feuchtegehaltes ist das Verfahren bisher noch nicht geeignet. Andere Anwendungen wie der Nachweis von Salzen (Ausblühungen, Ablagerungen aus der Umwelt) auf Bauwerksoberflächen stecken noch in den Anfängen.

**Literaturhinweise:** 82Böt, 83Sch, 86Böt, 86Sch6, 90Fis



Infrarotreflektogramm eines zwecks Trockenlegung mit Zementschlämme injizierten Mauerwerks /82Böt/



90Hör

## Infrarot-Strahlungsthermometer

**Stichworte:** Emissivität — Temperaturmessung — Infrarot-Strahlung — Bauwerkshaut

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zur berührungslosen Temperaturmessung. Die Wärmestrahlung des interessierenden Oberflächenbereiches wird auf einen infrarotempfindlichen Detektor abgebildet und aus der Strahlungsleistung die Temperatur ermittelt und angezeigt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Emissivität der Oberfläche muß bekannt sein.

**Bauwerksprüfung:** Gerät kann ohne Vorbereitung eingesetzt werden.

**Einflußgrößen:** Feuchtigkeit, Oberflächenbeschaffenheit, störende Objekte im Blickfeld.

**Bauwerksinstrumentierung:**

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Generell zur Temperaturmessung geeignet, besonders dann, wenn berührungslos gemessen werden soll.

**Ausführungen:** Für unterschiedliche Temperaturbereiche von -50 bis 3000 °C; mit und ohne Steuergerät.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Der Materialaufbau (wie z.B. Gefügelockerungen, Verdichtungsmängel) kann zumindestens global detektiert werden.

**Gerätekosten:** von 3500 bis 6000 DM

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen regelmäßig auszuführender Überwachungen.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Infrarot-Strahlungsthermometer sind relativ teuer. Wenn keine berührungslose Messung notwendig ist, bieten sich Thermoelemente und andere Berührungsthermometer an. Zur Temperaturmessung als bildgebendes Verfahren siehe \*IR-Thermographie.

**Anwendung:** Die Temperaturmessung mit einem Strahlungsthermometer nutzt den Effekt aus, daß jeder Körper, der sich auf einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes (-273 °C) befindet, eine elektromagnetische Strahlung aussendet, deren Leistung eindeutig mit der Temperatur korreliert ist (Schwarzer Strahler). Im Temperaturbereich bis 500 °C wird dabei im wesentlichen Infrarot-Strahlung ausgesandt und gemessen, so daß infrarotempfindliche Detektoren verwendet werden müssen. Da man es im praktischen Fall nicht mit schwarzen Strahlern zu tun hat, sondern mit grauen Körpern, die nur einen Teil der Strahlungsenergie emittieren, muß die Emissionsgrad des Meßobjekts bekannt sein.

Für bestimmte Anwendungen, z.B für Messungen über große Entfernungen kann der spektrale Bereich auch über Filter eingegrenzt werden, so daß verfälschende Absorptionen in der Luft vermieden werden.

Zur Messung wird der interessierende Oberflächenbereich mit einem Objektiv auf einen Detektor abgebildet. Aus der Strahlungsleistung und dem eingegebenen Emissionsgrad wird die Temperatur berechnet und angezeigt. Je nach gewünschter Meßgenauigkeit, Meßbereich und Reichweite steht ein breites Sortiment von Geräten und Objektiv zur Verfügung.



IR-Strahlungsthermometer von Ircan im Einsatz

**Bewertung:** Die berührungslose Messung mit IR-Strahlungsthermometern stellt eine schnelle und elegante Methode zur Temperaturmessung dar.

Eingeschränkt wird die Nutzbarkeit durch die Randbedingung, daß die Emissivität der Oberfläche bekannt sein muß. Im Falle der mineralischen Baustoffe wie Beton liegen diese Werte knapp unter 1,0, bei metallischen Oberflächen jedoch z.T. unter 0,5. Dadurch wird eine genaue Temperaturangabe u. U. schwierig.

Ein weiteres mögliches Problem besteht darin, daß als Temperaturangabe immer der Integralwert über das Blickfeld des Detektors angegeben wird. Eine genaue Punktmessung, wie sie mit Thermoelementen problemlos bewerkstelligt werden kann, ist daher mit dem hier beschriebenen Geräten nicht ohne weiteres möglich. Auch hat sich bei einfachen Geräten dieser Art eine überdurchschnittliche Störanfälligkeit gezeigt; für die Bau Praxis werden robustere Ausführungen benötigt.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

ASM GmbH, Automation Sensorik Meßtechnik  
 Ahlborn Meß- und Regelungstechnik  
 Airflow Lufttechnik GmbH  
 Geraberger Thermometerwerk GmbH  
 Heimann GmbH  
 Hörotron GmbH, Phys.-Techn. Meß- u. Datentechnik  
 IRIS GmbH  
 Ircan GmbH/Square D  
 JMS Jörg-Michael Schlender  
 Land infrarot GmbH  
 Dr. Georg Maurer GmbH, Optoelektronik  
 OPTRON MESSTECHNIK GmbH  
 Ultrakust electronic GmbH

**Literaturhinweise:** 88Cie, 90Hör, 90Hör1



90BAM1

## Infrarot-Thermographie

**Stichworte:** Wärmebrücken — Emissivität — Temperaturmessung — Infrarot-Strahlung — Bauwerkshaut — Beschichtung — Bildgebendes Verfahren — Feuchteverteilung — Befestigungselement — Kiesnest — Verdichtungsmangel — Thermogramm

**Kurzbeschreibung:** Bildgebendes Verfahren zur Messung der von der Oberfläche eines Körpers ausgehenden Infrarotstrahlung. Die Strahlungsleistung ist mit der Oberflächentemperatur korreliert.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Keine heißen Objekte im Vordergrund, möglichst keine Sonneneinstrahlung, keine störenden Windverhältnisse. Beste Meßzeit vor Sonnenaufgang außerhalb der üblichen Arbeitszeit.

**Einflußgrößen:** Sonnenstand, Wind, Feuchtigkeit, Emissivität der Oberfläche (speziell Glas, Metall).

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Gut geeignet zur Prüfung der Wärmedämmung. Defekte in oberflächennahen Schichten von beton können erkannt werden, falls ein Temperaturgradient existiert.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialaufbau (verschiedene Schichten, Homogenität wie z.B. Verwendung gleichartiger Mauersteine, Hinterfüllungen o. ä.) kann global detektiert werden.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Bei speziellen Fragestellungen gut geeignet, da bildgebendes Verfahren.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung ungeeignet, derartige Anwendungen nicht bekannt.

**Ausführungen:** Von hochauflösenden teuren Kamerasystemen mit integrierter Bildverarbeitung bis zu einfachen Überwachungsgeräten.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Gerätekosten:** von 60000 bis 500000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Die IR-Thermographie wird in mehreren Versionen eingesetzt: \*Infrarot-Reflektographie, \*Induktions-Thermographie, \*Infrarot-Strahlungsthermometer, Vibrothermographie.

**Anwendung:** Die bekannteste Anwendung der Infrarotthermographie im Bauwesen liegt in den Aufgaben des Wärmeschutzes. Daneben läßt sie sich jedoch auch für eine Vielzahl von anderen Aufgaben einsetzen, wie dem Orten von verborgenen, unter der Oberfläche liegenden Konstruktionen, Bauelementen, Inhomogenitäten und Defekten, die sich durch unterschiedlichen Wärmetransport und damit in unterschiedliche Werten der Wärmeabstrahlung bzw. der Oberflächentemperatur abzeichnen.

Die IR-Thermographie wird mit einer Kamera durchgeführt, die mit einem speziellen Infrarot-Detektor ausgerüstet ist, auf den die von einem Körper ausgehende Infrarotstrahlung abgebildet wird. Bei modernen Geräten können über ein Objektiv und einen optischen Scanner Bilder in Fernsicht erzeugt werden (25 Vollbilder pro Sekunde). Die geometrische Auflösung liegt bei Spitzengeräten in der Größenordnung von 2 mrad.

Die Kameras lassen sich grob nach der Art des verwendeten Detektors unterscheiden: Für den normalen Temperaturbereich unter 100 °C werden Detektoren verwendet, die auf das atmosphärische Fenster zwischen 8 und 13 µm optimiert sind. Für den Einsatz bei höheren Temperaturen werden Detektoren für das kurzwelligere Fenster zwischen 2 und 4 µm aus naheliegenden Gründen (Planck'sches Strahlungsgesetz) bevorzugt.

Mit einer Falschfarbendarstellung der gemessenen Strahlungsleistung wird dann auf einem Monitor ein direktes Abbild der Strahlungs- bzw. Temperaturverteilung auf der Oberfläche des untersuchten Körpers mit einer Auflösung bei optimalen Randbedingungen bis 0,1 °C erreicht. Die Infrarotbilder können analog/digital gewandelt und einer digitalen Bildverarbeitung zugeführt werden. Ein Bildraster enthält hierbei typischerweise 256 mal 256 Bildpunkte. Die digitale Darstellungstiefe (8 Bit) liegt i.d.R. über der vom Infrarotdetektor erreichten Meßgenauigkeit.

Zur exakten Temperaturmessung muß der Emissionsgrad der Oberfläche des Untersuchungsobjekts bekannt sein.

Entwicklungsmöglichkeiten bietet die IR-Thermographie durch die Beachtung der Dynamik von Wärmeverteilungen und entsprechenden theoretischen Begleitrechnungen.

**Bewertung:** Das beschriebene Verfahren zur bildgebenden, berührungslosen Temperaturmessung findet im Bauwesen besonders auf dem Gebiet der Gebäudethermographie unter dem Gesichtspunkt des Wärmeschutzes Anwendung. Hier liegen auch umfangreiche Erfahrungen beim Auffinden von Wärmelecks und der Ursachenforschung bei Feuchtbereichen vor.

Ein analoger Anwendungsbereich bietet sich bei der Prüfung und Überwachung von Ingenieur-Bauwerken an. Mit sicherem Erfolg können all jene Besonderheiten oberflächennaher Bereiche detektiert werden, wie z.B. die Ablösung von Schichten oder Schädigungen im Materialgefüge die sich durch unterschiedlichen Wärmetransport und somit einem Temperaturgradienten an der Oberfläche äußern. Der keineswegs geringe Geräte- und notwendige Personaleinsatz erfordert allerdings eine sorgfältige Kosten/Nutzen-Analyse.

Bei speziellen Fragestellungen bieten sich weitgehendere Verfahren an, die zur Prüfung und Überwachung von Ingenieur-Bauwerken, die nicht allein auf der Messung der nutzungsbedingten Temperaturunterschiede beruhen wie: \*IR-Reflektographie, Vibrations-Thermographie, \*Induktions-Thermographie.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

AGEMA Infrared Systems GmbH

GoRaTec

Hadland Photonics GmbH

Hörotron GmbH, Phys.-Techn. Meß- u. Datentechnik

IRIS GmbH

Insight Vision Systems Ltd.

Optilas GmbH

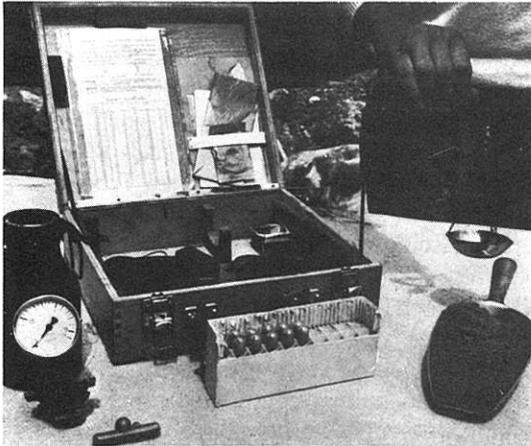
Pilkington Energy Advisors Limited

Polytec GmbH

Rank Precision Industries GmbH, GB Rank Taylor

Hobson

**Literaturhinweise:** 72Böt, 72Hen, 77Bat, 78Fis, 78Pet, 80Pet, 82Böt, 82Jen, 82Sch, 83Are, 83Cho, 83Geb, 84Bur, 84Say, 85Luo, 86Böt, 86Cie, 86Hil, 86Hof, 86Luo, 86Sch6, 87Dur, 88Alm, 88Are, 88Cie, 88Kaa, 89Mal, 89Sch6, 90BAM1, 90Dre, 91Jan, 91Kol, 91Sch4, 91Sch5, 91Web2, 91Wig



771ke

## Kalzium-Karbid-Methode

**Stichworte:** *Bauwerkshaut — Probenahme — CM-Gerät — Feuchtegehalt*

**Kurzbeschreibung:** Prüfverfahren zur Bestimmung des Wassergehaltes von mineralischen Lockergesteinen bzw. zerkleinertem Material aus der chemischen Reaktion des freien Wassers mit Kalzium-Karbid.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Chemische Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Dem zu untersuchenden Bauteil müssen Probemengen von 3 bis 100 g entnommen werden; für Betonuntersuchungen sind größere Mengen angeraten.

**Einflußgrößen:** Bei der Probenahme sind die üblichen Vorkehrungen zu treffen, daß bei dem Prozeß die Probe nicht verändert wird.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Zur Untersuchung von dem Bauwerk entnommenen Proben.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Anteil des freien Wassers in der Probensubstanz.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen regelmäßiger Untersuchungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur zur Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Siehe unter Anwendungen.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren; Prüfrichtlinie: ZTV-SIB 90; Vorschrift 209/89 Ministerium für Bauwesen der DDR.

**Gerätekosten:** von 600 bis 1000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Siehe im Index unter "Feuchtegehalt".

**Anwendung:** Das Verfahren ermöglicht die Bestimmung des Gehaltes an freiem, nicht chemisch gebundenen, Wasser von mineralischem Material. Die Probe muß in der Regel dem Bauwerk entnommen und homogenisiert werden.

Die abgewogene Materialprobe wird in einem vorgegebenen Volumen und einem definierten Mischungsverhältnis mit Kalzium-Karbid ( $\text{CaC}_2$ ) vermengt, worauf das freie Wasser zu Acetylen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) reagiert. Der dadurch im geschlossenen Gefäß erzeugte Druckanstieg stellt ein Maß für den Wasseranteil dar, der anhand von Kalibriertabellen abgelesen wird.

Zur Feuchtegehaltsbestimmung von Beton sollten relativ große Probemengen von 100 bis 200 g gemessen werden, um eine repräsentative Aussage zu ermöglichen. Das ist mit einigen der handelsüblichen Gerätesätzen nicht möglich. Genauere Werte über die notwendigen Probenmengen in Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung sind in der ZTV-SIB 90 gegeben.



Gerätekoffer eines CM-Geräts  
/83Are/

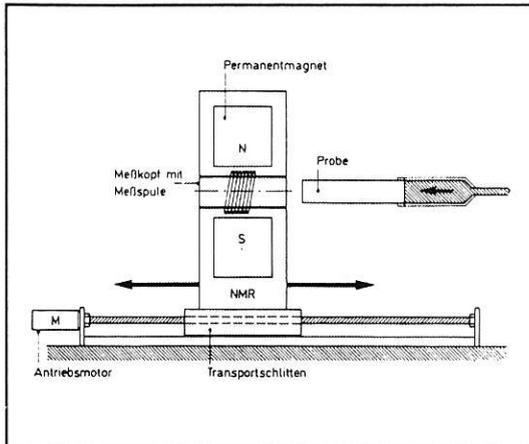
**Bewertung:** Mit den CM-Geräten läßt sich der Feuchtegehalt von mineralischen Probesubstanzen einfach und ausreichend genau vor Ort bestimmen. Gegenüber dem Darrversuch (Bestimmung des Massenverlustes nach dem Trocknen über einer Flamme) sind die Handhabung, der notwendige Zeitaufwand und der in sich geschlossene Gerätesatz (keine Waage notwendig) von Vorteil. Dennoch ist einige Erfahrung erforderlich, um Fehlmessungen sofort erkennen zu können.

Die Feuchtegehaltsbestimmung von Frischbeton kann bei einer Einwiegemenge von 200 g zuverlässig mit der CM-Methode erfolgen. Dagegen ergeben sich bei der Messung von erhärtetem Beton i.d.R. zu kleine Werte /85Nis/.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Josef Freund  
Blum & Feuerherdt  
FORM+TEST Seidner & Co. GmbH

**Literaturhinweise:** 85Nis, 88Are



87Kie

## Kernspinnresonanz zur Feuchtemessung

**Stichworte:** Wassereindringtiefe — Probenahme — Feuchteverteilung

**Kurzbeschreibung:** Über eine Resonanzabsorption der Wasserstoffkerne im Magnetfeld werden der Feuchtegehalt und die Feuchteverteilung bestimmt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Labormethode
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es gelten die für die Probenahme üblichen Regeln, daß die Probe nicht entscheidend verändert werden darf.

**Bauwerksprüfung:** Für die regelmäßige Prüfung zu aufwendig.

**Einflußgrößen:** Gehalt an ferromagnetischen Substanzen.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Labor-Untersuchungsmethode; zur Messung von Proben unmittelbar vor Ort im Prinzip einsetzbar, aber noch wenig erprobt.

**Ausführungen:** In Bereichen außerhalb des Bauwesens, z. B. in der diagnostischen Medizin in vielen Variationen und Größen im Einsatz.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Feuchtegehalt von Proben.

**Entwicklungsstand:** Der Einsatz dieses Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen erscheint grundsätzlich möglich, erfordert jedoch noch erhebliche Entwicklungsarbeit.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren im Bauwesen noch wenig erprobt, aber durchaus bei entsprechender Weiterentwicklung für die Bauwerksüberwachung einsetzbar.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Eine kostengünstige Alternativmethode ist z.B. die \*Kalzium-Karbid-Methode, ansonsten siehe unter Stichwort "Feuchteverteilung" und "Feuchtegehalt".

**Anwendung:** Mit der Messung der Kernmagnetischen Resonanz (Nuclear Magnetic Resonanz, NMR) ist eine Bestimmung der in einer Probe vorhandenen Wasserstoffkerne, also eine Wassergehaltsbestimmung in nicht wasserstoffhaltigen Werkstoffen, möglich. Das Meßprinzip beruht auf der Ausrichtung des permanenten magnetischen Momentes der Wasserstoffkerne in einem äußeren Magnetfeld. Aus der Stärke der Absorption einer elektromagnetischen Strahlung im Mikrowellenbereich kann dann auf die Konzentration der Wasserstoffatome geschlossen werden. Da sich mit diesem Verfahren auch eine gute Ortsauflösung unter Einsatz der \*Computer-Tomographie erreichen läßt, können so im Prinzip genauere Feuchtigkeitsmessungen durchgeführt werden, als mit der \*Mikrowellen-Transmission oder der \*Neutronensonde.

Der praktische Einsatz findet zur Zeit nur im Labor an Materialproben bis zu einem maximalen Durchmesser von 3 cm statt. Für Fragen des Bauwesens wird das Verfahren zur Bestimmung der Kapillartransportkoeffizienten für poröse Baustoffe und der Prüfung des Einflusses von Hydrophobierungsmitteln eingesetzt. Ein Einsatz in der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen, z.B. zur Messung des Feuchtegehaltes von Bohrkernen ist denkbar.

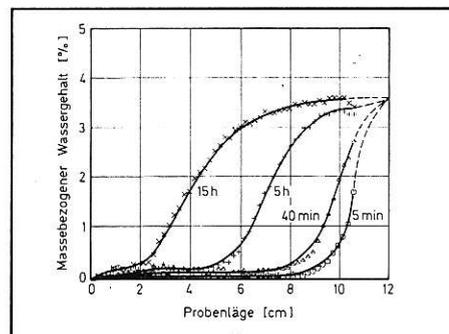
Das Verfahren findet auch Anwendung in der Bestimmung des Feuchteverhaltens von Baustoffen, z.B. für die systematische Untersuchung der Wassereindringtiefe /89Kru/.

**Bewertung:** Die Kernspinresonanz ist ein aufwendiges und teures Verfahren, weshalb es nur in Sonderfällen eingesetzt wird. Für Anwendungen im Bauwesen ist interessant, daß mit diesem Verfahren auch das chemisch gebundenem Wasser (im Gegensatz zum freien) gemessen werden kann.

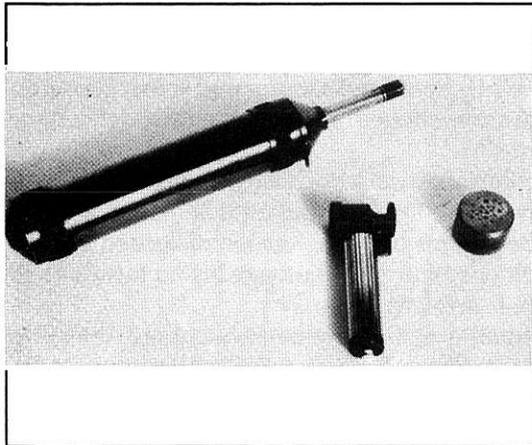
Der Anwendungsbereich der Kernspinresonanz für mineralische Baustoffe ist begrenzt, da das Meßergebnis durch die Anwesenheit von störenden ferromagnetischen Substanzen beeinträchtigt wird. Durch diese Störungen kommt es zu Verbreiterung der Absorptionslinien, die eine genaue Auswertung erschweren bzw. sogar unmöglich machen.

Die im medizinischen Bereich angewendeten tomographischen Diagnoseverfahren lassen sich nicht ohne weiteres auf die Untersuchung von Baustoffen übertragen: Wegen des im Vergleich zum menschlichen Körper geringen Wassergehaltes müssen sehr hohe Magnetfelder im Bereich von 10 Tesla verwendet werden, was den technischen Aufwand noch vergrößern würde. Dennoch sind solche Apparaturen für die zerstörungsfreie Prüfung außerhalb des Bauwesens im Einsatz, z.B. für die Messung an Verbundwerkstoffen. Für Verbundwerkstoffe sind auch bildgebende NMR-Techniken in der Entwicklung.

Literaturhinweise: 87Fra, 87Kie, 88Mat, 89Kru, 90Fra



Gemessene Wassergehaltsverteilungen während des kapillaren Saugvorganges bei Naturstein /87Kie/



86Web

## Kugelschlag-Versuch

**Stichworte:** *Druckfestigkeit — Betonfestigkeit — Junger Beton — Oberflächenhärte — Bauwerkshaut — Schlagprüfung — Erhärtungsprüfung*

**Kurzbeschreibung:** Zur Bestimmung der Gleichmäßigkeit und Abschätzung der Festigkeit des Betons. Durch einen Schlaghammer wird auf der Betonoberfläche ein Kugeleindruck erzeugt, ausgemessen und daraus auf die Betonfestigkeit geschlossen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Elementar-handwerkliche Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die zu untersuchenden Betonoberflächen müssen frei zugänglich, eben und lufttrocken sein. Unebenheiten sind zu glätten.

**Einflußgrößen:** Gerät muß exakt ausgerichtet sein, Meßpunkte sind genau auszuwählen (Keine Schläge auf große Zuschlagkörner); Rückschluß auf die Betonfestigkeit nur über Kalibrierungskurven, die das jeweilige Betonalter berücksichtigen.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes ZfPBau-Verfahren, ist weitgehend, abgesehen von besonderen Fragestellungen, vom \*Rückprallhammer verdrängt worden.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Aussagen über Gleichmäßigkeit und Festigkeit des Beton sowie zur Widerstandsfähigkeit der Bauwerkshaut (Oberflächenhärte).

**Bauwerksüberwachung:** Einsatz bei besonderen fragestellungen im Zusammenhang mit der Festigkeit von Beton und von anderen mineralischen Baustoffen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl geeignet für in angemessenen Zeitabständen zu wiederholende Hauptprüfungen als auch für Sonderprüfungen (Prüfungen aus besonderem Anlaß).

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Zwei Varianten der Kugelschlagprüfung sind möglich (Pendelhammer, Federhammer).

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren; früher in DIN 1048 genormt; außerdem in vielen weiteren Staaten Prüfrichtlinien, siehe dazu /85Sch;S.93./.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

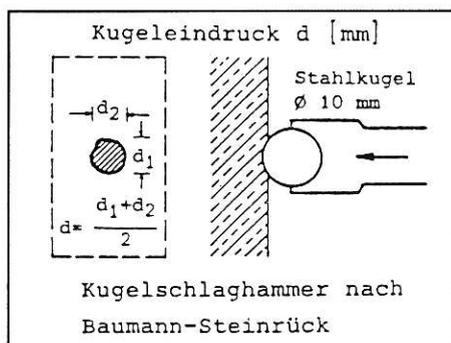
**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Englische Bezeichnung: Sclerometer test. Alternativmethoden siehe im Index unter "Betonfestigkeit".

**Anwendung:** Kugelschlagversuche werden vorrangig zur Abschätzung der Betonfestigkeit eines Bauwerks in den ersten 90 Tagen angewendet. Während der Prüfung wird ein Schlaghammer auf die zu untersuchende Oberfläche des Betons geschleudert. Der sich am Schlaghammer befindliche Eindringkörper (Kugel) hinterläßt auf der Betonoberfläche eine bleibende Verformung. Der Kugleindruck wird mit einer Meßlupe in zwei Richtungen ausgemessen und ist ein Maß für die Härte des Betons, die mit der Betonfestigkeit korreliert.

Zur Anwendung kommen der Federhammer und der Pendelhammer. Beim Federhammer liefert eine Feder die Energie, mit der die Kugel auf die Oberfläche des Betons auftrifft. Beim Pendelhammer wird die Schlagenergie durch die Schwerkraft erzeugt. Der Pendelhammer wird bevorzugt zur Untersuchung von Putzen und Mörteln eingesetzt.

Mit der Kugelschlagprüfung wird nur die Betonoberfläche geprüft. Aussagen über die Betongüte im Inneren des Bauteils können nur im Zusammenhang mit weiteren Untersuchungen am Bauwerk gemacht werden.

Aus naheliegenden Gründen ist eine Wiederholung der Prüfung mit statistischer Auswertung notwendig.



Kugelschlaghammer nach Baumann-Steinrück /86Web/

**Bewertung:** Der Kugelschlag-Versuch ist wegen seiner einfachen Handhabung und seiner geringen Kosten ein wichtiges Prüfverfahren auf vielen Baustellen.

Das Verfahren ist jedoch lediglich ein Schätzverfahren für die Druckfestigkeit. Die Werte hängen vom Betonalter und der Karbonatisierung ab; zusätzlich wird nur eine Aussage bis zu maximal 30 mm Tiefe erreicht.

Nachteilig ist die personalaufwendige Ablesung mit der Meßlupe. Damit ist auch eine automatische Meßwerterfassung nicht möglich, so daß der Kugelschlag-Hammer in letzter Zeit gegenüber dem Rückprallhammer in den Hintergrund getreten ist. Stehen allerdings Aussagen zur oberflächennahen Schicht im Vordergrund und nicht die Materialfestigkeit insgesamt, so wird der Kugelschlaghammer von Fachleuten nach wie vor bevorzugt eingesetzt. Vorteilhaft ist außerdem, daß beim Kugelschlag-Versuch die Meßwerte weniger als beim Rückprallhammer vom elastischen Biegeverhalten des Bauteils abhängen. Damit können z.B. auch frei hängende Fassadenplatten geprüft werden, die weniger als die bei Schlagversuchen sonst geforderten 10 cm dick sind (DIN 1048, Teil 2).

Literaturhinweise: 86Sch3, 86Web, 91DAf



89Häu

## $\lambda$ -Nadelsonde

**Stichworte:** Wärmebrücken — Wärmeleitfähigkeit

**Kurzbeschreibung:** Einer punktförmige Wärmequelle mit konstanter Heizleistung wird durch die Umgebung Wärmeenergie entzogen. Die sich einstellende Aufheiztemperatur des Sensors gibt ein Maß für die Wärmeleitfähigkeit in der Sensorumgebung.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Sonde sollte auf einer Fühlerlänge von 60 mm mit 10 mm des zu prüfenden Materials bedeckt sein; die Materialhärte darf eine obere Einstichfestigkeit nicht überschreiten.

**Einflußgrößen:** Temperaturschwankungen während der Meßzeit (ca. 10 min) sind zu vermeiden; Reibungswärme ist zu vermeiden.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Prädestiniert für Wärmedämmschichten in eingebautem Zustand bzgl. ihrer Funktion. Die Veränderung der Wärmeleitfähigkeit läßt sich detektieren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Der Materialaufbau bzgl. der Wärmeleitfähigkeit ist nachweisbar und damit indirekt eine evtl. vorhandene Stoffeuchtigkeit und deren Verteilung bei Kenntnis der Stoffparameter im trockenen Zustand.

**Bauwerksüberwachung:** Geeignet zur regelmäßigen auszuführenden Überwachung von Bauwerken.

**Bauwerksprüfung:** Die Beantwortung spezifischer Fragestellungen im Zusammenhang mit dem bautechnischen Wärmeschutz ist möglich.

**Bauwerksinstrumentierung:** Keine Anwendungen bekannt.

**Ausführungen:** Gerät für den mobilen Einsatz.

**Entwicklungsstand:** Fertig entwickeltes Gerät.

**Gerätekosten:** von 1400 bis 1600 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Alle bisherigen Versuche, Kurzzeitverfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit in die Betriebspraxis zu überführen, scheiterten u.a. an den Schwierigkeiten bei der praxisgerechten Verwirklichung der zugrunde liegenden mathematischen Voraussetzungen. Die meßtechnische Realisierung der vorliegenden Variante erfordert eine nahezu punktförmige Wärmequelle bei gleichzeitiger Messung der Aufheiztemperatur. Unter der Prämisse einer für den Nutzer preiswerten und der Baupraxis gerecht werdenden Sensortechnik erfolgt die technologische Umsetzung des physikalischen Prinzips mit Hilfe industriell gefertigter thermoelektrischer Halbfabrikate. Für feinkörnige Schüttgüter und Proben geringer Härte, zu denen alle gängigen Wärmedämmstoffe gehören, wird die 120 mm lange und 1,5 mm dicke, mit einer lanzenförmigen Spitze versehenen Sonde mindestens 60 mm tief – ggf. schräg – in das Prüfgut eingeschoben. Bei Prüfgut mit Deckschichten höherer Festigkeit sind diese ggf. vorzubohren.

Bedingt durch die Gestaltung des Fühlers sind die Wärmespeichereffekte nach endlicher Zeit abgeklungen und die Aufheiztemperatur korreliert eindeutig mit der Wärmeleitfähigkeit der Sensorumgebung. In der vorliegenden Geräteausführung erfolgt die digitale Ausgabe der Meßwerte, die einen Bereich von 0,02 - 0,20 mW/m·K umfassen, 10 min nach dem Nullpunktabgleich bzw. Start des Heizstroms.

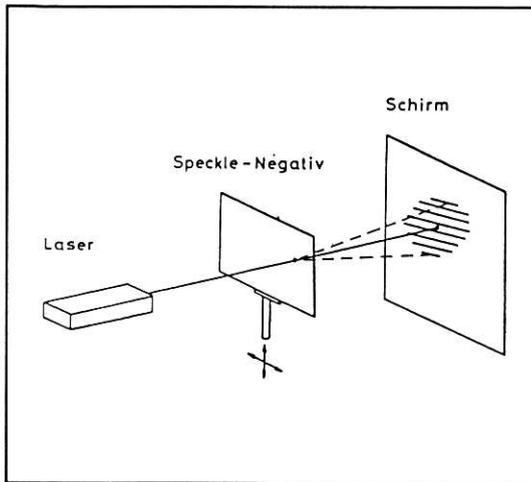
Die Einsatzmöglichkeiten überstreichen einen großen Anwendungsbereich. Abgesehen von der Wareneingangs- und Ausgangskontrolle der gesamten Dämmstoffpalette lassen sich die Wärmeleitfähigkeiten von Wärmeisolierungen im Kühlanlagenbau, im Rahmen der Bauwerksdiagnostik oder bei Fernwärmenetzen praktisch zerstörungsfrei ermitteln. Hier sind besonders Kontrollen im Nutzungszustand unter dem Einfluß vorgegebener und oft sich ändernder Klimarandbedingungen interessant. Gerade diese Untersuchungen macht das Gerät ohne großen Aufwand möglich. Fragen zu Rekonstruktionsvorhaben im Zusammenhang mit der Verbesserung des Wärmeschutzes lassen sich damit schnell auf einer meßtechnischen Grundlage beantworten. Die Nachkontrollen von ortverschäumten Dämmungen sowohl unmittelbar nach der Herstellung als auch während der Nutzung bieten eine weitere Einsatzmöglichkeit.

**Bewertung:** Entgegen den bisher in der Regel für praktische Messungen verwendeten Platten- und Hitzdrahtanordnungen mit schwer realisierbarem eindimensionalen bzw. rotationssymmetrischen Temperaturverlauf in Stoffen geringer Wärmeleitfähigkeit, beruhen die physikalischen Grundlagen des vorliegenden Verfahrens auf der Bearbeitung kugelsymmetrischer bzw. halbkugelförmiger Temperaturfelder.

Die stets unvermeidbaren Abweichungen zwischen theoretischen Voraussetzungen und der Praxis der Betriebsmeßtechnik werden unter dem Einsatz der Mikrorechentechnik weitgehend eliminiert.

Die neue Geräteentwicklung stellt zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen eine Bereicherung dar.

**Literaturhinweise:** 85Häu, 89Häu



keine bildunterschrift

## Laser-Speckle-Photographie

**Stichworte:** *Verformung — Verbund — Rißdynamik*

**Kurzbeschreibung:** Die Interferenzen, die bei Bestrahlung einer Oberfläche mit Laserbestrahlung entstehen, werden photographisch aufgezeichnet. Die Überlagerung von solchen "Speckles" im unbelasteten und belasteten Zustand ermöglicht eine Verformungsmessung.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die zu untersuchende Oberfläche muß mit einem Laser beleuchtbar sein und in deren Nähe eine Kamera anbringbar sein.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist noch wenig in der Baupraxis erprobt, aber bei Fortentwicklung durchaus für Sonderprüfungen einsetzbar.

**Einflußgrößen:**

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:**

**Ausführungen:**

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Rißprüfung und die Untersuchung von Rißbewegungen sind möglich.

**Entwicklungsstand:** Gebräuchliches Laborverfahren in der zerstörungsfreien Prüfung; Einsatz im Bauwesen in der Erprobung.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Das Verfahren ist für die regelmäßig wiederkehrende Überwachung zu aufwendig.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Als verwandtes Verfahren siehe \*Interferometrische Holographie; Alternativen: siehe im Index unter Verformungsmessung.

**Anwendung:** Wenn monochromatische Laserstrahlung mit einer ausreichenden Kohärenzlänge auf eine raue Oberfläche trifft, entsteht durch die diffuse Reflexion und der Interferenz der von unterschiedlichen Punkten reflektierten Wellen ein Interferenzfeld, das auch als Speckle-Feld bezeichnet wird. Ändert sich die Materialbeanspruchung, so entsteht auch ein anderes Speckle-Feld.

Der Vergleich solcher Interferenzfelder gestattet in der Methode der Laser-Speckle-Photographie den Nachweis von kleinen Verschiebungen und Verformungen einer Bauteiloberfläche. Im einfachsten Fall wird ein photographisches Negativ aus der Überlagerung des Interferenzfeldes der unverformten und verformten Oberfläche erzeugt, das eine optische Speicherung des augenblicklichen Verformungszustandes der Oberfläche darstellt.

Das Verfahren wird auch in einer interferometrischen Variante angewendet. Dazu wird analog zu einem Michelson-Interferometer das Specklefeld von zwei Oberflächen in der Bildebene überlagert und dann eines der beiden Objekte verformt. Auf diese Weise wird in der Bildebene eine Verschiebung der "Speckles" registriert und die Verformung gemessen.

Das Verfahren wurde im Bauwesen bereits erfolgreich zur Verformungsanalyse, des Dehnungsverlaufes und der Rißbildungsprozesse an Stahlbetonbauteilen eingesetzt.

**Bewertung:** Die Laser-Speckle-Photographie bietet den großen Vorteil der berührungslosen Messung der Verformung einer Oberfläche. Die Durchführung dieses vergleichsweise aufwendigen Verfahrens bietet sich insbesondere dann an, wenn die Verformung von kleinen Oberflächenbereichen mit großer Empfindlichkeit untersucht werden soll.

Auch bei der Untersuchung von Rißbildungsprozessen in Beton bietet sich das Verfahren an, da sonst auf der Oberfläche angebrachte Sensoren das Ergebnis verfälschen könnten. Es muß jedoch bemerkt werden, daß das Verfahren sich eher zur Erforschung des Verhaltens von Baustoffen in Laborversuchen als zur Untersuchung von Bauwerken eignet.

Gegenüber der \*Holographischen Interferometrie bietet das Verfahren den Vorteil, daß die Kohärenzanforderung an den Laser weniger streng ist, und die Auflösung des Aufzeichnungsmediums (Film) weniger gut sein muß, so daß hier auch schnelle Kameras und Videoaufzeichnung eingesetzt werden können. Die Ortsauflösung des Verfahrens ist dagegen wesentlich geringer als die der \*Holographischen Interferometrie (dort  $\lambda/2$ ).

**Literaturhinweise:** 82Gro, 83Gro, 86Cie, 86Gro, 90Dau



## Laservibrometer

**Stichworte:** *Schwingungsmessung — Brückenverformung — Beschichtung — Bauteildynamik — Befestigungselement*

**Kurzbeschreibung:** Gerät zur Schwingungsanalyse von Bauwerksoberflächen. Zur Bewegungsanalyse des zu untersuchenden Meßpunktes wird die Interferenz eines reflektierten Laserstrahls mit einem entsprechenden Referenzstrahl ausgenutzt.

90Pol

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es ist unbedingt zu beachten, daß nur die Relativbewegung zwischen Laservibrometer und Meßobjekt gemessen wird. Deshalb ist der Beschleunigungszustand des Vibrometers zu überwachen.

**Einflußgrößen:** Standfestigkeit des Laservibrometers, Reflexionsvermögen der Oberfläche.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Labormäßig ausgereiftes, aus verschiedenen Gründen in der Baupraxis aber für Messungen am Bauwerk bisher selten angewandtes Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Ablösung von Schichten, Verankerungszustand von Fassadenplatten.

**Bauwerksüberwachung:** Zur regelmäßigen Überwachung zu aufwendig.

**Bauwerksprüfung:** Zur Prüfung aus besonderem Anlaß vielversprechende, moderne Methode.

**Bauwerksinstrumentierung:** Anwendungen nicht bekannt.

**Ausführungen:** Unterschiedliche Reichweiten und Auflösungen.

**Entwicklungsstand:** Der Einsatz dieses Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen erscheint grundsätzlich möglich, erfordert jedoch noch Entwicklungsarbeit.

**Gerätekosten:** von 60000 bis 400000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Mit Beschleunigungsaufnehmern läßt sich der Schwingungszustand ebenfalls messen, allerdings nicht berührungsfrei.

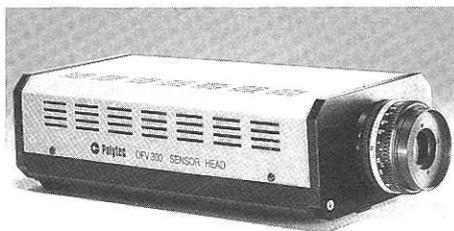
**Anwendung:** Mit einem Laservibrometer kann das Schwingungsverhalten von Körpern berührungslos gemessen werden.

Das Meßprinzip beruht darauf, daß der kohärente Lichtstrahl eines Lasers auf das zu untersuchende Teil gerichtet wird und der reflektierte Strahl mit einem Referenzstrahl zur Interferenz gebracht wird. Aus der Analyse der Interferenzen erhält man dann eine Aussage über das Geschwindigkeits-, Frequenz- und Amplitudenverhalten des untersuchten Meßpunktes. Damit ist eine Bewegungsauflösung von wenigen Nanometern erreichbar und die Aufnahme von Schwingungen in einem großen Bereich von wenigen Hertz bis in den MHz-Bereich möglich. Der Meßabstand umfaßt einen großen Bereich von wenigen Zentimetern bis zu 100 m. Große Meßabstände sind allerdings nur bei gut reflektierenden Oberflächen möglich. Beton und Putz haben aufgrund des kristallinen Anteils prinzipiell gute retroreflektierende Eigenschaften, bei großen Entfernungen ist es allerdings notwendig entsprechende Folien oder Lacke aufzubringen.

Typische Anwendungsbeispiele der Laservibrometrie sind die Untersuchung des Schwingverhaltens von Fahrzeugkarosserien und die zerstörungsfreie Prüfung von rotierenden Maschinenteilen. Im Bauwesen sind bisher nur vereinzelte Anwendungen bekannt geworden. Denkbar ist hier die Messung der Integrität von Plattenverankerungen oder aber Schädigung von Bauwerksoberflächen, insbesondere Fassaden.

Das Laservibrometrie ist von einem der Hersteller (Rank) zum bildgebenden Verfahren erweitert worden. Per interaktiver Rechnersteuerung läßt sich ein Oberflächenbereich auswählen, der punktweise abgerastert wird. Damit können die zweidimensionalen Schwingungsformen für eine vorgewählten Frequenz dargestellt werden.

Die Sicherheitsbestimmungen beim Umgang mit offenem Laserlicht sind zu beachten.



Einpunkt-Meßkopf des Laservibrometers von Polytec

**Bewertung:** Der Einsatz von Laservibrometern hat sich in vielen Bereichen der Technik und der zerstörungsfreien Prüfung bewährt. Die Anwendungen im Bauwesen halten sich bisher in Grenzen, die auch durch den zu geringen Meßabstand bedingt waren. Durch die technische Weiterentwicklung sind jetzt jedoch Reichweiten bis 100 m möglich, so daß Anwendungen speziell zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen entwickelt werden können.

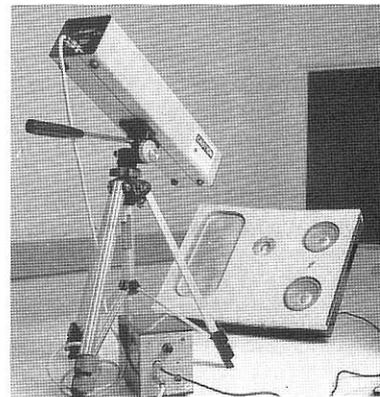
Als Ergänzung zu einem Laservibrometer ist ein Frequenzanalysator (Fouriertransformation, FFT) dringend zu empfehlen.

Die Entwicklung zum bildgebenden Verfahren ermöglichen interessante Anwendungen im Bauwesen. Als Beispiel sei hier die Prüfung der Verankerung von Fassadenplatten und von Betonfertigteilplatten genannt.

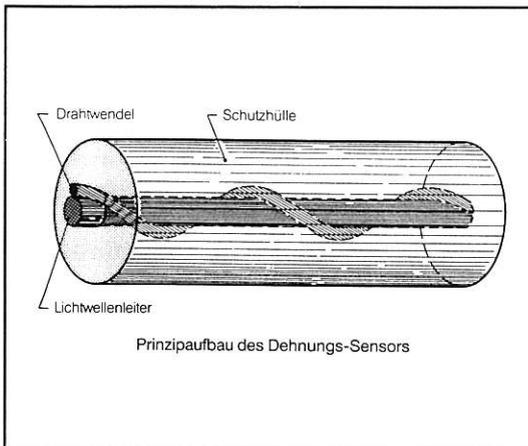
#### Gerätehersteller/-lieferanten:

Brüel und Kjaer  
Dantec Elektronische Meßgeräte GmbH  
Polytec GmbH  
Rank Precision Industries GmbH, GB Rank Taylor  
Hobson

Literaturhinweise: 90Pol



Laservibrometer von Brüel & Kjaer im Einsatz



88Fel

## Lichtwellenleiter

**Stichworte:** Spannstahlbruch — Bewehrungsbruch — Brückenverformung — Verformungsmessung — Längenänderung, Messung der — Rißbreitensensor — Fugen — Spaltweitenänderung

**Kurzbeschreibung:** Lichtwellenleiter (LWL) sind Fasern aus Glas oder Faserverbundwerkstoffen, die Licht leiten und deren Dämpfungseigenschaften von Mikrokrümmungen beeinflusst werden. Das wird zur Konstruktion von Dehnungssensoren ausgenutzt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Langzeituntersuchung

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Lichtwellenleiter müssen für den Einsatz schon bei der Planung berücksichtigt werden. Zur Kontrolle von Verformungen und Rißbewegungen können die LWL auch auf die Konstruktion geklebt werden.

**Einflußgrößen:** Alterung der Lichtwellenleiter; Alkalische Umgebung greift den LWL an.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Eignet sich zur Überwachung von gespannter Bewehrung auf Bruchstellen. Als Detektor für Risse im Beton noch in der Erprobung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Spannstahlbruch. Unter geeigneten Voraussetzungen können auch Rißbildungen in der Konstruktion bzw. Zonen starker Verformung erkannt werden.

**Bauwerksüberwachung:** Unter der Voraussetzung der Berücksichtigung bei der Konstruktion des Bauwerks sind die LWL zur regelmäßigen Bauwerksüberwachung geeignet.

**Bauwerksprüfung:** Siehe Rubrik "Bauwerksüberwachung".

**Bauwerksinstrumentierung:** Lichtwellenleiter bieten sich hierfür geradezu an. Ihre Anwendung befindet sich aber noch in der Erprobung; prinzipiell für die Langzeitbeobachtung geeignet.

**Ausführungen:** Fasern mit Single- und Multimode kommen zum Einsatz.

**Entwicklungsstand:** Verfahren im Entwicklungsstadium, erste Anwendungen in der Erprobung.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Alternativen: \*Verformungsmessung, \*Schwingungsanalyse am Bauwerk.

**Anwendung:** Für Anwendungen im Bauwesen werden Lichtwellenleiter (LWL) als Dehnungssensoren zur empfindlichen Längenänderungsmessung eingesetzt. Das Prinzip funktioniert dabei wie folgt (s. a. Abb. S.1): Im Bereich von Krümmungen der Lichtwellenleiter treten Streuverluste auf. Diese Krümmungen werden durch eine die LWL-Faser umgebende Drahtwendel hervorgerufen, die einen radialen Druck erzeugt. Eine Längenänderung des Sensors verändert diesen äußeren Druck und damit die Krümmung und die Lichtdämpfung. Die Lichtdämpfung wird über die Ankopplung von Lasern gemessen, womit sich Längenänderungen im Bereich von 10 µm nachweisen lassen.

Anwendungen sind Rißbreitensensoren, Verformungsmessung und Erdankerüberwachungen.

Zur Spannstahlüberwachung werden die Spannelemente mit derartigen Dehnungssensoren vor dem Betonieren umwickelt. Ein gebrochener Spannstahl wird sich wegen des fehlenden Zugs entspannen und dabei den LWL dehnen bzw. seitlichen Druck ausüben. An der Bruchstelle kommt es zu einer erhöhten Dämpfung für durch den LWL gesandtes Licht, ein Teil wird sogar reflektiert. Ultrakurze Lichtpulse gestatten daher die Ortung solcher Dämpfungsstellen mit einer Genauigkeit im Sub-cm-Bereich durch die Messung der Zeit zwischen der Absendung des Lichtpulses und der Registrierung des Reflexes.

Ein Rißbreitensensor kann nachträglich auf der Bauwerksoberfläche angebracht werden und ermöglicht die Überwachungsmessung der Rißbreite in einem Erfassungsbereich von 10 mm.

Zur Messung der Verformung und Verbiegung

**Bewertung:** Die Anwendung des LWL als Dehnungssensor eröffnet neue Möglichkeiten einer kontinuierlichen Bauwerksüberwachung durch Instrumentierung. Insbesondere stellt sie eine der wenigen Möglichkeiten dar, Spannstahl auf Brüche zu kontrollieren. Sie eignet sich aber nicht zur Prüfung von Bauwerken, bei denen Spannstähle ohne LWL-Sensoren verbaut wurden.

Noch liegen wenig Erfahrungen mit diesem Überwachungsverfahren vor, insbesondere die Veränderung des LWL durch Alterung ist noch nicht ausreichend geklärt.

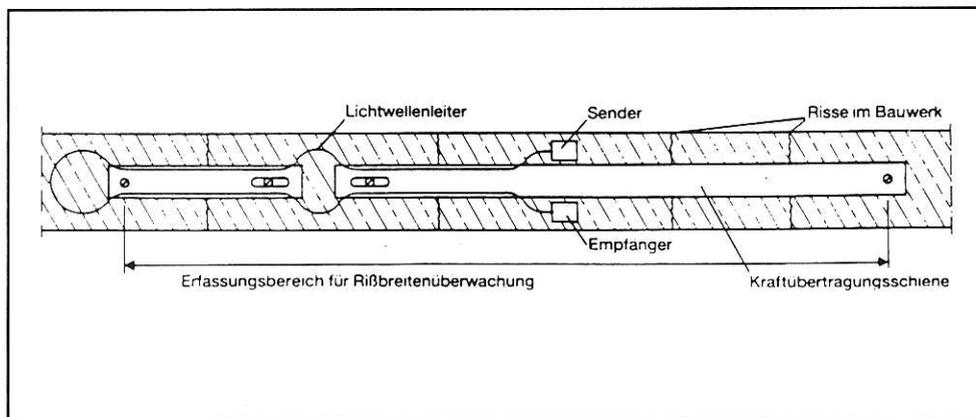
Wegen der hohen Kosten der Apparaturen zur Messung und der anderen Randbedingungen wird dieses Verfahren sicher nur bei ausgewählten Spannbetonbauwerken zum Einsatz kommen.

Die Anwendungen zur Rißbreitenmessung und Verformung ergänzen die schon bekannten Verfahren und bieten sich insbesondere dann an, wenn eine Instrumentierung des Bauwerks mit dem Ziel der kontinuierlichen Überwachung sinnvoll ist.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Felten & Guillaume Energietechnik AG  
SICOM Gesellschaft für Sensor- und Vorspanntechnik mbH  
STRABAG BAU-AG

**Literaturhinweise:** 84Ker, 88Fel, 88STR, 89LOT, 90Sic, 91Mie, 91Spe1, 91Wol



Prinzip des Rißbreitensensors: Die Lichtdämpfung ist abhängig von der Krümmung des Lichtwellenleiters und ist damit ein Maß für die Rißbreite /91Mie/

wird ein Bündel von Lichtleitern mit unterschiedlichen Längen in ein Bohrloch eingebracht. Eine Krümmung erzeugt dann eine Änderung der Wegdifferenz zwischen den unterschiedlichen Enden des Bündels. Dieses Prinzip kann z.B. zur Erdankerüberwachung eingesetzt werden.



90Hoc

## Magnetische Rißortung in Spannstählen

**Stichworte:** *Spannstahlbruch — Magnetische Verfahren — Bewehrungsbruch — Rißerkennung*

**Kurzbeschreibung:** Die extern erzeugte Magnetisierung von Spannstählen weist an Bruchstellen eine Verzerrung des magnetischen Feldes durch einen Polwechsel auf. Eine Messung der Feldstärkenverteilung auf der Oberfläche ermöglicht so eine Ortung der Risse.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die zu untersuchenden Spannstähle dürfen nicht durch schlaife Bewehrung verdeckt sein.

**Einflußgrößen:** Schlaife Bewehrungen, jegliche magnetische Materialien, stromführende Kabel

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Wegen der Beschränkung auf Spannstähle, die ohne Hüllrohr verlegt wurden, nur in wenigen Spezialfällen einsetzbar.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Rißerkennung ist möglich.

**Bauwerksüberwachung:** Für die laufende Überwachung zu aufwendig.

**Bauwerksprüfung:** Anwendung nur bei gezielter Fragestellung sinnvoll (Prüfung aus besonderem Anlaß).

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** In der einfachsten Ausführung Magnetisierungsjoch mit Kompaßnadel; in aufwendigeren Ausführungen mit selbstfahrendem Schlitten, Hall-Sonden und automatischer Meßdatenerfassung und -auswertung.

**Entwicklungsstand:** Neu entwickeltes Verfahren, auf dem Markt verfügbar.

**Gerätekosten:** von 1000 bis 50000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Alternativ zur hier genutzten remanenten Magnetisierung des Spannstahls und des Nachweises des remanenten Rißstreufeldes kann eine Weiterentwicklung zum Rißnachweis genutzt werden; s. \*Bewehrungsprüfgerät (Streuflußmessung).

**Anwendung:** Das Verfahren ermöglicht die Ortung von Rissen in Spannstählen, die wie beim Stahlsaitenbeton unmittelbaren Kontakt zum umgebenden Tragbeton haben, d.h. die Spannstähle dürfen nicht in metallischen Hüllrohren verlaufen.

Die Spannstähle werden mit einem U-förmigen Joch magnetisiert (Remanenzmagnetismus), das längs der Verlaufsrichtung der Stähle auf der Betonoberfläche entlanggeführt wird. Mit einem anschließend über den Meßbereich geführten Magnetfelddetektor, z.B. einer Hallsonde, wird dieses Magnetfeld der Spannstähle ausgemessen. An Rissen im Spannstahl kommt es zu einem Polwechsel, wodurch eine Richtungsänderung des Magnetfeldverlaufes auftritt. Diese Änderung des Magnetfeldverlaufes kann im einfachsten Fall sogar mit einer Magnetnadel nachgewiesen werden. Dieser Polaritätswechsel wird zur Ortung der Risse ausgenutzt.

In der Praxis ist ein Meßwerterfassungssystem sinnvoll, das mehrere Meßkanäle gleichzeitig aufnimmt, und mit einem mit einer Führungsschiene gekoppelten Wegaufnehmer eine automatisierte Ortsaufzeichnung ermöglicht. Darüber hinaus hat es sich bewährt, gleichzeitig zur Normal- auch die Tangentialkomponente zu messen. Dadurch entsteht Redundanz in den entsprechenden Streuflußortskurven, was durch algorithmisierte Mustererkennung in diesen Ortskurven den Nachweis der Risse erleichtert und absichert.

Das Verfahren wurde erfolgreich zur Ortung von Brüchen in unverhüllten Spannstählen in Spannbeton-Deckenträgern von Viehställen eingesetzt.

Prinzipiell ist es möglich, die Risse auch durch Hüllrohre hindurch nachzuweisen /91Dob/. Es gibt eine Abschirmwirkung durch entmagnetisierende Felder, die den Nachweis erschwert, jedoch wirkt das Rohr als Faraday'scher Käfig nur auf magnetische Wechselfelder. So konnte unter Laborbedingungen ein Spannstahlbruch in einem Hüllrohr mit entsprechend empfindlichen Sonden nachgewiesen werden. In der Praxis ist das Hüllrohr allerdings mit einer dicken Betonschicht bedeckt und wird von einem dichten Käfig schlaffer Bewehrung umgeben. Diese schlaffe Bewehrung wird ebenfalls magnetisiert und überlagert sich mit dem Feld des Hüllrohrs und der darin befindlichen Spannstähle. Ob es möglich sein wird in einer solchen Situation den Beitrag des Spannstahls zum Gesamtmagnetfeld zu extrahieren ist zumindest zweifelhaft.

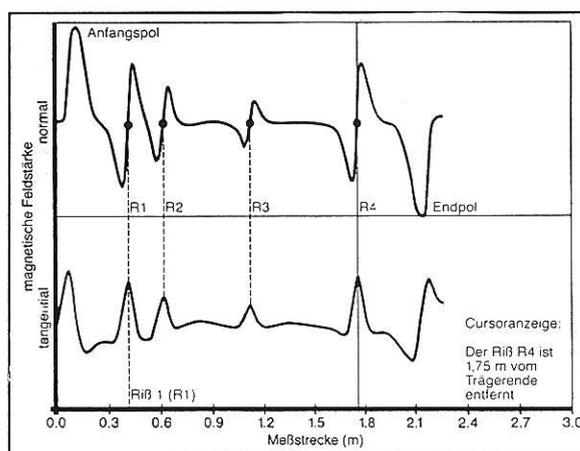
**Bewertung:** Der Hauptanwendungsbereich des Verfahrens liegt in der Untersuchung von unverhüllten Spannstählen.

Die Ausführung des Verfahrens mit einer Sensorleiste entspricht der Entwicklung zu einem bildgebenden Verfahren. Es ist ebenso für das \*Bewehrungssuchgerät (Streuflußmessung) von Bedeutung.

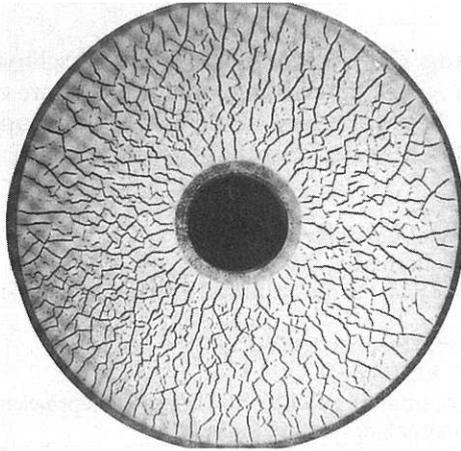
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Hochtief AG  
ecoTech, G.F. Behre, Umwelt-Meßsysteme

**Literaturhinweise:** 89Hil, 90Flo, 90Hoc, 91Flo



Die magnetische Feldstärke (qualitativ) über der Längsachse eines remanent magnetisierten Spanndrahts. Die obere Kurve zeigt die Polwechsel, die untere die Streuflußmaxima am Riß /90Flo/



88Klu

## Magnetpulverprüfung

**Stichworte:** *Magnetische Verfahren — Stahlkonstruktion — Rißerkennung — Induktion, magnetische — Magnetischer Gleichfeld-Fluß*

**Kurzbeschreibung:** Zum Erkennen von Rissen in Stahlkonstruktionen: Die (magnetisierbaren) Eisen- oder Stahlteile werden mit einem Elektromagneten magnetisiert und der Flußlinienverlauf mit aufgespritzten Eisenspänen kontrolliert.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die zu untersuchenden Eisen- bzw. Stahlträger müssen direkt mit den Polschuhen des Elektromagneten in Berührung gebracht werden können und frei zugänglich sein.

**Einflußgrößen:** Magnetfelder, stromführende Kabel in der Nähe der Meßstelle.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für den Einsatz vor Ort an Stahlkonstruktionen.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Rißerkennung, Rißprüfung (Rißfortschritt, Rißbreite und -länge)

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl geeignet für in angemessenen Zeitabständen zu wiederholende Hauptprüfung als auch zur Sonderprüfung (Prüfung aus besonderem Anlaß).

**Bauwerksinstrumentierung:**

**Ausführungen:** Benötigt wird: Elektromagnet, kleine Eisenteile in Form eines Sprays.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren; Prüfrichtlinie: DIN 54 131.

**Gerätekosten:** von 10 bis 1000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Das hier beschriebene Rißprüfverfahren arbeitet nach dem Prinzip der magnetischen Induktion und dient zur Erkennung von kleinen Rissen in Oberflächen von Stahlkonstruktionen. Das zu untersuchende Stahl- oder Eisenteil wird mit einem Elektromagneten (mit Polschuhen) magnetisiert. Im Zustand der Magnetisierung werden sehr feine Eisenteile auf die Oberfläche gesprüht. Diese Eisenteile richten sich entlang der magnetischen Flußlinien aus und markieren dadurch auf der Oberfläche das magnetische Feld. Risse und andere Inhomogenitäten stören den typischen Verlauf der magnetischen Flußlinien und werden dadurch sichtbar.

Für bestimmte Anwendungsfälle kann das Magnetfeld auch durch einen elektrischen Strom in geeigneter Richtung erzeugt werden.

**Bewertung:** Das Verfahren ist z.B. im Maschinenbau oder zur Untersuchung von insbesondere dynamisch beanspruchten Teilen von Flugzeugen und anderen Verkehrsmitteln altbekannt und erprobt.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Bluhm & Feuerherdt

DIFFU-THERM, Helmut Klumpf, Technische Chemie GmbH

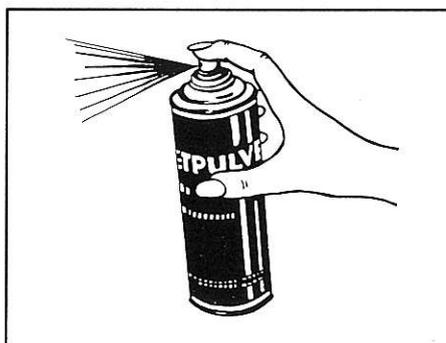
FORM+TEST Seidner & Co. GmbH

HELLING KG (GmbH & Co.)

Helling Kommanditgesellschaft für Industrieprojekte und Anlagenbau (GmbH & Co.)

Emil Schneider GmbH & Co.KG

**Literaturhinweise:** 88Klu, 90DGZ



Magnetpulver-Zerstäuberdose (Emil Schneider GmbH & Co.KG)



89Ger

## Mikroklima-Bestimmung

**Stichworte:** Anemometer — Hydratationswärme — Bauwerkshaut — Umwelteinflüsse — Luftfeuchtigkeit, relativ — Beschichtung — Hygrometer — Hygrothermometer — Mikromanometer

**Kurzbeschreibung:** Bestimmung von Klimadaten wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Taupunkttemperatur, Windgeschwindigkeit in unmittelbarer Nähe und in unterschiedlichen Bereichen des Bauwerks.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Hilfsgerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Witterungsbedingungen können das Ergebnis stark beeinflussen.

**Einflußgrößen:** Vielfältige Einflußparameter, Meßzeit muß optimiert werden, Meßgerät darf Prüfbereich nicht signifikant beeinflussen (z.B. durch Wärmeentzug bei Temperaturmessung).

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Die Kenntnis des Mikroklimas ist für die Beurteilung von Schadensphänomenen oft von erheblicher Bedeutung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:**

**Bauwerksüberwachung:** Bei speziellen Fragestellungen liefert das Verfahren Meßdaten, die bei Auswertung über einen längeren Zeitraum für die Beobachtung des Bauwerks wichtig sind.

**Bauwerksprüfung:** Siehe Eintrag zur Bauwerksdiagnose.

**Bauwerksinstrumentierung:** Geeignet für die Fernüberwachung.

**Ausführungen:** Geräte zur Messung jeweils einer Kenngröße und Kombinationsgeräte.

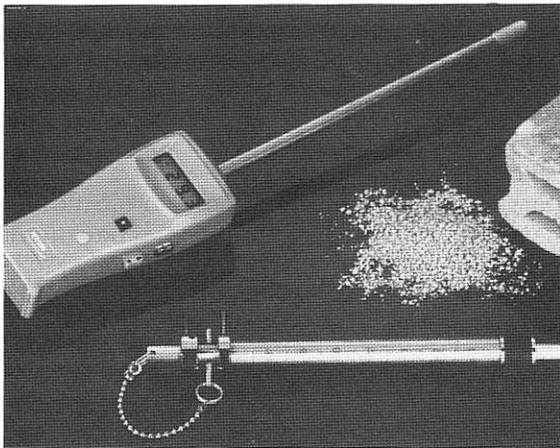
**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes Untersuchungsverfahren

**Gerätekosten:** von 200 bis 13000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Zur Bestimmung des Mikroklimas gehört die Messung der folgenden Kenngrößen: Temperatur der Bauwerksoberfläche, Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Taupunkt-Temperatur sowie Windgeschwindigkeit und -richtung.

Für diese Meßgrößen wird eine Fülle von mehr oder weniger komfortablen Geräten angeboten, die häufig eine Kombinationsmessung der unterschiedlichen Größen ermöglichen. Für Langzeitüberwachungen oder die Auswertung von vielen Meßpunkten ist eine elektronische Datenaufzeichnung sinnvoll.



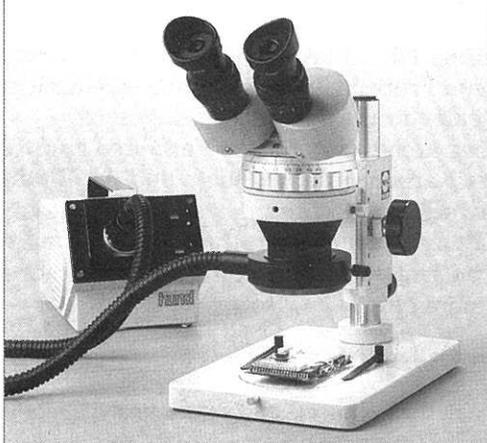
Feuchte- und Temperaturmessung von Beton  
/90Rot/

**Bewertung:** Die Kenntnis des Mikroklimas am Bauwerk ist für die Beurteilung insbesondere von Feuchtigkeits- und Korrosionsphänomenen von Bedeutung. Je nach Umfeld wie umgebende Bebauung, geometrische Gliederung der Bauwerks-hülle durch Vorsprünge usw., können in Teilbereichen des Bauwerks die Unterschiede im Mikroklima örtlich und tageszeitlich ganz erheblich sein. Bekannt sind z.B. große Temperaturunterschiede bei Brückenober- und -unterflächen in Abhängigkeit von der Gestalt des Brückenquerschnitt.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Josef Freundl  
 ABB Industrie und Automation AG  
 ASM GmbH, Automation Sensorik Meßtechnik  
 Ahlborn Meß- und Regelungstechnik  
 Airflow Lufttechnik GmbH  
 Althen Meß- und Datentechnik GmbH  
 Bluhm & Feuerherdt  
 Driesen + Kern GmbH  
 Elcometer Instruments GmbH  
 Endress + Hauser GmbH  
 FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
 Geraberger Thermometerwerk GmbH  
 Itronic-Fuchs GmbH  
 JMS Jörg-Michael Schlender  
 M.K. Juchheim GmbH & Co.  
 Merz & Klasmeier GmbH, Temperaturmesstechnik  
 Pabisch GmbH & Co.KG, W., Vertrieb wissenschaftlicher Instrumente  
 Panametrics GmbH  
 Rotronic Messgeräte GmbH  
 Sensycon, Gesellschaft für industrielle Sensorsysteme und Prozeßleittechnik mbH  
 Solomat Verkaufsbüro  
 TESTEM, Ges. f. Meß- und Datentechnik mbH  
 Thermo Electric GmbH  
 Ultrakust electronic GmbH  
 Universal Elektronik Handelsgesellschaft m.b.H.  
 Vaisala Oy  
 Peter Walter OHG  
 Ziegler-Instruments GmbH  
 ecoTech, G.F. Behre, Umwelt-Meßsysteme

**Literaturhinweise:** 82Die, 89Ger, 90Rot



90Hun

## Mikroskopie, optische

**Stichworte:** *Probenahme — Videomikroskop — Porengehalt*

**Kurzbeschreibung:** Gerät zur visuellen Untersuchung sehr kleiner Strukturen an Probenmaterial.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Vorbereitung der Prüffläche; zumeist Bohrkernentnahme zur Untersuchung von Proben im Labor.

**Einflußgrößen:**

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Wird nur in Spezialfällen eingesetzt.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Dient in Einzelfällen zur Untersuchung der Materialstruktur und der Materialzusammensetzung. Mit Polarisationsfiltern sind karbonatisierte Bereiche zu identifizieren.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen regelmäßiger Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Auflicht-, Durchsicht-, Stereo-, Video- oder Polarisationsmikroskop.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Die Mikroskopie wird in ihrer klassischen Form der optischen Vergrößerung von beleuchteten Oberflächen zum Erkennen der Materialstruktur wie Kornaufbau, Porengehalt, Anteil und Verteilung von Bestandteilen vor allem in Verbundbaustoffen eingesetzt und in speziellen Fällen zur Schadensanalyse am Bauwerk herangezogen. Auch werden hierdurch z.B. der Risverlauf, Rispitzen, Kornablsungen, Porensysteme o. besser sichtbar. Häufig wird hierzu vor der Probenahme Kunstharz in den entsprechenden Bereich injiziert, um so die ursprüngliche Materialstruktur zu fixieren. Auf diese Weise ist speziell die Messung von Ristiefen möglich.

Soll die Untersuchung unmittelbar am Bauwerk erfolgen, was sehr selten ist, so empfiehlt es sich, besonders bei der Untersuchung mineralischer Baustoffe, die Oberfläche vorher glattzuschleifen. Verbreitet sind auch Stereomikroskope zur dreidimensionalen Betrachtung. Foto- oder CCD-Kameraanschlu sind zur Dokumentation und Unterstützung der Auswertung sinnvoll.

Die Durchsicht-Mikroskopie wird in manchen Fällen zur Analyse von dünnen mineralischen Proben, die dem Bauwerk entnommen, gesägt, geschliffen und präpariert wurden, herangezogen. Karbonatisierte Bereiche lassen sich im Polarisations-Mikroskop identifizieren.

Eine technische Entwicklung, die auch die Untersuchung in Hohlräumen und Bohrlöchern ermöglicht, ist das Video-Mikroskop. Dabei handelt es sich im Prinzip um ein Endoskop mit entsprechenden Optiken, die einen Vergrößerungsfaktor bis 500 ermöglichen. Zur Untersuchung wird ein Tastkopf auf die zu prüfende Stelle gesetzt, wobei die Beleuchtung über Lichtleiter erfolgt. Die Bildaufnahme und Übertragung ist wie beim \*Endoskop mit einer CCD-Kamera möglich, und die Bildspeicherung kann auf einem Videorekorder erfolgen. Für die Auswertung der Bilder ist es hilfreich, daß über die Tiefenschärfe ein dreidimensionaler Eindruck entsteht.

**Bewertung:** Die Mikroskopie wird zur Untersuchung von Proben häufig, aber nur vereinzelt für die Untersuchung am Bauwerk eingesetzt.

Solange keine ausgereiften Verfahren zur Messung der Karbonatisierungstiefe und der Ristiefe am Bauwerk zur Verfügung stehen oder diese im Einzelfall zu aufwendig erscheinen, ist die mikroskopische Untersuchung von Proben zu diesem Zweck sinnvoll.

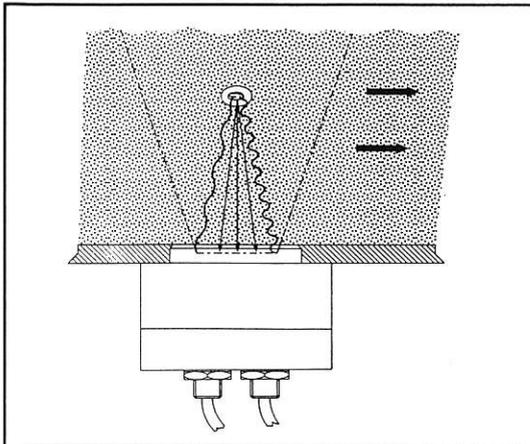
**Gertethersteller/-lieferanten:**

Al Tektron Mess-Systeme GmbH

Gesellschaft für Sediment- und Wasseranalytik mbH (SEWA)

Helmut Hund GmbH

**Literaturhinweise:** 80Kle, 89Men, 90Hun



89Ana

## Mikrowellen-Reflexion

**Stichworte:** Mikrowellen — Radar — Schichtdicke — Spannungsglieder, Lage der — Bauwerkshaut — Impuls-Radar — Beschichtung — Feuchteverteilung — Feuchtegehalt

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zur Feuchtemessung und Fehlstellenortung in Nichtmetallen. Basiert auf dem Prinzip der Reflexion elektromagnetischer Wellen im Mikrowellenbereich.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Beim Einsatz dieses Verfahrens vor Ort ist auf die Bestimmungen der Bundespost beim Betrieb von Sendeanlagen zu achten.

**Bauwerksprüfung:** Am Bauwerk ist das Verfahren noch wenig in der Praxis erprobt, aber durchaus sowohl für Sonderprüfungen aus besonderem Anlaß als auch bei in angemessenen Zeitabständen zu wiederholenden Untersuchungen einsetzbar.

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung ungeeignet, derartige Anwendung nicht bekannt.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Untersuchungsobjekt vor Ort sind einzelne Teile der Gesamtkonstruktion.

**Ausführungen:** Unterschiedliche Frequenzbereiche, Breitband, Schmalband, Wobbelgeneratoren. Weitgehend gleiche Ausstattung wie für \*Mikrowellen-Transmission.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Untersuchung des Materialzustandes als zeitabhängige Größe, der nicht durch mechanische Einwirkung verändert wird (Feuchte); ebenso Fehlstellenortung an Betonkonstruktionen.

**Entwicklungsstand:** Der Einsatz dieses Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen erscheint grundsätzlich möglich, erfordert jedoch noch erhebliche Entwicklungsarbeit.

**Gerätekosten:** von 20000 bis 200000 DM

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich für die Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Diese Methode benutzt z.T. dieselben apparativen Komponenten wie das Mikrowellen-Transmissions-Verfahren. Zum Teil auch als \*Radar bezeichnet, weitere Anwendungen siehe dort.

**Anwendung:** Die Mikrowellen-Reflexion wird vornehmlich zum Feuchtenachweis, zur Ortung von Fehlstellen, zur Schichtdickenmessung sowie von Schichtablösungen in Fahrbahndecken eingesetzt (weitere Anwendungen siehe unter \*Radar; die Begriffsabgrenzung ist nicht eindeutig).

Zum Feuchtenachweis wird die in einem Bauwerk enthaltene Feuchtigkeit über die Reflexion der elektromagnetischen Strahlung im Mikrowellenbereich an den Wassermolekülen nachgewiesen. Diese Methode eignet sich nur für nichtmetallische Werkstoffe, da an Metalloberflächen die Mikrowellenstrahlung totalreflektiert wird. In mineralischen Werkstoffen ist jedoch die Grundabsorption und -reflexion des trockenen Materials relativ klein, und so kann ein besonders empfindlicher Nachweis der Feuchtigkeit in oberflächennahen Schichten erwartet werden. Auf der anderen Seite dringen die Mikrowellen aber auch erheblich (Anhaltswert 20 cm) in den trockenen Baustoff ein, so daß sich die Feuchtigkeit auch in tieferliegenden Bereichen nachweisen läßt.

Der Frequenzbereich der Mikrowellen, der für den Nachweis von Feuchtigkeit geeignet ist, erstreckt sich über den Bereich der dielektrischen Absorption der Wassermoleküle, also etwa über den Frequenzbereich von 1 bis 20 GHz (das entspricht Wellenlängen von 30 bis 1.5 cm). Schwierigkeiten können bei der Anwendung des Verfahrens entstehen durch die Ankopplung des Mikrowellenresonators an das Bauwerk (da mit einem offenen Resonator gearbeitet werden muß, wenn der Sensor nicht direkt auf der Materialoberfläche positioniert ist), sowie im Falle von Beton, wenn die Korngröße der Zuschläge die Größenordnung der Wellenlänge erreicht. Hier werden erfolgreich Wobbelgeneratoren eingesetzt.

Zur Fehlstellenortung auf Betonfahrbahndecken ist das Verfahren von einem fahrenden Wagen heraus eingesetzt worden, das Meßprinzip ist mit der Feuchtemessung identisch. Wird eine metallisch reflektierende Folie beim Bau der Straße mitverlegt, sind auch kontrollierende Dickenmessungen möglich.

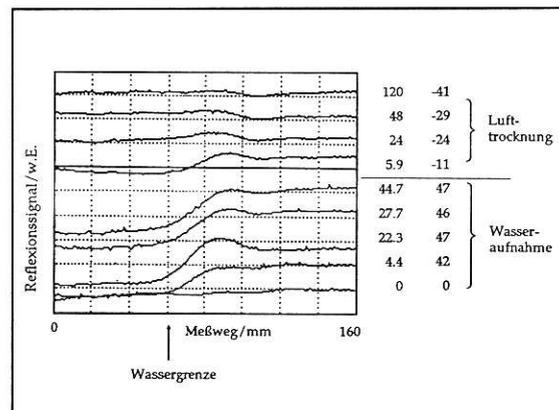
**Bewertung:** Die Anwendung der Mikrowellenreflexion zur Feuchtemessung am Bauwerk befindet sich im Stadium der Entwicklung. Die bisher erhaltenen vielversprechenden Ergebnisse lassen eine sinnvolle Nutzung dieser in anderen Bereichen häufig verwendeter Technik erwarten.

Die Erfolge bei der Messung von Fahrbahndecken lassen das Verfahren auch sinnvoll für die Schichtdickenmessung und Ortung von Fehlstellen in Betonkonstruktionen erscheinen.

Bei den bisherigen Verfahren wird nur ein Bruchteil der möglichen Information, die die Probe bei der Mikrowellenbeaufschlagung liefert genutzt. Die frequenzselektive Abtastung und gleichzeitige Messung und Auswertung von Betrag und Phase des reflektierten Signals mit Hilfe eines Netzwerkanalysators erlauben Aussagen zu den Eigenschaften des oberflächennahen Volumens ( $\epsilon$ , Feuchte, Fehlstellen). Besonders bei Betonwerkstoffen ist mit einem Entwicklungspotential zu rechnen.

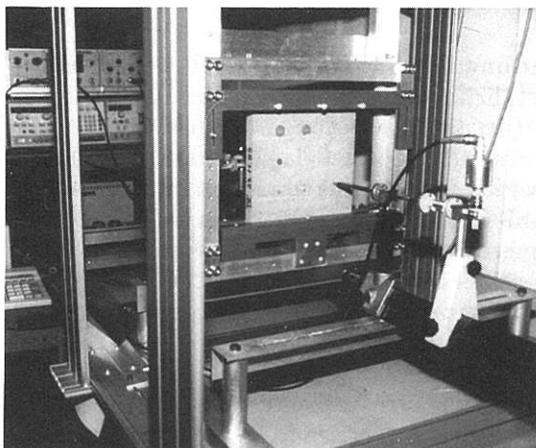
#### Gerätehersteller/-lieferanten:

ALS Analytical Laboratory Systems GmbH  
Hewlett-Packard GmbH, Vertriebszentrale Deutschland  
Scientific Atlanta GmbH



Feuchtemessung an Mörtelplatten mit Mikrowellen (BAM 6.220).

**Literaturhinweise:** 77Wit, 78Kal, 84OlV, 85Osu, 86Bou, 86Wit, 88Dan, 88Osu, 89Ana, 89Sch7, 90Kup, 90NTZ, 91Ill, 91Wit, 91Wit1, 91Wit2, 91Wit3



90BAM1

## Mikrowellen-Transmission

**Stichworte:** Mikrowellen — Feuchteverteilung — Feuchtegehalt

**Kurzbeschreibung:** Für Nichtmetalle: Verfahren zur Durchstrahlungsprüfung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen im Mikrowellenbereich.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Durchstrahlung des zu untersuchenden Bauteils muß möglich und die Schicht-, bzw. Wanddicke genau meßbar sein. Beim Einsatz vor Ort sind die Bestimmungen der Bundespost beim Betrieb von Sendeanlagen zu beachten.

**Einflußgrößen:** Geometrische Größe von Inhomogenitäten des Baustoffs, z.B. Korngrößen des Betonzuschlages.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Wegen der Nebenbedingung der Durchstrahlung nur in wenigen Spezialfällen einsetzbar.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Für den Materialzustand als zeitabhängige Größe, der nicht durch mechanische Einwirkung verändert wird (Feuchte).

**Bauwerksüberwachung:** Nach einer speziellen Weiterentwicklung für Messungen am Bauwerk durchaus für Untersuchungen aus besonderem Anlaß einsetzbar.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren für die Praxis am Bauwerk noch wenig erprobt, aber im Prinzip einsetzbar.

**Bauwerksinstrumentierung:** Anwendungen nicht bekannt.

**Ausführungen:** Geräte mit unterschiedlichem Frequenzbereich, Breitband, Schmalband; auch als Wobbelgenerator.

**Entwicklungsstand:** Der Einsatz dieses Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen erscheint grundsätzlich möglich, erfordert jedoch noch erhebliche Entwicklungsarbeit.

**Gerätekosten:** von 80000 bis 120000 DM

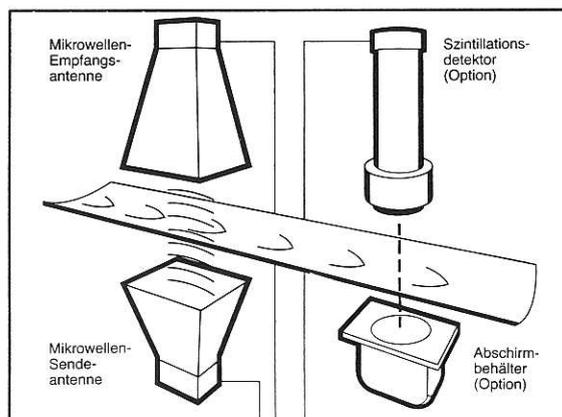
**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Für den Einsatz in der industriellen Fertigung existieren Feuchtemeßgeräte als vollständige Anlage auf Basis der Mikrowellen-Transmission.

**Anwendung:** Die Mikrowellen-Transmission wird zur quantitativen Feuchtebestimmung eingesetzt.

Die Messung basiert auf dem Prinzip, daß die Transmission durch den durchfeuchteten Bereich gemessen, daraus die Absorption berechnet, mit entsprechenden Kalibrierkurven verglichen und daraus die Feuchte berechnet wird. Die Meßgenauigkeit hängt vom Material ab, Werte bis zu Bruchteilen von Prozenten der relativen Feuchtigkeit sind möglich.

Zur genauen Bestimmung müssen die Dicke und die Dichte des durchstrahlten Materials sehr genau bekannt sein, worin die Schwierigkeit einer Anwendung dieses Verfahrens im Bauwesen liegt. Geräte zur Feuchteüberwachung in der industriellen Fertigung verfügen z.T. über eine Möglichkeit zur Messung der Materialdichte mit radiometrischen Methoden (Gammastrahlung).

Mikrowellen-Transmissionsverfahren werden auch zur Kontrolle des Feuchtegehaltes bei der Produktion von Baustoffen eingesetzt.



Mikrowellentransmission (Schematische Darstellung) von Berthold

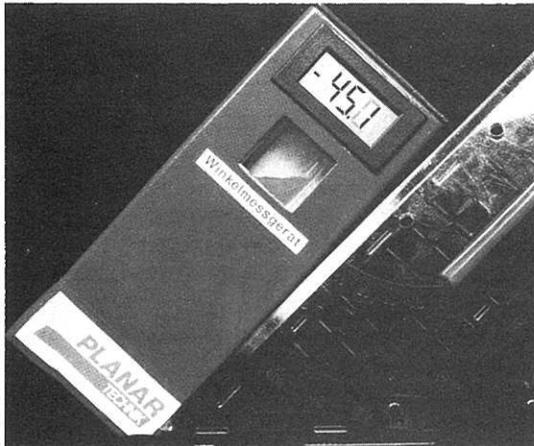
**Bewertung:** Obwohl die Mikrowellen-Technik ein beträchtliches Potential für den Einsatz im Bauwesen hat, ist die Anwendung in Transmission durch die Notwendigkeit, daß das Untersuchungsobjekt von beiden Seiten zugänglich sein muß, stark eingeschränkt. Ein weiteres Problem ist, daß die Zugschläge von Beton in der Größenordnung der Wellenlänge der Mikrowellen liegen (cm-Bereich). Dadurch kommt es zur wellenlängenabhängigen Streuung, wodurch ein Meßeffect vorgetäuscht werden kann. Erst der Einsatz von Wobbelgeneratoren oder großen Antennen führt hier eventuell zum Erfolg. Entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeit wird z.Z. geleistet.

Bei den bisherigen Verfahren wird nur ein Bruchteil der möglichen Information, die die Probe bei der Mikrowellenbeaufschlagung liefert genutzt. Die frequenzselektive Abtastung und gleichzeitige Messung und Auswertung von Betrag und Phase des reflektierten Signals mit Hilfe eines Netzwerkanalysators erlauben Aussagen zu den Eigenschaften des oberflächennahen Volumens ( $\epsilon$ , Feuchte, Fehlstellen). Besonders bei Betonwerkstoffen ist mit einem Entwicklungspotential zu rechnen.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Prof. Dr. Berthold  
Hewlett-Packard GmbH, Vertriebszentrale Deutschland  
Scientific Atlanta GmbH

**Literaturhinweise:** 77Wit, 78Kal, 84Olv, 86Bou, 86Wit, 88Dan, 89Sch7, 90BAM1, 90Fis, 90Kup, 91Kup, 91Sch6, 91Wit, 91Wit1, 91Wit2, 91Wit3



90Fid

## Neigungssensor

**Stichworte:** *Brückenverformung — Verformungsmessung — Schwingsaitenaufnehmer*

**Kurzbeschreibung:** Gerätegruppe zur Messung kleiner Winkeländerungen; Einsatz vorwiegend für die \*Verformungsmessung.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Hilfsgerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Langzeituntersuchung

### Nebenbedingungen für den Einsatz:

**Bauwerksprüfung:** Zum Einsatz für in angemessenen Zeitanständen zu wiederholende Hauptprüfungen als auch für Sonderprüfungen geeignet.

### Einflußgrößen: Erschütterungen

**Bauwerksinstrumentierung:** Derzeit noch keine diesbezügliche Anwendung, im Prinzip aber möglich.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für die Durchführung von \*Verformungsmessungen ein sehr wesentliches Meßgerät.

**Ausführungen:** Geräte basierend auf unterschiedlichen Techniken: Dünnschichttechnik, Schwingsaitentechnik (\*Schwingsaitenaufnehmer), Festkörpertechnik.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Entfällt, da andere Aufgabenstellung.

**Entwicklungsstand:** Sowohl ausgereifte Geräte als auch Neuentwicklungen.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Wird verwendet zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Untersuchungen.

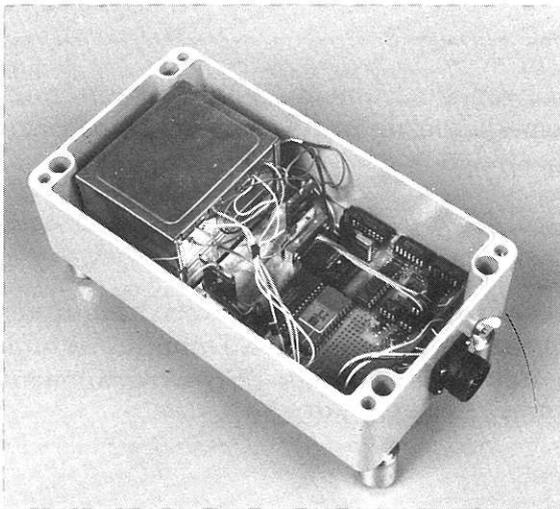
**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Meßgeräte zur Messung kleiner Winkeländerungen existieren in unterschiedlichen technischen Varianten.

a) Der Neigungssensor nach dem Prinzip des \*Schwingsaitenaufnehmers detektiert die durch die geänderte Dehnung bewirkte Schwingfrequenzänderung einer vorgespannten Stahlsaite im Tonfrequenzbereich. Gemessen wird die Neigungsänderung zwischen einem schwingungsge-dämpften Richtungs-pendel in lotrechter Lage und dem Gehäuse. Die Messung der Frequenzänderung erfolgt über Zähler und kann auf einfache Weise einer elektronischen Datenauswertung zugeführt werden.

b) Winkelmeßgeräte in der Dünnfilmtchnik detektieren die Leitfähigkeit einer elektrolytischen Flüssigkeit. Kleine Winkeländerungen eines Flüssigkeitsspiegels werden an Mikrokontakten gemessen und in Winkeländerungen umgerechnet; es können Winkelauflösungen bis  $0,005^\circ$  erzielt werden. Die Ablesung erfolgt digital.

Eine Neuentwicklung ist die Detektion des Neigungswinkels auf der Basis von Halbleiter-Bauelementen. Mit diesem Gerät wird eine äußerst empfindliche Anzeige der Winkeländerung und deren einfache digitale Ablesung möglich, bzw. auch die Kopplung mehrerer Meßstellen an einen Auswerterechner.



Elektronischer Neigungssensor von MBB

**Bewertung:** Die Neigungssensoren sind wichtige Komponenten für die Durchführung von Verformungsmessungen. Aus den gemessenen Winkeländerungen ergeben sich in Verbindung mit geometrischen Systemgrößen wie Längen, Breiten, Abständen, die Größen der Relativbewegung bzw. Verformungen. Beim Messen der Durchbiegung von Brücken ist dabei z.B. von Vorteil, daß im Vergleich zu Wegaufnehmern keine Meßstangen o.ä. erforderlich sind, welche sich auf feste Punkte im Gelände abstützen.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Althen Meß- und Datentechnik GmbH

HELASYSTEM GmbH

HL-Planartechnik GmbH

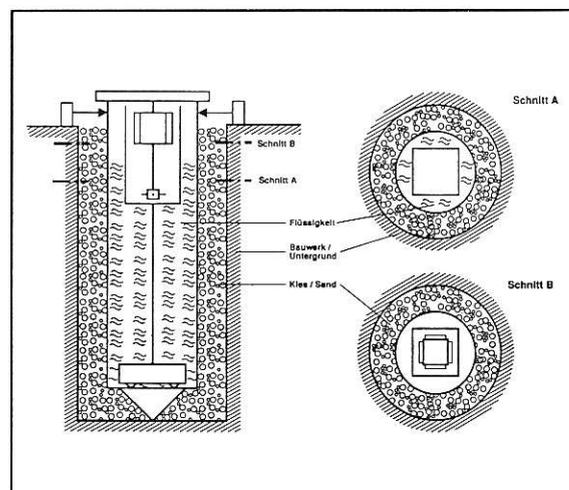
Maihak AG

Messerschmitt Bölkow Blohm (MBB) GmbH

Dr. Seitner System- und Sensortechnik GmbH

Universal Elektronik Handelsgesellschaft m.b.H.

**Literaturhinweise:** 90Fid, 91Flu, 91Spe



Neigungssensor /91 Spe/



83Are

## Neutronensonde

**Stichworte:** Schichtdicke — Bauwerkshaut — Radioaktivität — Feuchtegehalt — Troxler-sonde — Bitumen

**Kurzbeschreibung:** Auf nuklearen Effekten basierendes Verfahren zur Feuchtebestimmung in nicht wasserstoffhaltigen Materialien.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Beachtung des Strahlenschutzes, da neben Neutronen- auch Gammastrahlung entsteht.

**Einflußgrößen:** Alle wasserstoffhaltigen Fremdstoffe, insbesondere Kunststoffe.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet zum Einsatz am Bauwerk.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Zur Messung des Anteils an leichten Elementen im Untersuchungsobjekt, insbesondere Wasserstoff als Bestandteil von Wasser.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Prüfung aus besonderem Anlaß.

**Bauwerksprüfung:** Einsatz des Verfahrens erfordert Vorbereitungen vor Ort wegen der Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung ungeeignet; derartige Anwendung nicht bekannt.

**Ausführungen:** Als Oberflächensonde oder Tiefensonde.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Das Verfahren basiert auf dem gleichen physikalischen Prinzip wie die \*Radiographie mit Neutronen.

**Anwendung:** Die Neutronensonde arbeitet nach einem nuklearen Verfahren und dient zur Feuchtebestimmung und Dichtemessung in Baustoffen und Böden.

Eine Neutronenquelle emittiert hierzu schnelle Neutronen (kinetische Energie 5 - 11 MeV), die in den zu untersuchenden Stoff eindringen. Dort führen die Neutronen elastische Stöße mit den im Verlauf der Bahn getroffenen Atomen aus. Dabei findet speziell an den Wasserstoffatomen des Wassermoleküls wegen der vergleichbaren Massen von Proton und Neutron eine effektive Energieübertragung und somit eine Abbremsung der Neutronen statt. Der Anteil der Neutronen, der durch diese Stöße auf thermische Energien (Energie ca. 25 meV) abgebremst wird, stellt damit ein Maß für die im Baustoff enthaltenen Wasserstoffkerne pro Volumeneinheit dar. Zur Berechnung der absoluten Feuchte muß diese noch auf die Dichte des untersuchten Materials bezogen werden.

Für die praktische Durchführung wird die Neutronenquelle (z.B. Americium und Beryllium) an oder in das zu untersuchende Bauteil gebracht. Direkt daneben befindet sich ein großflächiger Neutronendetektor (z.B. ein mit Bortrifluorid gefülltes Proportionalzählrohr), der nur auf thermische, nicht aber auf schnelle Neutronen reagiert. Somit wird die Feuchtigkeit in einer Eindringtiefe von etwa 20 cm im Umfeld der Sonde bestimmt.

Für die praktischen Anwendung existieren Neutronensonden in unterschiedlichen Ausführungen. Für die Feuchtebestimmung im Bereich der Oberfläche wird eine Oberflächensonde verwendet, bei der sich Neutronenquelle und Detektor in größerem Abstand längs der Oberfläche befinden und diejenigen Neutronen gemessen werden, die sich parallel zur Oberfläche ausbreiten. Für Feuchtebestimmungen ab ca. 25 cm unterhalb der Materialoberfläche besteht auch die Möglichkeit der Verwendung von Tauchsonden, die in Bohrlöchern verwendet werden.

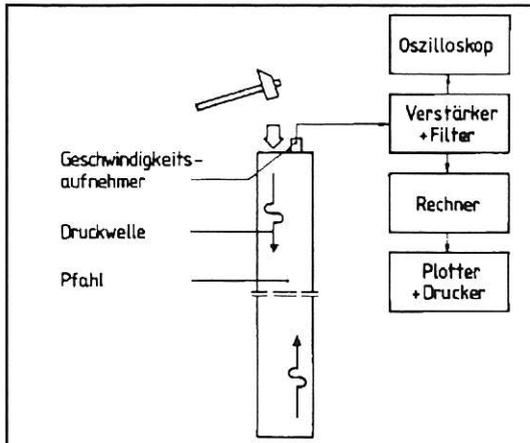
Speziell für den Straßenbau wird die Neutronensonde zur Dichtemessung des Asphalts und zur Schichtdickenmessung eingesetzt. Nach einem Hersteller hat sich hierfür der Name "Troxlersonde" eingebürgert /89Beh/. Weitere Anwendungen sind die Untersuchungen von bitumierten Flachdächern und von Rohrleitungssystemen /86Hen/.

**Bewertung:** Die Messung mit der Neutronensonde ermöglicht die genaue und schnelle Bestimmung von Feuchtigkeit in oberflächennahen Bereichen bis zu 20 cm Tiefe von mineralischen Baustoffen. Sie ermöglicht aber keine chemische Unterscheidung der gemessenen Wasserstoffatome. Deshalb ist bei der Messung von wasserstoffhaltigen Stoffen wie z.B. Bitumen oder kunststoffmodifizierten Betonen auf eine besonders gründliche Vergleichsmessung im trockenen Material derselben Zusammensetzung zu achten. Das Verfahren kann auch nicht zwischen Kristallwasser und freiem Wasser unterscheiden.

Da die Neutronensonde auf einem nuklearen Effekt basiert und radioaktive Präparate enthält, sind die Strahlenschutzbestimmungen zu beachten. Insbesondere ist zu bedenken, daß jede Neutronenquelle auch ein Gammastrahler ist.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**  
Troxler Electronics GmbH

**Literaturhinweise:** 83Are, 84Hin, 86Hen, 88Wei, 89Beh, 90Haa



90BAM7

## Pfahlprüfung

**Stichworte:** Körperschall — Geophon — Schallgeschwindigkeit — Schallaufnehmer — Frequenzanalyse

**Kurzbeschreibung:** Zur Prüfung von Pfählen im Untergrund wird die Ausbreitung und Reflexion von Schallpulsen im Pfahl zur Schadensanalyse herangezogen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Meßfläche muß i.d.R. unmittelbar zugänglich sein.

**Bauwerksprüfung:** Das Verfahren wird zu-  
meist nur zur Prüfung aus besonderem Anlaß  
eingesetzt.

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Das Verfahren  
ist zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Untersu-  
chungsobjekt vor Ort sind einzelne Teile einer  
Gesamtkonstruktion.

**Ausführungen:** Zur Apparatur gehören: An-  
schlaghammer, Schallaufnehmer, elektroni-  
sche Datenaufnahme und Darstellung, ggf.  
Auswerterechner zur Fouriertransformation.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit  
Entwicklungsmöglichkeiten.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Material-  
aufbau (verschiedene Schichten, Homogeni-  
tät etc.).

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Geeignet zur Quali-  
tätssicherung im Rahmen der Bauabnahme.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativ-  
methoden:** Variante der Pfahlprüfung bei un-  
zugänglichem Pfahlkopf (siehe unter "An-  
wendung").

**Anwendung:** Die Pfahlprüfung ist eine Methode, die die Ausbreitung und Reflexion von Körperschallwellen ausnutzt. Sie wird im wesentlichen zur Prüfung von Betonpfählen eingesetzt und dient zur Erkennung und Ortung von z.B. Einschnürungen, Rissen oder Unregelmäßigkeiten. Auch nachgebender Baugrund, wie z.B. bei Brückenpfeilern im Flußbett, kann detektiert werden.

Zur praktischen Durchführung wird mit einem Prüfhämmer ein kurzzeitiger Impuls auf die Pfahloberfläche gegeben und die reflektierten Schallimpulse werden mit einem Schallaufnehmer registriert und aufgezeichnet. Aus dem zeitlichen Abstand zweier Pulse kann mit Kenntnis der Schallgeschwindigkeit zunächst die Pfahllänge berechnet werden. Aus der Form der Reflexionen (Druckwellen- oder Zugwellenreflexionen) und den dazwischen auftretenden Störungen wird auf Art und Ort der Fehler sowie auf Änderungen im Bodengefüge geschlossen. Die Auslenkung des Pfahlkopfes kann dazu über der Zeit dargestellt und zur Auswertung herangezogen werden, wie in der Abbildung dargestellt ist.

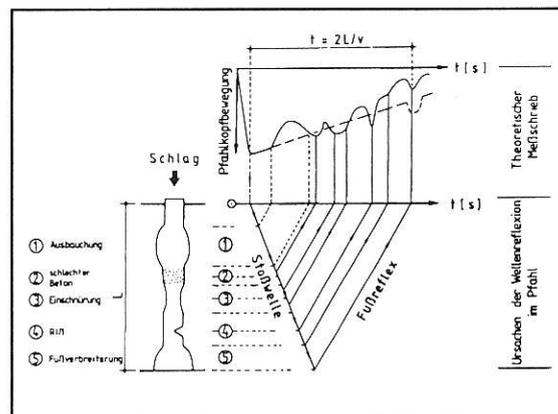
Zur Auswertung sinnvoll ist eine Speicherung der Meßwerte und eine anschließende Frequenzanalyse. Über einen Vergleich mit theoretisch berechneten Werten der Eigenfrequenzen bei vorgegebenen Bodeneigenschaften ist dann eine Ortung von Einschnürungen des untersuchten Pfahles möglich.

In einer Variante des Verfahrens wird die Prüfung auch bei unzugänglichem Pfahlkopf möglich: Parallel zum Pfahl wird über eine Bohrung ein Plastiktubus eingebracht, in dem ein höhenverstellbares Geophon die seismischen Schwingungen in Abhängigkeit von der Tiefe aufzeichnet. Die anregende Stoßwelle wird im Bauwerk erzeugt und breitet sich im Pfahl und im Erdreich aus. Meßgröße ist die Laufzeit eines Schallimpulses zwischen Pfahlanfang und dem Ort des Geophons in Abhängigkeit von der Tiefe. Fehlstellen im Pfahl sowie das untere Ende des Pfahles äußern sich dann in einer Abweichung der tatsächlichen Schallgeschwindigkeit von dem erwarteten Wert, der sich aus der Schallgeschwindigkeit im Beton ergäbe.

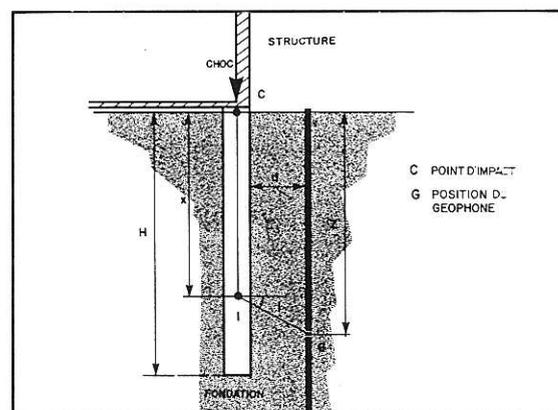
**Bewertung:** Die Pfahlprüfung ist ein vergleichsweise aufwendiges Verfahren zur Qualitätskontrolle. Da der Pfahl in der Regel an seinem Kopf zugänglich sein muß, ist es mehr eine Methode zur Verifizierung der Bauausführung als eine Methode zur späteren Bauwerküberwachung, bei Sonderprüfungen kann sie aber wertvolle Erkenntnisse zum Tragverhalten bringen.

Die Variante der seismischen Untersuchung in einem parallel zum Pfahl eingebrachten Tubus stellt eine interessante Möglichkeit der Pfahlprüfung von bestehenden Bauwerken dar.

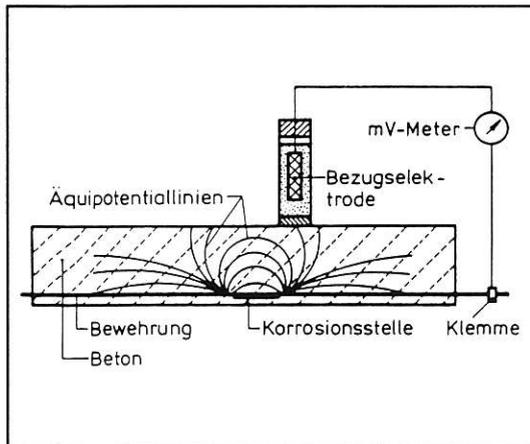
**Literaturhinweise:** 75Dav, 76Dav, 78Pre, 86Kli, 86Rüc, 90BAM7, 90CEB



Ermittlung der Integrität von Ortbeton-Rammpfählen (Schematische Darstellung) /90BAM7/



Schallimpuls-Ausbreitung zur Prüfung von bereits gebauten Pfählen ( C: Ort der Impuls Anregung, G: Ort der Messung in einem zum Pfahl parallelen Bohrloch ) /90CEB/



86Czi

## Potentialverfahren, elektrochemisches

**Stichworte:** Bewehrungskorrosion — Bildgebendes Verfahren — Korrosionsmeßzelle

**Kurzbeschreibung:** Zur Ortung der Bewehrungskorrosion in Stahlbeton: Es wird das elektrochemische Potential gemessen, das zwischen einer von außen angebrachten elektrochemischen Elektrode und dem Bewehrungsstahl im Falle von lokalisierter Korrosion entsteht.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es muß eine elektrisch leitende Verbindung zur aktuell gemessenen Bewehrung hergestellt werden.

**Einflußgrößen:** Oberflächenbeschaffenheit, Salzgehalt, Zementart, Feuchtegehalt, Betondeckung.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Zunehmend häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Aussage zum Materialzustand als zeitabhängige Größe: Angabe über korrosionsgefährdete Bereiche.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** In der Ausführung als Korrosionsmeßzelle möglich (s. "Anwendung")

**Ausführungen:** Zur Apparatur gehören: Elektrolytische Elektrode und Millivoltmeter, ggf. Datenaufzeichnungsgerät.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten; Prüfrichtlinie in USA: ASTM C 876

**Gerätekosten:** von 2000 bis 10000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Zu diesem Verfahren siehe auch ZfPBau-Merkblatt B2 /90DGZ2/. Verfahren ist in einigen Fällen auch zur Bestimmung der Zementart sowie zur Messung der Feuchteverteilung geeignet (siehe "Anwendung").

**Anwendung:** Die elektrochemische Potentialmessung stellt ein Verfahren zur Ortung der Stahlkorrosion im Stahl- und Spannbetonbau, kurz auch Betonkorrosion genannt, dar. Dabei wird die elektrische Potentialdifferenz zwischen einer auf der Betonoberfläche aufgetragenen Bezugs elektrode und dem kontaktierten Bewehrungsstahl gemessen. Die Bezugs elektrode besteht dabei in der Regel aus einer Kupferelektrode in Kupfersulfatlösung, die über einen feuchten Schwamm leitend mit der Betonoberfläche in Kontakt gebracht wird. Potentialmessungen zwischen zwei auf der Betonoberfläche aufgetragenen Elektroden sind ebenfalls möglich, aber in der Regel weniger aussagekräftig.

In der praktischen Durchführung können korrodierte Bereiche der Bewehrung geortet werden, indem die Bezugs elektrode längs den Bewehrungen auf der Betonoberfläche entlanggeführt wird. Zwischen solchen Stellen, an denen die passivierende Oxid/Hydroxid-Schicht (Schutzschicht) der Bewehrung durchbrochen und der anodische Teil des Korrosionsprozesses in Gang gekommen ist, und den örtlich davon getrennten Bewehrungsbereichen, an denen der kathodische Teilprozess der Korrosion abläuft, kann eine Potentialdifferenz gemessen werden. Zur Erhöhung der Aussagekraft wird sinnvollerweise ein Potentiallinienfeld der Betonoberfläche aufgenommen.

Zur direkten Darstellung sind Meßsysteme mit in einer Linie angeordneten Radelektroden entwickelt worden, die über die zu untersuchenden Oberfläche gefahren werden und aus deren Werten eine Rasterdarstellung der Potentialverteilung erzeugt wird.

In einer weiterentwickelten Variante des Verfahrens wird der Einfluß eines kurzzeitigen Strompulses auf die Potentialdifferenz zwischen korrodierten und nicht korrodierten Bereichen genutzt, welche dadurch signifikant erhöht wird.

Das Verfahren ist auch zur Bestimmung der Zementart geeignet. Wegen des unterschiedlichen Anteils von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ergibt sich zwischen Portland- und Hochofenzement einen Potentialunterschied von etwa 200 mV.

Anwendungen zur Feuchteortung sind ebenfalls bekannt, da die Feuchtigkeit die gemessene Potentialdifferenz beeinflusst.

Eine Anwendung des Potentialverfahrens zur kontinuierlichen Messung der Karbonatisierungstiefe am Bauwerk ist die **Korrosionsmeßzelle**: In unterschiedlichen Tiefen beim Betonieren angebrachte Elektroden aus Baustahl und Edelstahl erzeugen beim Einsatz der Korrosion des Baustahls eine Potentialdifferenz, die die Karbonatisierungstiefe und /oder Chlorideindringtiefe anzeigt.

**Bewertung:** Das Verfahren stellt eine relativ preiswerte Möglichkeit zur Ortung von korrodierten oder korrosionsgefährdeten Bereichen dar, es ermöglicht jedoch keine Messung des Stadiums der Korrosion oder der Korrosionsrate.

Aus dem allgemeinen Meßprinzip ergibt sich, daß mit der elektrochemischen Potentialmessung ein Korrosionszustand nur dann festgestellt werden kann, wenn die Korrosion nicht in einer gewissen flächigen Ausdehnung sondern an einzelnen, deutlich getrennten Korrosionsnarben auftritt. Letzteres ist in der Regel bei der durch Chlorid verursachten Korrosion der Fall (z.B. durch Tausalz-Einwirkung).

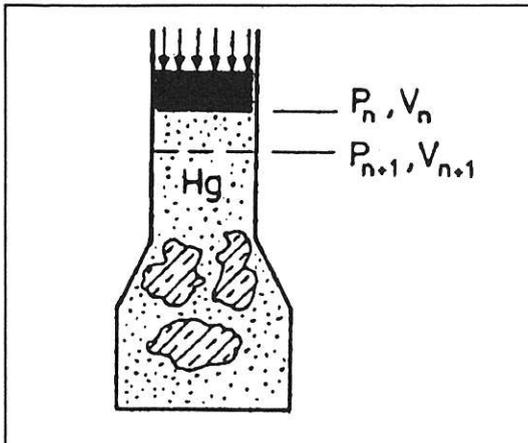
Andere einschränkende Faktoren für den Korrosionsnachweis durch Potentialmessung sind: Kunststoff- und Epoxidbeschichtungen verhindern die Messung; Korrosionsstellen an in Hüllrohren verlaufenden Bewehrungen können nicht gemessen werden; grobporige Betonoberflächen verhindern den Kontakt der Bezugs elektrode. Auch Risse und Inhomogenitäten des Salzgehaltes im Beton können das Ergebnis verfälschen.

Unbedingt zu beachten ist ferner der Einfluß der Zementart auf die Potentialdifferenz auch im nicht korrodierten Fall.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Germann Instruments, LTD.

**Literaturhinweise:** 84Fri, 85Fri, 85Koe, 86Czi, 86Sch10, 86Sch3, 86Sch4, 88Czi, 90DGZ2, 90Sch1, 91Böh, 91Mar, 91Nür, 91Sch2



72Nie

## Quecksilber- Porosimeter

**Stichworte:** Bauwerkshaut — Probenahme — Porengehalt — Porengrößenverteilung

**Kurzbeschreibung:** Es wird die in offene Poren von mineralischen Baustoffen eintretende Quecksilbermenge in Abhängigkeit vom äußeren Druck gemessen und so auf die Porengröße und deren Häufigkeitsverteilung geschlossen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Labormethode
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Probenahme muß so erfolgen, daß eine Veränderung der Probensubstanz ausgeschlossen ist.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist zur Prüfung aus besonderem Anlaß geeignet.

**Einflußgrößen:** Porengeometrie.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Im Vordergrund steht die Ermittlung der Materialbeschaffenheit.

**Ausführungen:** Weitgehend automatisierte Apparaturen mit computergesteuerter Meßwertaufnahme und -auswertung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Bewährte Labormethode; die Kenntnis der Porengröße und deren Häufigkeitsverteilung sind wichtige Kenngrößen, z.B. zur Beurteilung der Frost-Tausalz-Wechselbeständigkeit und der Korrosionsgefahr.

**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes Untersuchungsverfahren.

**Gerätekosten:** von 20000 bis 50000 DM

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren zu aufwendig.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Zur Beurteilung von mineralischen Baustoffen, insbesondere von Betonen, Zementmörteln, Ziegeln und Natursteinen ist die Kenntnis des Porengefüges von großer Bedeutung. Da die Poren in ihrer Größe stark variieren, ist auch die Angabe der Häufigkeitsverteilung wichtig.

Die Bestimmung dieser Kenngrößen erfolgt mit dem Quecksilberporosimeter (chemisches Symbol für Quecksilber: Hg) an dem Bauwerk entnommenen Proben von wenigen Kubikzentimetern Volumen. Mit dem Verfahren ist die Messung von offenen Poren im Größenbereich von 10 nm bis 1 mm möglich.

Zur Messung wird die aus mehreren kleinen Bruchstücken bestehende Probe in einem Dilatometergefäß zunächst evakuiert und dann mit Quecksilber aufgefüllt. Durch die sukzessive Belüftung des Dilatometergefäßes wird Quecksilber in die Poren gedrückt. Die abgelesene Volumenänderung zeigt die Menge des bei entsprechendem Druck in die Poren eintretenden Quecksilbers an. Dabei ist der Druck ein Maß für die Porengröße und die Volumenänderung ein Maß für die Anzahl der Poren eben dieser Größe. Zur Berechnung der Porengröße wird von einer umgekehrt proportionalen Beziehung zwischen dem Porenradius und dem Quecksilberdruck ausgegangen, wobei noch eine Materialkonstante für den entsprechenden Baustoff (Randwinkel Hg/Festkörper) und die Oberflächenspannung des Quecksilbers eingehen.

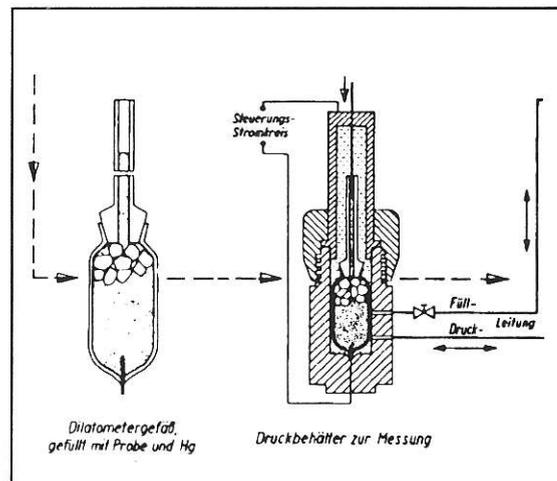
In einem bei modernen Geräten weitgehend automatisierten Verfahren wird die eingedrungene Quecksilbermenge in Abhängigkeit vom äußeren Druck gemessen, der Porenradius berechnet und als Häufigkeitsverteilung aufgetragen. Für Drücke bis Normaldruck ist so die Makroporenverteilung, für größere Drücke die Mikroporenverteilung bestimmbar.

**Bewertung:** Mit dem Quecksilberporosimeter läßt sich die Häufigkeitsverteilung von offenen Poren im Durchmesserbereich von 10 nm bis 1 mm zuverlässig bestimmen. Als Einschränkung ist allerdings zu sagen, daß die der Berechnung der Porengröße zugrundeliegende Beziehung von der ziemlich groben Näherung einer symmetrischen Porenform ausgeht.

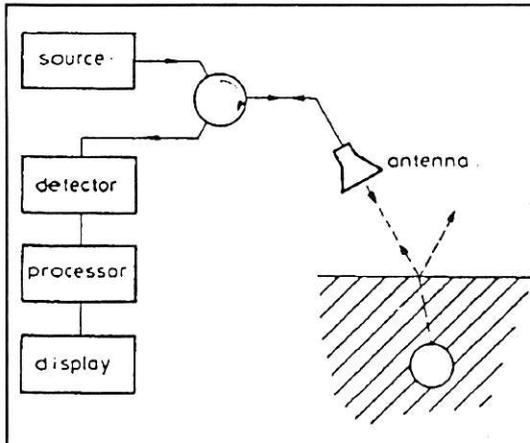
Die benötigten Probenmengen sind klein, so daß dieses Laborverfahren die Kriterien eines zerstörungsfreien Verfahrens eindeutig erfüllt. Zur Untersuchung von Beton wären aber eigentlich größere Proben sinnvoll, um den störenden Einfluß der Zuschläge zu minimieren. Geräte für die Untersuchung großer Proben sind jedoch nicht auf dem Markt. Eine entsprechende Entwicklung wäre im Prinzip sinnvoll, der Einsatz dürfte jedoch wegen der damit verbundenen großen Mengen von Quecksilberabfällen problematisch sein.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**  
CARLO ERBA INSTRUMENTS

**Literaturhinweise:** 72Lic, 72Nie, 86Nis



Meßprinzip des Quecksilberporosimeters /72Nie/



84OlV

## Radar

**Stichworte:** Mikrowellen — Schichtdicke — Bewehrungslage — Impuls-Radar — Mikrowellen-Reflexion — Georadar — Feuchteverteilung

**Kurzbeschreibung:** Ortungsverfahren unter Verwendung von Mikrowellen; Meßgröße ist zumeist die Laufzeit eines Pulses zwischen dem Sender und dem vom Objekt reflektierten Echo.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Nur für mineralische Baustoffe, metallische Strukturbestandteile können aber detektiert werden.

**Einflußgrößen:** Feuchtigkeit, bei Georadar Grundwasserspiegel.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Verfahren eignet sich in speziellen Fällen auch zur Vorkundung am Bauwerk (z.B. Auffinden besonders geschädigter Bereiche).

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialaufbau (verschiedene Schichten, Homogenität, Hinterfüllungen o. ä.) kann zumindest global detektiert werden.

**Bauwerksüberwachung:** Bei Fortentwicklung des Verfahrens erscheint die sinnvolle Anwendung bei regelmäßig wiederkehrenden Überwachungsarbeiten durchaus möglich.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist noch wenig in der Praxis erprobt, eignet sich aber prinzipiell für regelmäßig auszuführende Untersuchungen.

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Große Variationsbreite an Sendern und Empfängern im gesamten Spektralbereich der Mikrowellen.

**Entwicklungsstand:** Verfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

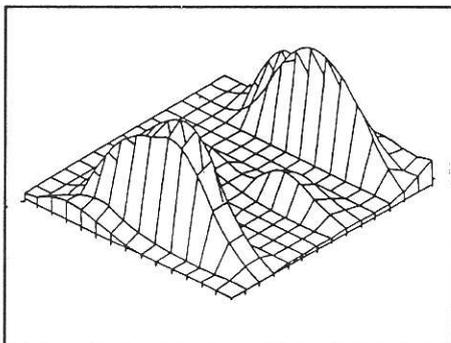
**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Anwendungen am Bauwerk sind unter \*Mikrowellen-Reflexion beschrieben.

**Anwendung:** Die Abkürzung RADAR steht für "Radiation Detection And Ranging". Ursprünglich wird damit das bekannte Ortungsverfahren mit Mikrowellen bezeichnet.

Der Begriff Radar wird aber auch für einen Teil des elektromagnetischen Spektrums verwendet. Die Sprachregelung ist dabei nicht eindeutig: Manche Autoren bezeichnen den Millimeterwellenbereich als Radar und den cm-Wellenbereich als Mikrowellen, andere bezeichnen den gesamten Bereich zwischen der fernen Infrarotstrahlung (Wellenlänge ca. 0,3 Millimeter) und den Radiowellen (ab ca. 30 cm) als Mikrowellen. Die Verfahren, die diesen Bereich nutzen, sind im Rahmen dieses Compendiums auch unter den Begriffen \*Mikrowellen-Transmission und \*Mikrowellen-Reflexion beschrieben.

Weitere Methoden, die die Mikrowellen einsetzen, sind Georadar und Impulsradar. Sie werden für geologische Untersuchungen und zur Grundwassersuche eingesetzt. Sie basieren auf einer Echomethode, das heißt, daß die Zeit zwischen dem Aussenden und dem Empfang eines reflektierten Radar-Pulses bestimmt wird. Aus diesen Werten wird die Entfernung berechnet. Aus Meßwerten in unterschiedliche Richtungen kann auch die Ausdehnung von verborgenen Objekten berechnet werden; bildgebende Darstellungen sind möglich.

Radar-Untersuchungen im Bauwesen werden z.B. zur Untersuchung von Tunneln und zur Integritätsprüfung von Asphaltsschichten angewendet. An Betonkonstruktionen ist die Ortung der Bewehrung und die Messung der Betondeckung mit Radar möglich. Wegen der kleinen Abstände muß dabei mit einer zeitlichen Auflösung im Nanosekundenbereich gearbeitet werden.



Nachweis von in 50 cm Tiefe verlegten Rohren mit Impuls-Radar /84Olv/

**Bewertung:** Die Verwendung von Radarmethoden in ihrem ursprünglichen Sinne hat für Messungen direkt am Bauwerk bisher nur geringe Bedeutung. Die sonstigen Anwendungen der Mikrowellentechnik gewinnen im Bauwesen jedoch mehr und mehr an Bedeutung und besitzen insbesondere auf dem Gebiet der Feuchtemessung ein hohes Entwicklungspotential (siehe \*Mikrowellen-Reflexion und -Transmission).

Das Georadar hat eine gewisse Bedeutung für die vorbereitende Untersuchung des Bodens auf Hindernisse vor der Verlegung von Rohren durch Schildvortrieb. Der Grundwasserspiegel stellt hier aber eine nicht zu überschreitende Grenze dar. Die Untersuchung von Tunnelwänden und Betonfahrbahnen vom durchfahrenden Meßwagen aus hat ein großes Entwicklungspotential. Ebenso wichtig sind die neueren Geräteentwicklungen auf dem Gebiet der Radaranwendung an Betonkonstruktionen zur Messung der Betondeckung der Bewehrung.

Leider sind die Kosten der entsprechenden Geräte noch sehr hoch, ebenso mangelt es an geeigneten Auswertesystemen. Speziell auf diesem Sektor ist jedoch in nächster Zukunft mit weitreichenden Entwicklungen zu rechnen.

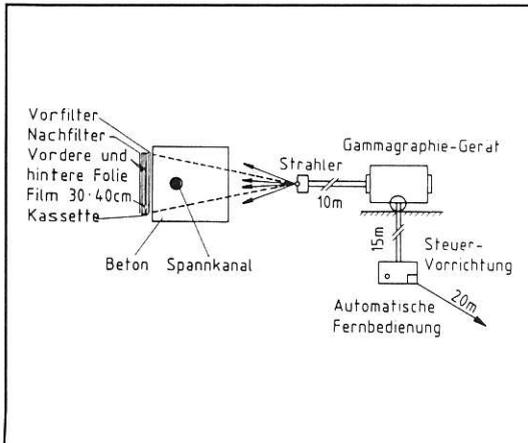
#### Gerätehersteller/-lieferanten:

ERA Technology Ltd

IGM Ingenieurgesellschaft für Geophysikalische Messtechnik m.b.H.

Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Government of Japan  
miat GmbH

**Literaturhinweise:** 72Lic, 82Lor, 84Can, 84Olv, 85Osu, 88Dan, 88Osu, 89Alo, 89Beh, 89Sch2, 90Dan, 90Dre, 90Haa, 91DAf, 91Ill



86Jun1

## Radiographie mit Gammastrahlen

**Stichworte:** Durchstrahlung — Linearbeschleuniger — Gammastrahlung — Bewehrungslage — Spannglieder, Lage der — Verpressungsgrad — Radiographie mit Linearbeschleuniger — Radioaktivität — Bildgebendes Verfahren — Hüllrohr

**Kurzbeschreibung:** Zur Untersuchung der Bewehrung und von Fehlstellen in Stahl- und Spannbeton: Auf einem Film wird eine zweidimensionale Projektion der Spannglieder und Fehlstellen mittels Gamma-Durchstrahlung erzeugt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Für das Prüfpersonal ist ein Zertifikat notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Strahlenschutzbestimmungen sind zu beachten. Das zu untersuchende Objekt muß von beiden Seiten zugänglich sein (Durchstrahlung).

**Einflußgrößen:** Andere Strahlenquellen, Winkel zwischen gammaempfindlichem Film und der Strahlenquelle.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialaufbau, insbesondere Lage der Bewehrung.

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren zu aufwendig.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur zur Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Das Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Es kommen verschiedene Nuklide als Strahlenquellen zum Einsatz (z.B.  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ), sowie Linearbeschleuniger.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Wertvolle Hinweise auch im ZfPBau-Merkblatt B1 /90DGZ1/. Eng verwandt mit den anderen \*Radiographischen Methoden, Einsatz auch im Zusammenhang mit der \*Computer-Tomographie.

**Anwendung:** Bei dieser radiographischen Methode handelt es sich um eine Durchstrahlungsprüfung, die zur Untersuchung von Stahl- und Spannbeton eingesetzt wird. Verschiedene Materialien zeichnen sich durch ihre unterschiedliche Dichte ab. Je höher die Dichte, bzw. Rohdichte, desto mehr wird der Durchgang der Strahlung geschwächt. Der Einsatzbereich liegt in der Ortung und Überprüfung von Bewehrungen und eingebauten metallischen Leitungen, der Darstellung von unverpreßten Hüllrohrbereichen, sowie dem Nachweis von Fehlstellen und ausgeprägten Rissen.

Das Verfahren beruht auf dem gleichen Prinzip wie die \*Radiographie mit Röntgenstrahlung. Das Prüfobjekt wird mit einer radioaktiven Strahlungsquelle bestrahlt und auf der Rückseite ein entsprechend empfindlicher Film angebracht. Auf dem Film zeichnen sich dann eine zweidimensionale Projektion der Spannglieder durch eine geringere Schwärzung sowie Fehl- und Hohlstellen durch eine größere Schwärzung ab.

Als Strahlenquellen werden die radioaktiven Isotope Kobalt ( $^{60}\text{Co}$ ) und Iridium ( $^{192}\text{Ir}$ ) eingesetzt. Die Wahl der Strahlungsquelle richtet sich im wesentlichen nach der zu durchstrahlenden Betondicke, der nutzbare Meßbereich liegt für  $^{60}\text{Co}$  zwischen 20 und 60 cm sowie für  $^{192}\text{Ir}$  zwischen 0 und 25 cm Wanddicke. Ebenso wie bei der Nutzung der Röntgenstrahlung läßt sich der zu vermessenden Wanddickenbereich durch den Einsatz der digitalen Bildverarbeitung um ca. 10 cm vergrößern.

Für die Durchstrahlung von Wandmaterial bis zu 1,50 m (unter Einsatz der digitalen Bildverarbeitung auch bis 2 m) bietet sich als Strahlenquelle ein Linearbeschleuniger an, der große Strahlintensitäten bei hoher Photonenenergie (bis zu 10 MeV) zur Verfügung stellen kann.

Zur Verbesserung des Kontrastes auf dem Film ist die Verwendung von Filtern sinnvoll, die die Streustrahlung, welche keine bildgebenden Informationen enthält, unterdrückt.

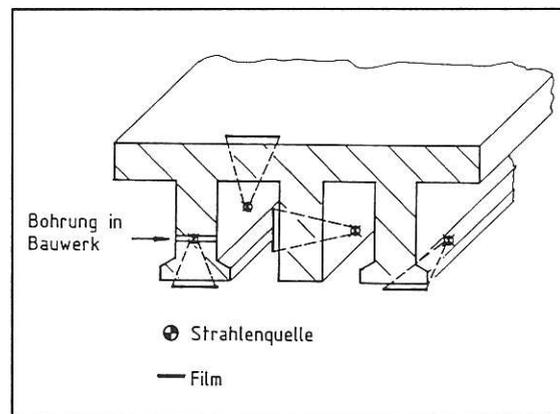
**Bewertung:** Die Radiographie mit Gammastrahlen ist eine geeignete Methode zur Durchstrahlung von relativ dünnen Betonträgern oder Decken zur Überprüfung der Bewehrung.

Allgemein gilt natürlich die Einschränkung, daß die gewonnenen Bilder, auf denen sich die Bewehrung als Schatten darstellt, bei der Interpretation einige Erfahrung erfordern. Zur Verifikation der genauen Bewehrungslage ist die Aufnahme aus mehreren Blickwinkeln möglich, aber auch entsprechend aufwendig.

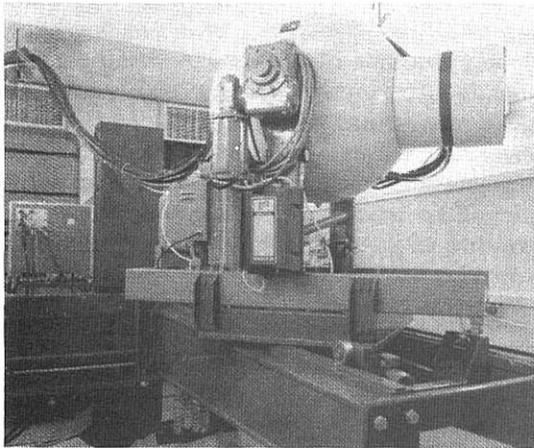
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

HELLING KG (GmbH & Co.)  
Isotopen-Technik Dr. Sauerwein GmbH  
Emil Schneider GmbH & Co.KG  
Troxler Electronics GmbH

**Literaturhinweise:** 77Dob, 83Loe, 86Bie, 86Bou, 86Hei, 86Hof, 86Sch1, 87Kie, 87Set, 90DGZ1



Typische Prüfbereiche an Brückenbauwerken /86Bie/



90Mas

## Radiographie mit Neutronen

**Stichworte:** Durchstrahlung — Bewehrungslage — Spannglieder, Lage der — Verpressungsgrad — Radioaktivität — Bildgebendes Verfahren — Hüllrohr

**Kurzbeschreibung:** Durchstrahlungsprüfung mit Neutronenstrahlung. Die unterschiedlichen Werkstoffe sowie Feuchtigkeit und evt. vorhandene Fehlstellen eines Bauteils zeichnen sich durch unterschiedliche Schwärzung auf einem Film ab.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Für das Prüfpersonal ist ein Zertifikat notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Beachtung des Strahlenschutzes (neben der Neutronen-entsteht auch Gamma-Strahlung). Das zu prüfende Objekt muß von beiden Seiten zugänglich sein (Durchstrahlung).

**Einflußgrößen:** Feuchtigkeit bzw. alle wasserstoffhaltigen Materialien.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk geeignet.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Eignet sich speziell für die Darstellung von wasserstoffhaltigen Werkstoffen (insbesondere Kunststoffen) und zum Feuchtenachweis.

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren zu aufwendig.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur zur Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Unterschiedliche Neutronenquellen und Detektorsysteme.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Wird auch im Zusammenhang mit tomographischen Methoden eingesetzt (siehe \*Computer-Tomographie). Siehe auch wichtige Hinweise im ZfPBau-Merkblatt B1 /90DGZ1/.

**Anwendung:** Die Radiographie mit Neutronen ist eng verwandt mit den anderen radiographischen Methoden (\*Radiographie mit Röntgenstrahlung; \*Radiographie mit Gammastrahlung). Sie erfordert jedoch, bedingt durch das Meßprinzip, eine andere Ausstattung und ermöglicht z. T. Aussagen, die mit Hilfe der anderen erwähnten Methoden nicht erreicht werden können.

Zum Einsatz direkt am Bauwerk ist eine kompakte transportable Neutronenquelle erforderlich, welche auf einer Seite des Untersuchungsobjekts angebracht wird. Auf der gegenüberliegenden Seite wird die Neutronenintensität mit speziellen Metallfolien registriert, indem diese durch Kernreaktionen (schwach) radioaktiv werden und die Sekundärstrahlung (Gamma- bzw. Partikelstrahlung) einen anliegenden Film schwärzt. Es kommen auch Bildverstärkersysteme zum Einsatz, bei denen Sekundäreffekte der Neutronenaktivität detektiert werden.

Zur Kontrastverbesserung der Aufnahmen ist die Weiterverarbeitung mit der digitalen Bildverarbeitung sinnvoll.

Die Auswertung der radiographischen Bilder erfordert viel Erfahrung. Im Prinzip ist es möglich, z.B. für die Untersuchung von Spannstahl-Hüllrohren, bei der Verwendung von Kunststoffbeschichtungen, im Bereich des Feuchtigkeitsnachweises und beim Nachweis von unterschiedlichen Zementsorten Aussagen zu erzielen, die mit anderen radiographischen Methoden nicht möglich wären. Diese Tatsache hat ihre Ursache in der speziellen Streu- und Absorptionseigenschaft der Neutronen, die von der Verteilung der im Bauteil vorhandenen Atomkerne und nicht von den Eigenschaften der Atomhüllen abhängt.

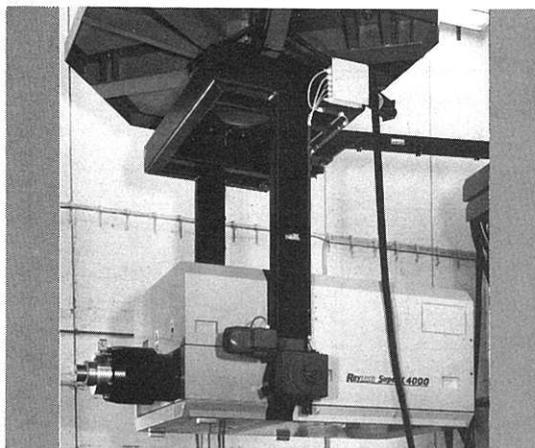
**Bewertung:** Wie alle bildgebenden Verfahren ist auch die Neutronenradiographie eine aussagekräftige Methode. Insbesondere bei der Inspektion der Bewehrung wird sie erfolgreich eingesetzt. Ein Vorteil gegenüber der \*Radiographie mit Röntgenstrahlung liegt darin, daß der unterschiedliche Wasserstoffgehalt nachgewiesen, und so z.B. im Fall von kunststoffbeschichteten Bewehrungen Fehleruntersuchungen vorgenommen werden können.

Es ist jedoch vor dem Einsatz kritisch abzuwägen, ob wegen des apparativen Aufwandes für die Durchführung der Untersuchung und der Probleme des Strahleschutzes der Einsatz der Neutronenradiographie wirklich angemessen ist. Zum Feuchtenachweis an bestimmten Meßpunkten bietet sich als radiometrisches, also nicht radiographisches Verfahren ansonsten die \*Neutronensonde an.

**Literaturhinweise:** 86Hof, 86Sch1, 87Kie, 90Mas, 90Sta



Neutronenradiographie einer Betonprobe mit zwei dreieckigen Einschnitten in der Beschichtung, Stahl- und PVC-Einlagen sowie Rissen /90Mas/



90BAM3

## Radiographie mit Röntgenstrahlen

**Stichworte:** Durchstrahlung — Bewehrungslage — Spannglieder, Lage der — Verpressungsgrad — Bildgebendes Verfahren — Hüllrohr

**Kurzbeschreibung:** Durchstrahlungsprüfung für Stahlbeton-Bauwerke. Beruht auf dem unterschiedlichen Absorptionsverhalten von Beton, Bewehrungen und Fehlstellen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Für das Prüfpersonal ist ein Zertifikat notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Bestimmungen des Strahlenschutzes sind zu beachten. Das Untersuchungsobjekt muß von beiden Seiten zugänglich sein (Durchstrahlung).

**Einflußgrößen:** Andere Strahlenquellen.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewendetes ZfP-Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialaufbau, insbesondere Lage der Bewehrung, Hohlstellen etc. bis zu einer Wanddicke von 20 cm.

**Bauwerksüberwachung:** Für regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren zu aufwendig.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur bei Prüfungen aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Zur Apparatur gehören: Röntgenquelle, röntgenempfindlicher Film; ggf. Bildgüteprüfkörper.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeit zur Tomographie.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Für größere Wanddicken: \*Radiographie mit Gammastrahlung oder kleiner Linearbeschleuniger (s. Bild) und \*Radiographie mit Neutronen. Im Zusammenhang mit \*Computer-Tomographie einsetzbar. Siehe auch Hinweise im ZfPBau-Merkblatt B1 /90DGZ1/.

**Anwendung:** Die Durchstrahlungsprüfung von Stahlbeton beruht auf dem Effekt, daß die elektromagnetische Strahlung im Röntgen- und Gammabereich vom Beton anders absorbiert wird als von der Bewehrung und von Fehlstellen. Je geringer die Dichte, bzw. Rohdichte eines Bestandteiles des Untersuchungsobjektes ist, desto weniger Strahlung wird absorbiert.

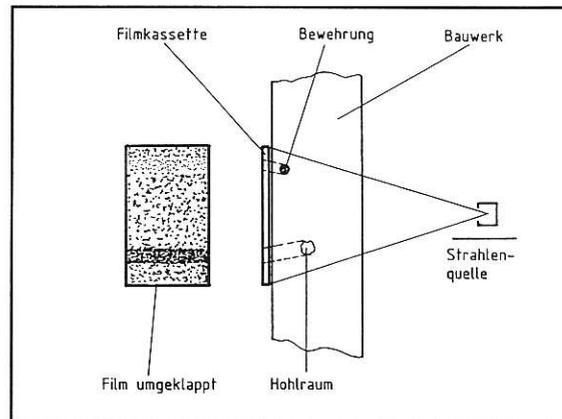
In der praktischen Anwendung wird das Prüfobjekt mit der breitbandigen Bremsstrahlung einer Röntgenröhre von einer Seite aus bestrahlt und auf der Rückseite ein Röntgenfilm angebracht. Auf dem Film zeichnet sich dann eine zweidimensionale Projektion z.B. der Spannglieder durch eine geringere sowie eine Fehl- und Hohlstelle durch eine größere Schwärzung ab. Damit sind im Prinzip auch unverpreßte Hüllrohrbereiche im Falle von Spannbeton sichtbar zu machen.

Aufgrund der Grundabsorption des Betons ist die Durchstrahlungsprüfung mit Röntgenstrahlen nur bis zu einer Wanddicke von 20 cm durchführbar. Durch den Einsatz einer digitalen Bildverarbeitung läßt sich dieser Bereich etwas steigern. Ansonsten kann auf die anderen Radiographie-techniken verwiesen werden.

Um eine Bestimmung der Tiefenlage und der Abmessung der Bewehrung vorzunehmen, ohne auf die sehr viel aufwendigere \*Computer-Tomographie zurückgreifen zu müssen, ist die Peilung mit einer "Stereotechnik" möglich. Dazu werden zwei Aufnahmen unterschiedlicher Bestrahlungsrichtung ausgewertet.

Um die bei der Durchstrahlungsprüfung verwendeten Begriffe zu klären, erscheint es in diesem Zusammenhang auch nützlich, die beiden Echtzeitverfahren *Radiometrie* und *Radioskopie* gegenüberzustellen:

Bei der *Radiographie* empfängt der Röntgenfilm die Strahlung während einer bestimmten Zeitspanne (Dosis), bei der *Radiometrie* ersetzt ein Detektor den Film, gemessen wird die Strahlungsintensität (Dosisleistung). Bei der *Radioskopie* werden die Ergebnisse unmittelbar mittels Video auf einem Monitor sichtbar gemacht.



Anordnung von Strahlenquelle und Film am Bauwerk und schematische Darstellung des zu erwartenden Schwärzungsunterschiedes auf dem Film

**Bewertung:** Der Einsatz der Röntgendurchstrahlung hat gegenüber den Verfahren mit radioaktiven Präparaten den Vorteil, daß die Röntgenröhre im ausgeschalteten Zustand keinerlei Gefahr für die Umgebung darstellt, wohingegen radioaktive Präparate ständig sorgfältig verwahrt werden müssen.

Es gelten die bei Durchstrahlungsverfahren üblichen Einschränkungen: Die korrekte Interpretation der Bilder erfordert Erfahrung und ein genaues Auge. Bei sich überkreuzender Bewehrung können Defekte durch andere Bewehrungslagen verdeckt werden. Deshalb sind Aufnahmen aus mehreren Blickrichtungen bei mehrdeutigen Ergebnissen erforderlich.

#### Gerätehersteller/-lieferanten:

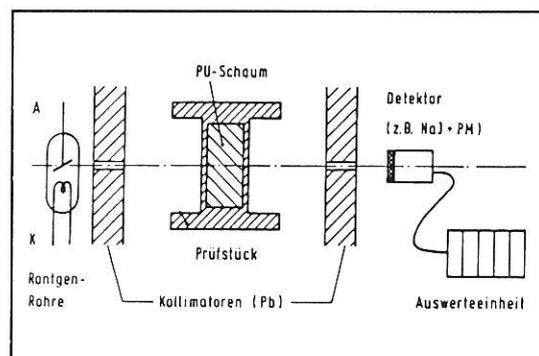
HELLING KG (GmbH & Co.)

Rolls-Royce MatEval Ltd.

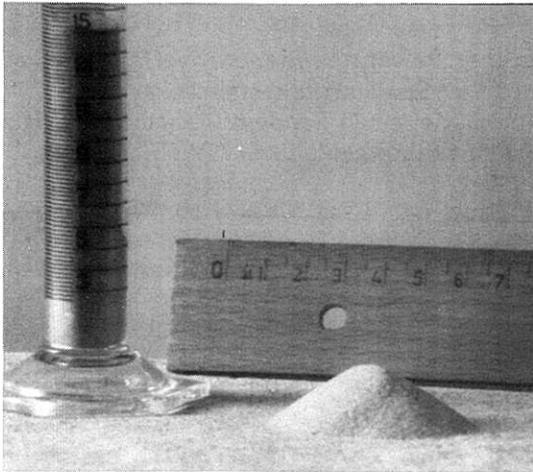
Röntgenanalytik Meßtechnik GmbH

Emil Schneider GmbH & Co.KG

**Literaturhinweise:** 86Bie, 86Hei, 90BAM3



Radiometrie mit Röntgenstrahlen (Prinzipieller Aufbau) / 86Hei/



90BAM4

## Rauhtiefenbestimmung

**Stichworte:** *Rauhtiefe — Oberfläche*

**Kurzbeschreibung:** Aus der Verteilung einer definierten Menge Quarzsand auf einer Bauwerksoberfläche wird die Rauhtiefe bestimmt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Elementar-handwerkliche Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Nur für horizontale Flächen anwendbar.

**Einflußgrößen:** Ebenheit der Fläche.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Zur Untersuchung von Betonunterlagen, Betonersatzsystemen, und alten Oberflächenschutzsystemen.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Aussagen über die Oberflächenrauigkeit.

**Bauwerksüberwachung:** Unter sonst gleichen Randbedingungen können Besonderheiten in der Oberflächenstruktur detektiert werden.

**Bauwerksprüfung:** Der Einsatz des Verfahrens erfordert keine wesentliche Vorbereitung am Meßort.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:**

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Gerätekosten:** von 10 bis 20 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

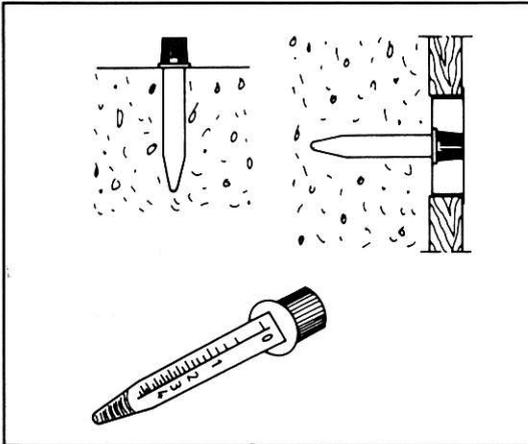
**Anwendung:** Das Verfahren dient zur Bestimmung der Rauhtiefe auf der Oberseite von horizontalen Betonunterlagen, Betonersatzsystemen und ggf. alten Oberflächenschutzsystemen /90ZTV/.

Die Rauhtiefe ist definiert als die Dicke einer Zylinderscheibe (in mm), die sich bildet, wenn man eine definierte Menge Sand auf die Unebenheiten einer Oberfläche gleichmäßig verteilt.

In der praktischen Durchführung wird eine definierte Menge Quarzsand mit Korngrößen zwischen 0.1 und 0.5 mm auf der Oberfläche mit einer Hartholzscheibe verrieben. Aus dem Durchmesser der sich ergebenden Scheibe wird die Rauhtiefe  $t$  berechnet ( $Rt = 40 V / \pi d^2$ ; mit  $V$ : Sandvolumen in  $\text{cm}^3$ ,  $d$ : Durchmesser der Sandscheibe).

**Bewertung:** Bewährtes Standardverfahren, das sich an die im Straßenbau weithin bekannte Sandersatzmethode (bzw. Sandeinfüllmethode, engl: sand patch method) anlehnt (/79Weh/, S. 222).

**Literaturhinweise:** 79Weh, 90BAM4, 90ZTV



86Sch3

## Reifegrad-Methode

**Stichworte:** *Betonfestigkeit — Junger Beton — Bauwerkshaut — Erhärtungsprüfung*

**Kurzbeschreibung:** Baubegleitende Methode zur Abschätzung der Betonfestigkeit: Der Reifegrad ist als Integral der Temperatur über der Zeit definiert; dieses wird mit Einwegmeßstäben bestimmt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Elementar-handwerkliche Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Mehr als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Einwegmeßstäbe müssen in den Frischbeton eingebracht werden und von außen ablesbar sein.

**Bauwerksprüfung:** Nicht geeignet.

**Einflußgrößen:** Umgebungstemperatur, Betonrezeptur.

**Bauwerksinstrumentierung:** Zur Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Verfahren wird während der Bauphase zur Abschätzung der Betonfestigkeit verwendet. Für die spätere Bauwerksdiagnose ungeeignet.

**Ausführungen:** Einwegmeßstäbe mit zugehörigen Eichkurven; Reifegradberechnung auch über digitale Meßwertaufnahme der Betontemperatur bzw. der Hydratationswärme und Rechnerauswertung.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren. In den USA Prüfrichtlinie: ACI 306R-78.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialfestigkeit; Verfahren liefert (korrelierenden) Kennwert.

**Gerätekosten:** von 500 bis 5000 DM

**Bauwerksüberwachung:** Nicht geeignet.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Englische Bezeichnung für Reifegrad: Maturity.

**Anwendung:** Die Reifegrad-Methode dient dazu, die Festigkeit von Beton im jungen Alter abzuschätzen. Dadurch soll eine Aussage über den Zeitpunkt einer ausreichenden Festigkeit erhalten werden, z.B. um die Schalung zu entfernen oder im Fall von Spannbeton vorzuspannen.

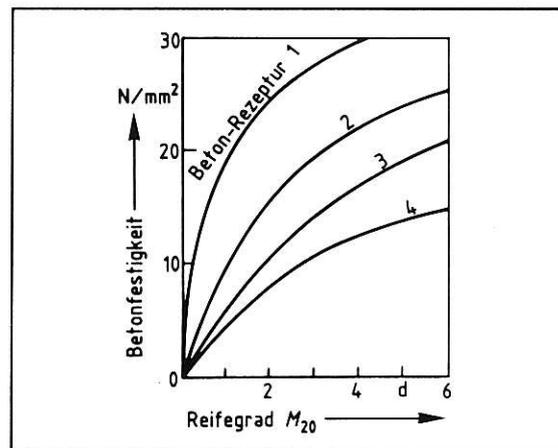
Die Aussage über die Festigkeit erfolgt über die Messung des Reifegrades, wobei als Reifegrad das zeitliche Integral der Betontemperatur bezeichnet wird. Der Zusammenhang zwischen Reifegrad und Druckfestigkeit des Betons hängt jedoch in starkem Maße von der Betonrezeptur ab, so daß für jede Rezeptur zunächst Kalibrierkurven erstellt werden müssen. Der Reifegrad selbst wird mit Hilfe von Einwegmeßstäben gemessen, die in den noch frischen Beton gedrückt werden. Der Reifegrad wird direkt an einer Skala abgelesen. Hierzu wird der Meßstab kurz herausgezogen und dann zurückgesteckt. Anhand der Entwicklung der Hydratationswärme läßt sich so die Festigkeitsentwicklung beobachten.

In den USA sind auch Geräte erhältlich, die den Reifegrad an mehreren Meßstellen gleichzeitig anhand von im Beton eingebrachten Temperatursensoren berechnen. Diese Systeme liegen natürlicherweise im Preis deutlich über dem der Einwegstäbe.

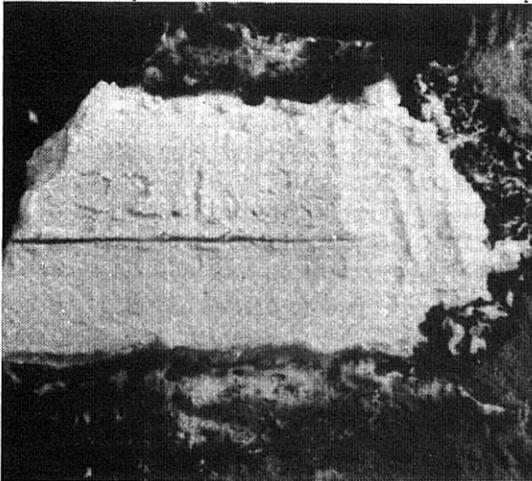
**Bewertung:** Die Reifegrad-Methode kann nur als Schätzverfahren zur Bestimmung der Betonfestigkeit bezeichnet werden, da eine starke Abhängigkeit von der Rezeptur und auch von der Umgebungstemperatur besteht. Bei sorgfältiger Kalibrierung auf die jeweilige Betonrezeptur (Zementart, Zement- und Wassergehalt, Art des Zuschlages usw.) liefert sie aber schnell ausreichend zuverlässige Werte über die tatsächliche Festigkeitsentwicklung im Bauwerk.

Die Methode ist ausschließlich während der Bauphase und nicht zur Prüfung älterer Bauwerke geeignet.

**Literaturhinweise:** 86Sch3, 91DAf



Einweg-Meßstab zum Abschätzen der Betonfestigkeit anhand des Reifegrades  $M_{20}$  (maturity bei 20 Grad Celsius) /86Sch3/



87Sch

## Rißmarken

**Stichworte:** *Bauwerkshaut — Verformungsmessung — Rißdynamik — Längenänderung, Messung der — Gipsmarke*

**Kurzbeschreibung:** Einfache Methode zu Verfolgung der Rißdynamik: Auf einem Riß angebrachte Gipsmarkierungen kennzeichnen Wachstum oder Schrumpfung der Risse.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Elementar-handwerkliche Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Langzeituntersuchung

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Vor der Anbringung von Gipsmarken müssen die Oberflächen gesäubert werden.

**Einflußgrößen:** Untergrund, Erschütterungen.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Methode zur Detektion der Materialstruktur (Rißdynamik).

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung besonderer Fragestellungen im Rahmen der regelmäßigen Überwachung.

**Bauwerksprüfung:** Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Einsatzort.

**Bauwerksinstrumentierung:**

**Ausführungen:**

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Gerätekosten:** von 1 bis 10 DM

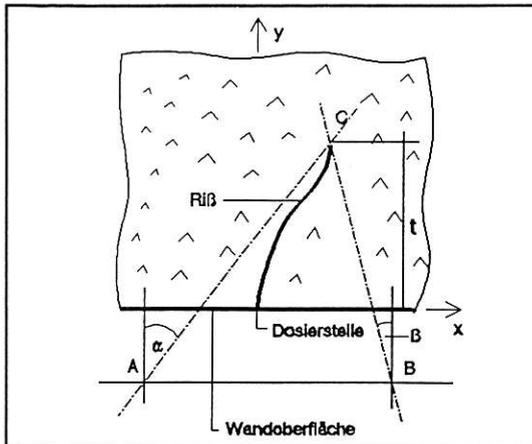
**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Kann auch durch aufwendige elektronische/optische/mechanische Sensoren mit Fernüberwachung ersetzt werden.

**Anwendung:** Es wird quer über den Riß eine Gipsmarkierung angebracht. An dieser kann eine Riaufweitung durch einen Riß der Markierung und eine Riverringering durch Ablösung oder Zerstörung der Markierung erkannt werden. Anhand von Linienmarkierungen kann zusätzlich die Riverbreiterung mit \*optischen Rivermessungsgerten gemessen werden.

Gipsmarken werden z.B. vor dem Einsatz von schweren Gerätschaften (z.B. Dampfhammen) an bereits bestehenden Rissen in umliegenden Bauwerken angebracht, um einen Einfluß der Bauarbeiten auf andere Objekte auszuschließen bzw. nachzuweisen. Auch kann auf diese Weise beobachtet werden, ob und wann Bauwerkssenkungen zum Stillstand kommen.

**Bewertung:** Das Anbringen von Rißmarken stellt eine sehr einfache und wirkungsvolle Methode zur Kontrolle von Riuferbewegungen dar. Das Untersuchungsergebnis beschränkt sich aber auf die Aussage, ob eine Bewegung an der Meßstelle stattgefunden hat oder nicht. Das Ausmessen der Rißbreite gibt dagegen nur einen Anhaltswert, d z.B. durch Temperaturenwirkung und entsprechenden Verformungen des Bauwerks der Riß zu einem anderen Zeitpunkt eine andere Breite aufweisen kann.

berall dort, wo die Überwachung von bestehenden Rissen kritisch ist, steht prinzipiell das gesamte Instrumentarium der modernen Sensor- und Meßtechnik zur Verfügung. Durch entsprechende Weglngemessung und die Speicherung der Meßdaten und Zeiten bei einer Veränderung kann damit eine genauere Messung der Riuferbewegungen stattfinden (s.a. \*Lichtwellenleiter oder /88Kna, 91May/). Der Aufwand für solche Messungen ist jedoch ungleich viel größer als das Anbringen von Gipsmarken.



91Rom

## Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden

**Stichworte:** Radioaktivität — Rißtiefe

**Kurzbeschreibung:** Ein radioaktiver Tracer wird in den Riß eingebracht und das Rißende von der Oberfläche her mit einem Detektor angepeilt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Für das Prüfpersonal ist ein Zertifikat notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Aus Sicherheitsgründen ist eine Absperrung des Bauwerks während der Prüfzeit notwendig.

**Bauwerksprüfung:** Einsatz nur bei gezielter Fragestellung sinnvoll (Prüfung aus besonderem Anlaß).

**Einflußgrößen:** Rißverzweigung.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen am Bauwerk prinzipiell geeignet.

**Ausführungen:** Verfahren befindet sich noch in der Entwicklung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Rißtiefenbestimmung in Beton.

**Entwicklungsstand:** Der Einsatz dieses Verfahrens am Bauwerk erscheint grundsätzlich möglich, erfordert jedoch noch erhebliche Entwicklungsarbeit.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Alternativen: \*Röntgen-Rückstreuung; mit Einschränkung: \*Ultraschall-Laufzeit und Intensität; speziell zu beachten: Strahlenschutz, Verunreinigung des Bauwerkes durch Tracersubstanzen.

**Anwendung:** Die prinzipielle Eignung dieses Verfahrens zur Rißtiefenbestimmung in Beton ist bisher in Laborversuchen nachgewiesen worden. Dabei wurden Rißiefen bis 15 cm reproduzierbar bestimmt.

Zur Durchführung der Messung wird ein radioaktiver Tracer in einem Trägermittel in den Riß eingebracht. Anschließend wird von der Wandoberfläche her mit einem Szintillationszähler, dem ein entsprechender Kollimator vorgeschaltet wird, das Rißende von unterschiedlichen Punkten anvisiert. Das Rißende gilt als erkannt, wenn der Impulsratenanstieg signifikant aus dem Untergrundrauschen heraustritt (s. Abb). Aus den so gemessenen Winkeln kann die Rißtiefe leicht berechnet werden (s. Abb. S.1).

Als Tracer ist in den Laborversuchen der Nuklidgenerator In-113m verwendet worden, der eine  $\gamma$ -Strahlung von 392 keV mit einer Halbwertszeit von 99 min aussendet. Als Trägermittel wird Methylisobuthylketon benutzt, ein mit Wasser nicht mischbares System. Bei der Rißmarkierung treten so (als typischer Wert für einen Rißvolumen von 5 ml) Aktivitätswerte von 50 MBq auf.

Probleme treten bei diesem Verfahren auf, wenn verzweigte oder oberflächenparallele Risse vermessen werden sollen. Aus geometrischen Gründen ergeben sich dann mehrdeutige Interpretationen. Abhilfe könnten hier Radionuklide mit gleichzeitig vorhandenen unterschiedlichen Strahlungsenergien leisten.

**Bewertung:** Das hier beschriebene Verfahren stellt einen interessanten, im Labor getesteten Ansatz zur Rißiefenbestimmung (nicht nur von Beton) dar.

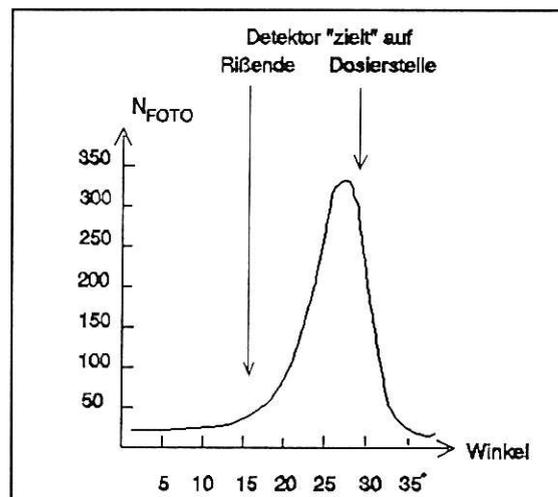
Ob sich das Verfahren für den praktischen Einsatz am Bauwerk eignet und auch durchsetzt, wird von verschiedenen Faktoren abhängen:

- Akzeptanz von Verfahren, die mit radioaktiven Substanzen arbeiten. Hierbei ist auch die notwendige Qualifikation der Anwender zu beachten.

- Verfügbarkeit kurzlebiger, geeigneter Radionuklide um lange Absperrzeiten am Einsatzort zu vermeiden.

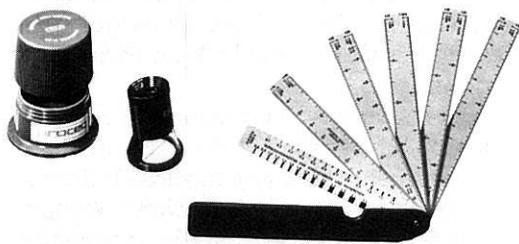
- Behandlung der möglicherweise toxischen oder chemisch aggressiven Rückstände in den Rissen.

Literaturhinweise: 91Rom



Impulsrate über eingestelltem Winkel /91Rom/

## Rißvermessungsgeräte, optische



**Stichworte:** *Bauwerkshaut — Rißerkennung — Rißdynamik — Rißvermessung — Fugen — Spaltweitenänderung*

**Kurzbeschreibung:** Optische Geräte zur Vermessung von Rissen, insbesondere deren Länge, Breite und, bei wiederholten Messungen, deren Veränderung.

90Pro

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Elementar-handwerkliche Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die Meßfläche muß unmittelbar zugänglich sein.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl geeignet für in angemessenen Zeitabständen zu wiederholende Hauptprüfungen als auch für Sonderprüfungen (Prüfung aus besonderem Anlaß).

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für die Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk allgemein geeignet.

**Ausführungen:** Präzisionsmeßlupe mit Skala, Mikrolupe mit Skala und Batteriebeleuchtung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialstruktur, Risse.

**Entwicklungsstand:** Standardmethode.

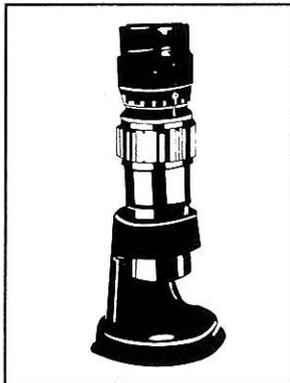
**Gerätekosten:** von 50 bis 500 DM

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Verfahrensansätze zur Rißtiefenbestimmung siehe Index.

**Anwendung:** Das optische Vermessen dient einer Rißbreitenbestimmung z.B. auf Betonoberflächen. Der Vergrößerungsbereich beträgt das 10 bis 20-fache und ermöglicht eine Meßgenauigkeit im 1/10 mm-Bereich. Die Messung ist mit Hilfe eingebledeter Skalen möglich. Die Rißbreitenbestimmung stellt ein wichtiges Verfahren für die Rißcharakterisierung dar, wenn sie in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführt wird.

Ergänzend zur Messung mit Lupen können \*Rißmarken angebracht werden. Die Dokumentation von Rissen in ihrer Dimension und Lage durch photographische Aufnahmen, deren Auswertung in einer digitalen Bildverarbeitung und Speicherung der Daten kann helfen, Risse und deren Veränderung auf kritische Entwicklungen zu untersuchen.



Meßmikroskop von Emil Schneider GmbH & Co.Kg

**Bewertung:** Die optische Rißvermessung ist eine einfache und unkomplizierte Methode zur Bauwerksdiagnose. Ebenso wie die Breite von Rissen können Spaltweiten bzw. Fugen gemessen bzw. deren Bewegung durch wiederholte Messungen registriert werden.

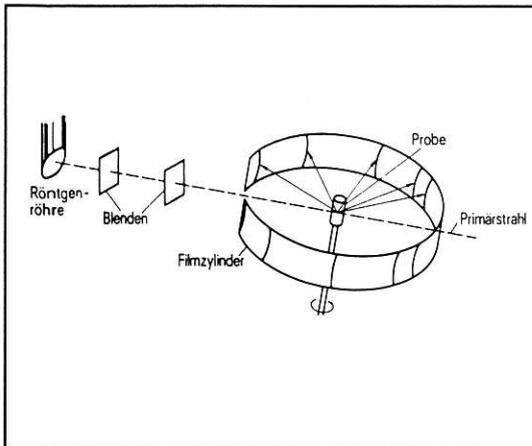
Überall dort, wo die Überwachung von bestehenden Rissen kritisch ist, steht prinzipiell das gesamte Instrumentarium der modernen Sensor- und Meßtechnik zur Verfügung. Durch entsprechende Weglängenmessung und die Speicherung der Meßdaten und Zeitpunkte bei einer Veränderung kann damit eine genauere Messung der Rißuferbewegungen oder auch der Bewegung der Lager von Brücken, von Fugen usw. stattfinden. Dabei kann die Datenerfassung, auch in Abhängigkeit von der Größe des Meßwertes (Grenzschwellen) oder anderer Randbedingungen wie Temperatur, Tageszeit, Verkehrsmenge usw. erfolgen "Intelligente Sensorik"). Der Aufwand für solche Messungen ist jedoch ungleich viel größer als das Anbringen von Gipsmarken.

Leider gibt es keine einfachen Methoden zur Rißtiefenbestimmung. Eine entsprechende Entwicklungsarbeit auf diesem Gebiet ist dringend erforderlich. Hilfsweise werden leicht flüssige Kunstharze injiziert und die Rißtiefe anhand von Bohrproben bestimmt (\*Mikroskopie, optische). Aufwendigere Verfahren dazu sind die \*Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden und die \*Röntgenrückstreuung.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Josef Freundl  
 Peter Schlachta  
 Bluhm & Feuerherdt  
 Elcometer Instruments GmbH  
 FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
 Helmut Hund GmbH  
 PROCEQ SA  
 Emil Schneider GmbH & Co.KG  
 Prof. Dr.-Ing. G. Steinkamp, Labor für Technische Physik

**Literaturhinweise:** 88Kna, 90PRO, 91May, 91Van



82Die

## Röntgen-Diffraktometrie (XRD)

**Stichworte:** Röntgenstrahlung — Metallischer Werkstoff — Probenahme — Zementzusammensetzung — Röntgenbeugung

**Kurzbeschreibung:** Methode zur Strukturanalyse von Einkristallen oder Mischungen von Kristalliten. Beruht auf der Interferenz der an den unterschiedlichen Netzebenen reflektierten Röntgenwellen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Labormethode
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Mehr als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es müssen geringe Mengen an Probenmaterial entnommen werden.

**Bauwerksprüfung:** Im Einzelfall für Prüfungen aus besonderem Anlaß einsetzbar.

**Einflußgrößen:** Veränderung der Substanz bei der Probenahme durch Verunreinigung.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Labor-Untersuchungsmethode, nicht für Messungen am Bauwerk geeignet.

**Ausführungen:** Unterschiedliche Meßprinzipien: Debye-Scherrer-Aufnahme, Goniometer.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Kristallstruktur, z.T. ist auch die Materialzusammensetzung bestimmbar.

**Entwicklungsstand:** Gebräuchliches Laborverfahren in der zerstörungsfreien Prüfung; Einsatz im Bauwesen eher selten.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Vergleiche bei "Bauwerksprüfung".

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Methode wird auch als Röntgenbeugungs-Methode bezeichnet. Englische Bezeichnung für Röntgenstrahlung: X-Ray.

**Anwendung:** Mit der Röntgenstrukturanalyse wird die Struktur von Kristallen bestimmt. Da mineralische Baustoffe, wie z.B. Zementstein und Baukeramik, im Prinzip aus einer Ansammlung von kleinen Kristalliten bestehen, sind Anwendungen zur Baustoffanalyse möglich.

Die Methode wird im Labor von Spezialisten durchgeführt. Dazu werden kleine Probenmengen (wenige Milligramm), entweder als Pulver zerkleinert oder als Einkristall in einer speziellen Apparatur mit Röntgenstrahlung bestrahlt. Je nach Verfahren werden dann die Winkel der auftretenden Beugungsmaxima mit einem in  $360^\circ$  um die Probe angebrachten Film (Debye-Scherrer-Aufnahme) oder einem Detektor, der um die Probe geführt wird (Goniometer), bestimmt. Mit der Anwendung der entsprechenden kristallographischen Methoden können dann die Gitterkonstanten und Kristallsymmetrien bestimmt werden.

Die Anwendung dieser Methode für die Analyse von mineralischen Stoffen aus Bauwerken liegt darin, daß auf diese Weise die dem Bauwerk entnommenen Proben auf ihre Zusammensetzung hin untersucht werden können. Zur Durchführung dieses Verfahrens muß dann allerdings eine Sammlung der Strukturdaten der in Frage kommenden Klinkermineralien vorhanden sein.

Die Bedeutung der Röntgenstrukturanalyse für metallische Werkstoffe ergibt sich wie folgt: Nicht speziell behandelte Metalle bestehen aus regellos verteilten Kristallkörnern und ergeben im Röntgenbild Interferenzringe. Plastische Verformung der Metallprobe, wie Walzen und Ziehen, führen zu einer Textur und äußern sich dann in einer Ausrichtung der Interferenzringe und können somit nachgewiesen und geprüft werden.

**Bewertung:** Die Röntgen-Diffraktometrie (XRD) ist ein sehr wichtiges und aussagekräftiges Instrument zur Strukturaufklärung von Kristallen. Deshalb wird es in der Kristallforschung routinemäßig eingesetzt.

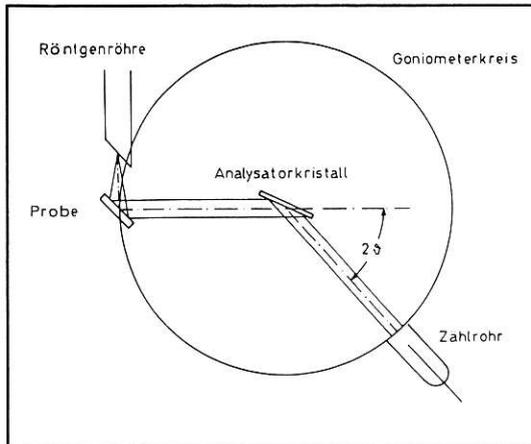
Im Bauwesen ist wegen der Inhomogenität des Baustoffes Beton — er stellt ein Gemisch von sehr vielen verschiedenen Substanzen und Kristalliten dar — der Einsatz dieses Verfahrens nur in Sonderfällen wirklich sinnvoll. Bedeutung gewinnt es dadurch, daß mit XRD die verwendete Zementart identifiziert werden kann.

Die hier beschriebene Röntgenbeugungsmethode zur Strukturanalyse ist nicht zu verwechseln mit der \*Röntgenrückstreuung, die zur Bestimmung der Materialdichte dient.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Gesellschaft für Sediment- und Wasseranalytik mbH  
(SEWA)

**Literaturhinweise:** 65Smo, 72Hen, 86Sch3, 89Kri, 90DGZ1, 90Hen



82Die

## Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)

**Stichworte:** Röntgenstrahlung — Sulfatgehalt — Spektroskopie — Probenahme — Chemische Analyse — Fluoreszenz

**Kurzbeschreibung:** Zur Bestimmung der Elementzusammensetzung von festen, pulverförmigen und flüssigen Proben. Die Atome einer Probe werden durch Röntgenstrahlen angeregt, ihrerseits charakteristische Röntgenfluoreszenzstrahlung auszusenden.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Labormethode
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es müssen Proben genommen werden.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren kann zur Prüfung aus besonderem Anlaß sinnvoll eingesetzt werden.

**Einflußgrößen:** Veränderung der Substanz bei der Probenahme durch Verunreinigung.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Labor-Untersuchungsmethode, für den Feldeinsatz nicht geeignet (vgl. Bewertung).

**Ausführungen:** Als Standard-Laborapparatur in verschiedenen Ausführungen erhältlich.

**Entwicklungsstand:** Ausgereifte Labormethode; zum Einsatz als Prüfverfahren am Bauwerk grundsätzlich geeignet, erfordert jedoch noch erhebliche Entwicklungsarbeit.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Elementzusammensetzung der Probe.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Bei entsprechender Weiterentwicklung kann das Verfahren sinnvoll für die regelmäßige Überwachung eingesetzt werden.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Als aufwendiges Laborverfahren auch unter dem Namen \*Energiedispersive Analyse beschrieben. Alternativ sind alle Methoden der chemischen Analyse denkbar (siehe Index).

**Anwendung:** Die Röntgenfluoreszenzanalyse kann an kleinen, dem Bauwerk entnommenen pulverförmigen Proben durchgeführt werden. Sie ist z.Z. noch eine reine Labormethode, aber durchaus für die Anwendung direkt am Bauwerk entwickelbar.

Die in der Probe enthaltenen Atome werden mit Röntgenstrahlung ihrerseits zur Aussendung einer charakteristischen Röntgen-(Fluoreszenz)-Strahlung angeregt. Diese Eigenstrahlung wird nach ihrer Wellenlänge analysiert, üblicherweise mit einem Analysatorkristall, an dessen Gitterebenen sie reflektiert und damit spektral zerlegt wird. Die Reflexionen werden winkelabhängig als Spektrum registriert. Identifiziert werden die Elemente an ihrem charakteristischen Linienmuster in dem aufgenommenen Spektrum, die Intensität der Linien gibt Aufschluß über den Anteil des entsprechenden Elements. Spektren von realen Proben enthalten eine Überlagerung von vielen Einzelspektren; je nach Anforderung ist der Aufwand für das Erreichen der notwendigen Auflösung entsprechend groß.

Grundsätzlich ist diese Analysemethode für alle Elemente geeignet, jedoch sind die üblicherweise in der Röntgentechnik verwendeten Spektrometer erst für Elemente ab der Ordnungszahl 11 (also Natrium) einsetzbar.

Ein ähnliches Verfahren, das ein anderes Prinzip der Fluoreszenzanalyse benutzt, ist als Gerät unter dem Namen \*Energiedispersive Analyse beschrieben.

**Bewertung:** Die Röntgen-Fluoreszenzanalyse als sehr genaues Analyseverfahren wird bisher ausschließlich im Labor eingesetzt.

Prinzipiell besteht natürlich auch die Möglichkeit, dieses Verfahren mit Hilfe von energiedispersiven Analysatoren direkt am Bauwerk einzusetzen und größere Flächen abzuscannen. Damit wäre es möglich, nicht nur an einem Punkt, sondern die Verteilung der Elemente auf der Oberfläche zu messen. Dies könnte eine neue Dimension in der Analyse von Substanzen auf Bauwerksflächen eröffnen. Mit einer diesbezüglichen Forschungsarbeit wurde begonnen.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Polytec GmbH

**Literaturhinweise:** 60Sch, 86Bou, 89Rom, 90Rön

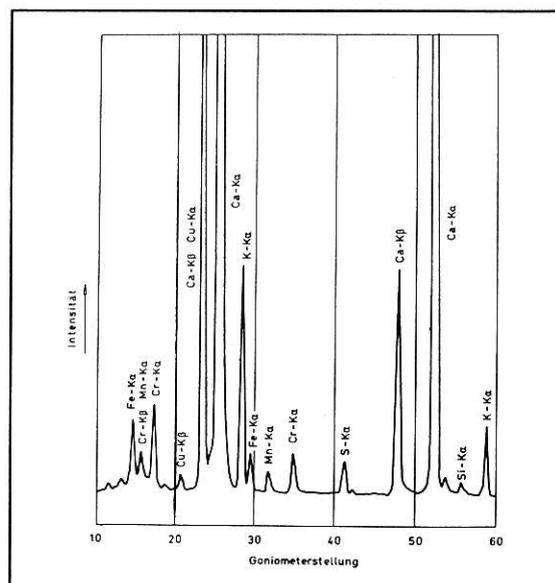
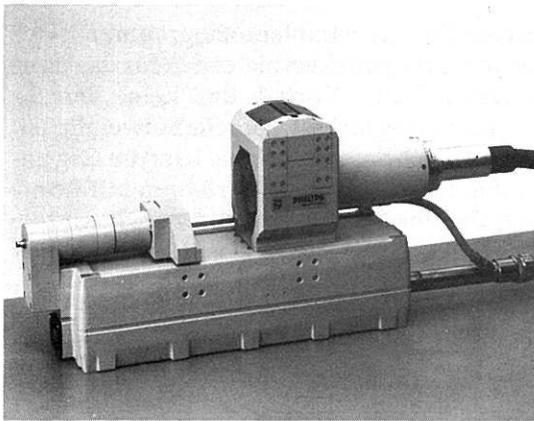


Diagramm der Röntgenfluoreszenzanalyse von Zementstein /82Die/



91Phi

## Röntgen-Rückstreuung

**Stichworte:** Röntgenstrahlung — Bauwerkshaut — Risserkennung — Bildgebendes Verfahren — Compton-Effekt — Rißtiefe

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zur bildgebenden tiefen aufgelösten Darstellung der Materialstruktur unter Ausnutzung des Compton-Effekts. In oberflächennahen Schichten wird die Materialstruktur und -zusammensetzung bestimmt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Zugänglichkeit der zu untersuchenden Oberfläche. Der Strahlenschutz erfordert einen Abstand des Prüfpersonals von mindestens 15m.

**Bauwerksprüfung:** Der Einsatz des Verfahrens wird zumeist nur aus besonderem Anlaß sinnvoll sein.

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk allgemein geeignet.

**Ausführungen:** Zur Anlage gehören: Send- und Meßkopf mit integriertem Detektor-Array; Datenspeicherung und Bilddarstellung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialaufbau und Strukturen werden bildlich dargestellt.

**Entwicklungsstand:** Neuentwicklung; bisher erst vereinzelte Anwendungen im Bauwesen.

**Gerätekosten:** von - bis 925000 DM

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren geeignet.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Als Alternative sind die \*Radiographie mit Gamma- und Röntgenstrahlung zu sehen. Die Röntgen-Rückstreuung erfordert jedoch keine Durchstrahlung des Bauwerks.

**Anwendung:** Die Streustrahlentomographie nutzt den Effekt der Röntgenrückstreuung zur tiefenaufgelösten Darstellung der Materialstruktur aus. Bei dem hier beschriebenen System ComScan handelt es sich dabei um ein Gerät, das auf der zu untersuchenden Fläche aufgebracht wird, die Primärröntgenstrahlung senkrecht in das Material abstrahlt und die Streustrahlung in Rückwärtsrichtung analysiert.

Aus physikalischen Gründen handelt es sich bei der in Rückwärtsrichtung auftretenden Streustrahlung ausschließlich um Comptonstreuung. Bei dieser Art der Streuung wird Energie von der einfallenden Röntgenstrahlung an das Streuzentrum abgegeben, wobei der Energieverlust ein Maß für die Elektronenbindungsenergie der beteiligten Atome und damit stark materialabhängig ist.

Die Messung mit anschließender bildhafter Darstellung liefert ein Schnittbild der gewünschten Ebene, in der die Elementhäufigkeit durch einen entsprechenden Grauwert repräsentiert wird. Die Primärstrahlung tritt als Fächerstrahl in die Probe ein und wird für den Nachweis über ein Schlitzsystem einem Raumwinkelbereich zugeordnet. Wie in der Schnittbilddarstellung gezeigt wird, arbeitet das Gerät mit Detektorenarrays, die mit einer einzigen Aufnahme ein tiefenabhängiges Profil der Streustrahlung messen. Je nach verwendeten Blenden lassen sich dabei Eindringtiefen von 5, 10, oder 50 mm erzielen und in 22 Schichten auflösen. Die noch fehlende Dimension wird erhalten, indem der Meßkopf senkrecht zur Walzenrichtung über die Probenoberfläche verschoben wird.

Das Gerät wurde in erster Linie zur Untersuchung von metallischen Werkstoffen und Kunststoffverbundwerkstoffen entwickelt wie sie im Flugzeugbau Verwendung finden. Im Bauwesen sind wegen der Aktualität der Geräteentwicklung noch keine Ergebnisse von Gebäudeuntersuchungen bekannt. Die Einsatzmöglichkeit zur Untersuchung von Betonkonstruktionen wurde jedoch in Vorversuchen eindeutig demonstriert. So kann die Lage der Bewehrung, die unterschiedliche Körnung der Zuschläge und die Vermessung von Rissen bis zu einer Tiefe von 40 mm mit großer Deutlichkeit erfolgen.

**Bewertung:** Die Streustrahlentomographie auf der Basis des Comptoneffektes bietet den für das Bauwesen wesentlichen Vorteil, daß keine Durchstrahlung der untersuchten Bauteile notwendig ist.

Bedingt durch das Meßprinzip kann im Gegensatz zu den Durchstrahlungsverfahren mit Röntgen- und Gammastrahlung auch der Dichteunterschied von leichten Materialien dargestellt werden.

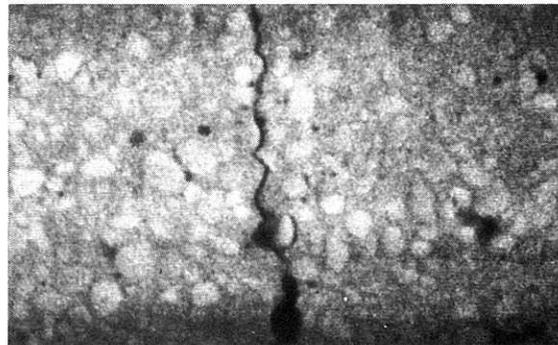
Im Vergleich zu den tomografischen Durchstrahlungsverfahren erfordert das Verfahren keinen aufwendigen Bildrekonstruktionsrechnung, sondern die Tiefenauflösung der Darstellung ist direkt durch die Messung gegeben.

Das neuentwickelte Verfahren der Rückstreuungstomografie dürfte für die Untersuchungen von Betonkonstruktionen ein erhebliches Anwendungspotential besitzen, insbesondere auch, da in bestimmten Fällen auch die Möglichkeit der Rißtiefenbestimmung besteht. Demgegenüber steht allerdings ein erheblicher Anschaffungspreis der Anlage.

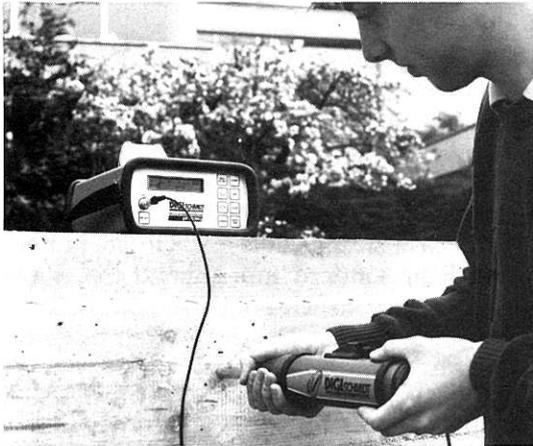
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Philips GmbH, IPG-Industrial X-Ray

**Literaturhinweise:** 91Phi, 91Roy, 91Wie



Tomografische Abbildung eines Risses im Beton  
/91Phi/



90PRO

## Rückprallhammer

**Stichworte:** Druckfestigkeit — Betonfestigkeit — Schmidt-Hammer — Bauwerkshaut — Schlagprüfung — Erhärtungsprüfung

**Kurzbeschreibung:** Der Impuls eines Schlaggewichtes wird über einen Schlagbolzen auf die Betonoberfläche übertragen und aus dem Rückprallmaß -unter bestimmten Voraussetzungen- auf die Druckfestigkeit geschlossen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Elementar-handwerkliche Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die zu untersuchenden Betonoberflächen müssen frei zugänglich sein und dürfen weder Verputz noch Anstrich haben noch durch besondere Einwirkungen (z.B. Feuer, Frost, chemischer Angriff) verändert sein; ggf. Anschleifen erforderlich.

**Einflußgrößen:** Oberflächenbeschaffenheit, Schlagrichtung, Feuchtegehalt, Karbonatisierung der Oberfläche, Betonalter.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren, insbesondere auch für Erhärtungsprüfungen an Betonbauwerken.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialfestigkeit; Verfahren liefert korrelierbaren Kennwert. Wegen des Einflusses des Betonalters darf ohne spezielle Kalibrierung der Rückschluß auf Betonfestigkeitsklasse nur im Alter von 28-90 Tagen erfolgen (DIN 1045 u. 1048 Teil 2).

**Bauwerksüberwachung:** Siehe Eintrag unter "Bauwerksprüfung".

**Bauwerksprüfung:** Für die regelmäßige Untersuchung zwar sehr geeignet, aber -abgesehen von Ausnahmefällen- wird eine laufende Kontrolle der Materialfestigkeit nur selten erforderlich sein. Wichtig hingegen z.B. bei Instandsetzungen.

### Bauwerksinstrumentierung:

**Ausführungen:** Der Rückprallhammer (Schmidt-Hammer) ist vom einfachen Handgerät bis zur Ausführung mit digitaler Meßwertspeicherung und Rechnerkopplung erhältlich.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren; in DIN 1048, Teil 2 und 4, genormt; ebenso Prüfrichtlinien für viele andere Staaten / 86Sch3/.

**Gerätekosten:** von 1000 bis 2000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Wird gemeinsam mit dem \*Kugelschlagversuch auch mit dem Oberbegriff "Schlagprüfung" bezeichnet. Weitere Methoden siehe im Index unter "Betonfestigkeit".

**Anwendung:** Das Verfahren der Rückprallprüfung wird vornehmlich zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Beton eingesetzt. Zur Prüfung wird der Schlagbolzen gegen die zu untersuchende Fläche gepreßt, worauf ein Schlaggewicht durch eine Feder gegen den Schlagbolzen geschleudert wird. Durch die Elastizität des zu prüfenden Materials (des Betons) erfährt der Bolzen einen Rückprall und wird durch eine Feder abgebremst. Der Rückprallweg ist ein Kennwert für das elastische Verhalten der Oberflächennahen Schichten und auch für die Härte des Materials, was wiederum mit der Druckfestigkeit korrelierbar ist. Da es jedoch eine Vielzahl von Einflußgrößen (wie Betonzusammensetzung und Betonalter) gibt, die die Härte und den Elastizitätsmodul von Beton unterschiedlich beeinflussen, kann eine Kalibrierung des Verfahrens nur bei vergleichender

Messung an mehreren dem Bauwerk entnommenen Bohrkernen oder an gesondert hergestellten Probekörpern erfolgen. Die Anzahl der zu entnehmenden Bohrkern richtet sich nach den Forderungen der DIN 1048 Teil 4 unter Beachtung der Größe des zu untersuchenden Bauwerks.

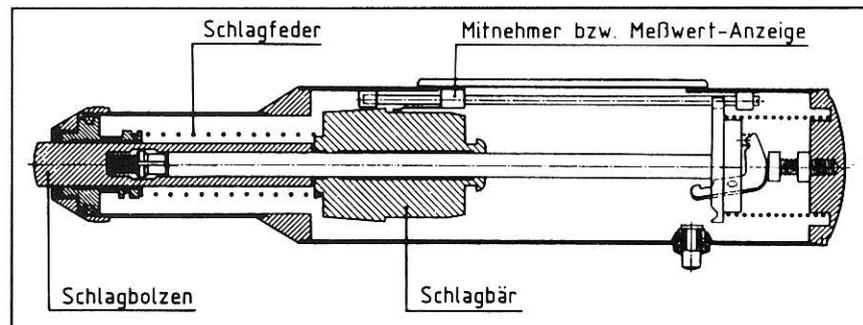
Grundsätzlich ist durch Auswertung der Meßwerte nur eine Aussage über die Beton-Druckfestigkeit zur Zeit der Prüfung möglich. Ausschließlich bei Prüfung im Betonalter von 28 bis 90 Tagen ist eine Zuordnung zur Festigkeitsklasse nach DIN 1045 möglich.

Da die Messung mit dem Rückprallhammer ein schnelles Verfahren ist, lassen sich in relativ kurzer Zeit auch größere Betonflächen punktweise untersuchen, um die Streuung der Betonqualität zu ermitteln oder Anomalitäten zu orten.

Für Reihenuntersuchung ist die Kopplung eines Rückprallhammers mit einem digitalen Aufzeichnungsgerät und Rechner sinnvoll (z.B. Digi-Schmidt der Fa. Proceq). Das erleichtert die statistische Auswertung von Meßreihen und die schnelle Umrechnung der Rückprallwerte in Festigkeitswerte, wenn die entsprechenden Parameter bekannt sind.

**Bewertung:** Das Verfahren hat sich in der Praxis weltweit bewährt und stellt eine preiswerte Methode dar, um aus der Härte in oberflächennahen Bereichen die Druckfestigkeit von Beton vor Ort abzuschätzen

Die Umrechnung der Rückprallwerte in Absolutwerte der Druckfestigkeit ist nicht in jedem Fall direkt möglich, sondern nur anhand des Vergleichs von entnommenen Bohrkernen desselben Bauwerks, an denen die Druckfestigkeit in einer Prüfmaschine zerstörend bestimmt wurde.



Rückprallhammer nach E. Schmidt /86Sch3/

In jedem Fall gehört der leicht handhabbare Rückprallhammer in die Hand von erfahrenem Fachpersonal, damit Fehler wie Schlagen auf federnde Prüfobjekte (deshalb geforderte Dicke mindestens 100 mm), zu geringe Gerätetemperatur, falsche Schlagrichtung usw. vermieden werden (vergl. DIN 1048 Teil2). Auch ist zu beachten, daß bei Unebenheiten und generell bei älterem Beton die Meßfläche zunächst angeschliffen werden muß. Vergleichsmessungen an ein und demselben Bauwerk ergeben jedoch eine große Aussage-sicherheit.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Josef Freundl  
Bluhm & Feuerherdt  
FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
PROCEQ SA  
SUSPA, Spannbeton GmbH  
Vestale GmbH

**Literaturhinweise:** 83Kra, 84Sam, 86Sch3, 86Web, 90PRO



90Sus

## Salz-Test

**Stichworte:** Sulfatgehalt — Umwelteinflüsse — Salzgehalt — Probenahme — Chemische Analyse

**Kurzbeschreibung:** Einfaches naßchemisches Verfahren zum Sulfat- und Nitrat-Nachweis an kleinen Proben.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Chemische Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es ist eine Probenahme erforderlich, dabei ist eine Verunreinigung bzw. chemische Veränderung der Probe zu vermeiden.

**Einflußgrößen:** Kondition der Probenahme (z.B. Bohrtemperatur); Nachträgliche Verunreinigungen; Chemisch verwandte Salze können die Analyse verfälschen.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Im Vordergrund steht die Ermittlung der Materialbeschaffenheit;

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Für mineralische Werkstoffe: Materialzusammensetzung, Anteil an Sulfaten und Nitraten.

**Bauwerksüberwachung:** Vergleiche Angaben in der Rubrik "Bauwerksprüfung".

**Bauwerksprüfung:** An gefährdeten Stellen sinnvoll, der Einsatz erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort und erfolgt zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß.

**Bauwerksinstrumentierung:** Nicht geeignet.

**Ausführungen:** Indikatorpapier mit Farbskalen zum Vergleich.

**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes Verfahren.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Wegen ihrer Wichtigkeit sind die Methoden zum \*Chlorid-Nachweis extra beschrieben; siehe auch im Index unter "Chemische Analyse".

**Anwendung:** Als Salz-Test werden hier diejenigen chemischen Schnellverfahren bezeichnet, die den Nachweis des Nitrat- oder Sulfatanteils einer Probe im gelöstem mineralischen Baustoff gestatten. Es handelt sich dabei um Teststreifen, die in die Lösung getaucht werden und durch eine Farbreaktion die Angabe des entsprechenden Anionenanteils anzeigen. Die Analyseverfahren für die Bestimmung des insbesondere für die Bauwerksanalyse von Betonkonstruktionen wesentlichen Chloridanteils sind im Geräteblatt \*Chlorid-Nachweis skizziert.

In der praktischen Durchführung wird von dem zu untersuchenden Baustoff eine Probe entnommen, zerkleinert und in einem definierten Verhältnis in destilliertem Wasser gelöst. Anschließend wird ein Teststäbchen kurz in die Lösung gehalten und das Ergebnis der nach ca. einer Minute abgeschlossenen Farbreaktion mit einer kalibrierten Farbskala verglichen.

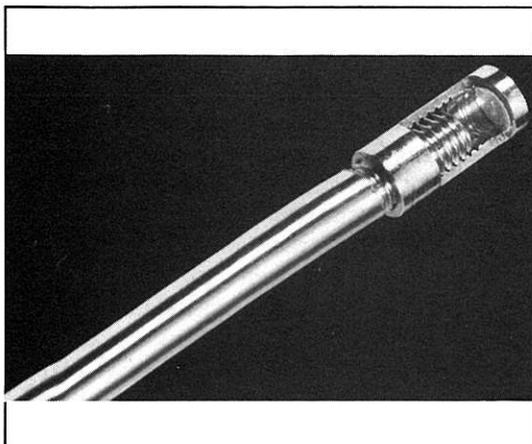
**Bewertung:** Das beschriebene Verfahren kann nur dazu dienen, Anhaltswerte für den Sulfat- bzw. Nitratgehalt einer mineralischen Baustoffprobe zu geben. Wenn genauere Analysewerte erforderlich sind, ist es nötig, auf andere chemische Analysemethoden zurückzugreifen, die z.T. wesentlich aufwendiger sind.

Bei der Wertung der Versuchsergebnisse ist i.d.R. auch die Bauwerksfeuchte bzw. die Baustofffeuchte an der Entnahmestelle zu berücksichtigen.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Germann Instruments, LTD.  
SUSPA, Spannbeton GmbH

**Literaturhinweise:** 88Fri, 90SUS



90BAM1

## Sauerstoff-Sensor

**Stichworte:** *Korrosion — Bohrloch — Gaspermeabilität — Luftdurchlässigkeit von Beton — Lichtwellenleiter — Fluoreszenz — Durchströmbarkeit*

**Kurzbeschreibung:** Sensor zur Messung der Sauerstoffkonzentration im Bohrloch.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Langzeituntersuchung

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Für die Installation sind Bohrlöcher erforderlich. Danach muß die Prüfstelle mit den entsprechenden Gerätschaften zugänglich sein.

**Einflußgrößen:** Temperatur, Feuchte.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Im Vordergrund steht vor Ort die Ermittlung der Materialbeschaffenheit.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Sauerstoffgehalt bzw. Sauerstoffdurchlässigkeit des Betons.

**Bauwerksüberwachung:** Bei Weiterentwicklung des Verfahrens erscheint später die sinnvolle Anwendung bei Überwachungsaufgaben möglich.

**Bauwerksprüfung:** Vergleiche Eintrag unter "Bauwerksüberwachung".

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist grundsätzlich für die Instrumentierung geeignet.

**Ausführungen:** Zwei Lichtwellenleiter für Anregung und Beobachtung mit Spülgaskanal.

**Entwicklungsstand:** Verfahren für das Bauwesen im Entwicklungsstadium, erste Anwendungen in der Erprobung.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Alternativen: Sauerstoffsensoren auf der Basis chemisch/physikalischer Analytik, z.B. IR-Absorption.

**Anwendung:** Zur Messung der Sauerstoffkonzentration in einem Bohrloch existieren zwei Ansätze, die auf unterschiedlichen Verfahren basieren: a) Die elektrische Leitfähigkeit von  $ZrO_2$  wird durch Sauerstoff beeinflusst und daraus der Sauerstoffanteil bestimmt. b) Die Abklingzeit der Fluoreszenz eines speziellen Farbstoffes korreliert mit dem Sauerstoffgehalt.

Zu a): Die Anordnung der Sauerstoffsensoren auf Zirkonoxid-Basis ist in der Abbildung gezeigt. Sie können in luftdicht verschlossene Bohrlöcher eingebracht werden (unterer Durchmesser 13 mm) und haben eine untere Nachweisgrenze von 300 ppm Sauerstoff.

Zu b): Der Sensor wird an der Spitze eines luftdicht verschlossenen Bohrloches installiert und besteht aus einem Farbstoff, zwei Glasfasern und zwei dünnen Röhrchen, durch die der Hohlraum vor der Messung mit einem Inertgas (z.B. ein Edelgas oder Stickstoff) gefüllt wird.

Zur Messung wird an das eine Glasfaserende über eine weitere Glasfaser ein gepulster Laser (z.B. NdYAG mit Frequenzverdopplung) angeschlossen. An die zweite Glasfaser ist eine Diode angekoppelt, mit welcher die Abklingzeit der Farbstoff-Fluoreszenz gemessen wird. Das Ausgangssignal der Diode wird mit einem geeigneten Gerät (z.B. ein schnelles Digitaloszilloskop oder einem Rechner mit einem geeigneten A/D-Wandler-Meßwerterfassungsboard) aufgenommen und die Abklingzeit ausgewertet. Die Abklingzeit läßt sich über eine Referenztabelle direkt mit dem Sauerstoffgehalt der Atmosphäre am Farbstoff korrelieren. Dadurch ist es möglich, das Eindringen des Sauerstoffs über der Zeit zu verfolgen und ein Maß für die Dichtigkeit des Betons und damit für die Korrosionsgefahr zu erhalten.

Bei der Anwendung ist darauf zu achten, daß andere Parameter, die die Abklingzeit ebenfalls beeinflussen, wie z.B. die Temperatur, genau registriert und in die Auswertung einbezogen werden.

**Bewertung:** Das Verfahren der Sauerstoffmessung mit im Bauwerk fest installierten Sensoren befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Deshalb liegen noch keine Erfahrungswerte über die Langzeitbeständigkeit der Sensoren und die Reproduzierbarkeit der Messungen vor. Dennoch besitzt dieses Verfahren ein beträchtliches Potential und könnte helfen, bei kritischen Bauwerken deren Korrosionsgefährdung zu überwachen.

Prinzipiell besteht keine Beschränkung auf den Nachweis von Sauerstoff. Durch die Verwendung entsprechender Farbstoffe, die auf andere Substanzen sensitiv reagieren, sollte es auch möglich sein, andere Gase wie z.B.  $CO_2$ , zu detektieren.

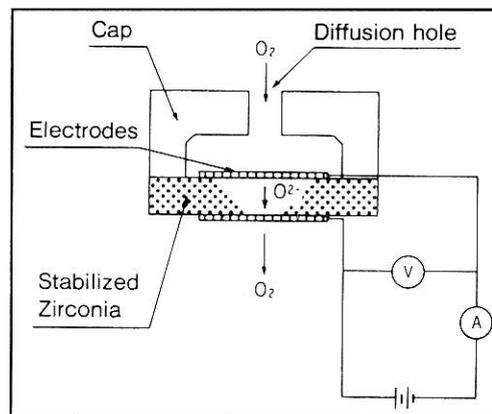
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Endress + Hauser GmbH

PEWATRON AG

Werk für Fernsehelektronik Berlin GmbH

**Literaturhinweise:** 90BAM1, 90Pew



Schematische Darstellung eines Sauerstoff-Sensors auf Basis der Messung der elektrischen Leitfähigkeit von  $ZrO_2$  /90Pew/



90Mic

## Schallemissionsanalyse

**Stichworte:** Akustik — Rißerkennung — Körperschall — Materialermüdung — Frequenzanalyse

**Kurzbeschreibung:** Analyse von Schallsignalen, die von festen Körpern bei mechanischer oder thermischer Belastung unterhalb der Versagensgrenze ausgesandt werden.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Sowohl am Bauwerk als auch im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Mehr als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Für die Messung ist es erforderlich, die notwendigen Sensoren und Lastgeber anzubringen.

**Einflußgrößen:** Andere Geräuschquellen.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Feldmessungen, das Verfahren erfordert jedoch noch erhebliche Forschungsarbeit.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialfestigkeit, insbesondere das Entstehen von (Mikro-) Rissen.

**Bauwerksüberwachung:** Bei Weiterentwicklung des Verfahrens erscheint später die sinnvolle Anwendung bei regelmäßig wiederkehrenden Überwachungsarbeiten durchaus möglich.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist noch wenig in der Praxis erprobt, aber durchaus für den regelmäßigen Einsatz bei Routineprüfungen geeignet.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist grundsätzlich für die Instrumentierung geeignet.

**Ausführungen:** Zu einer typischen Apparatur gehören: mechanische Lasteinrichtung, piezoelektrischer Schallaufnehmer, elektronische Signalverarbeitung. Auch thermische Belastung möglich.

**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes ZfP-Laborverfahren; für das Bauwesen im Entwicklungsstadium, hat aber schon verbreitet Anwendung gefunden.

**Gerätekosten:** von 2000 bis 100000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Auch kombiniert mit dem \*Abreißversuch und der \*Haftzugprüfung einsetzbar.

**Anwendung:** Für das Bauwesen stellt die Schallemissionsanalyse ein für spezielle Anwendungen ausgereiftes Verfahren dar. Beispiele der Einsetzbarkeit sind: Fehlstellen und Risse in Betonbauwerken, Ribildungsvorgnge, Korrosionsrisse, Prüfung von Metallen und Glasfaserverbundwerkstoffen.

Zur Analyse wird der zu untersuchende Körper einer Last, die im Idealfall nicht zu irreversiblen Veränderungen führt, unterworfen. Im Fall von Beton ist allerdings zu bedenken, daß eine mit merklicher Schallemission begleitete Verformung mikroskopisch immer zu kleinen irreversiblen Rissen führt, obwohl sich der Körper makroskopisch durchaus noch nach dem Hookschen Gesetz verhalten kann.

Der Körper erzeugt sodann eine kontinuierliche Schallemission, die durch die Verformung hervorgerufen wird, sowie kurze Schallausbrche (bursts), die z.B. durch Fortpflanzung von Rissen oder Reibung der Riufer erzeugt werden. Diese Schallsignale aus dem Inneren werden an der Oberfläche in Oberflächenwellen umgewandelt, dort mit Hilfe von piezoelektrischen Aufnehmern registriert und können dannverstrkt, gefiltert und — in Abhängigkeit von der anliegenden mechanischen Beanspruchung — aufgezeichnet werden.

Damit ist im Prinzip eine Ortung der Fehlstellen möglich, außerdem erlaubt die Frequenzanalyse in begrenztem Maße eine Typisierung der Fehler.

Zur Messung der Schallemission ist auch eine dynamische Anregung über eine Schwingbelastung möglich.

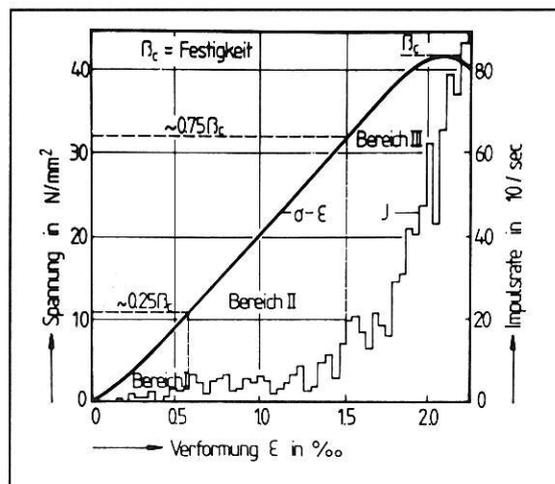
**Bewertung:** Die Schallemissionsanalyse scheint über ein beträchtliches Entwicklungspotential zu verfügen. Mit der Verfügbarkeit von immer leistungsfähigeren Computern wird eine gründlichere Analyse der Signale möglich.

Besonders im kombinierten Einsatz dieses Verfahrens zusammen mit dem \*Abreißversuch und der \*Haftzugprüfung können u.U. diese Verfahren weniger zerstörend durchgeführt werden: Es wird das Schallemissions-Signal ausgewertet und vor dem zerstörenden Bruch der Versuch abgebrochen. Diese und andere Entwicklungsarbeiten zur Schallemissionsanalyse werden aber mit derzeit noch ungewissem Ausgang sicherlich einige Zeit in Anspruch nehmen.

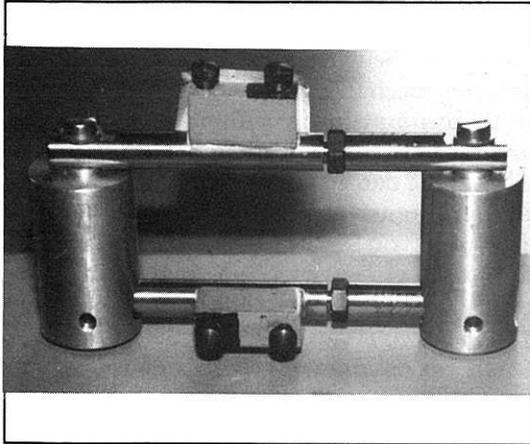
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co.KG

**Literaturhinweise:** 80Sch1, 81Sch, 84M1a, 86Sch7, 86Sch9, 88Kap, 89Kap, 90MIC, 91Flu, 91Sk1



Schallemission von Normalbeton B35 im uniaxialen Druckversuch /86Sch7/



90BAM4

## Schwingsaitenaufnehmer

**Stichworte:** *Brückenverformung — Verformungsmessung — Neigungssensor — Längenänderung, Messung der*

**Kurzbeschreibung:** Meßelement zur Bestimmung kleiner Wegänderungen über die Messung der Eigenfrequenz einer vorgespannten Stahlsaite im Tonfrequenzbereich.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Hilfsgerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Mehr als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Anbringung der Schwingsaitenaufnehmer (meistens durch Klebung) nötig.

**Bauwerksprüfung:** Im Zusammenhang mit der \*Verformungsmessung zur Anwendung bei gezielter Fragestellung sinnvoll (Prüfung aus besonderem Anlaß).

**Einflußgrößen:** Temperatur, Klebung.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist grundsätzlich für die Instrumentierung geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewandtes ZfP-Bau-Verfahren.

**Ausführungen:** Zur Messung verschiedener Größen: Längenänderung, Porenwasserdruck, Temperaturänderung, Doppelaufnehmer zur Messung der Biegeverformung (Biegelinie). Auch als Neigungssensor erhältlich.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialverformung.

**Gerätekosten:** von 1000 bis 5000 DM

**Bauwerksüberwachung:**

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Alternative: Dehnungsmeßstreifen für Verformungsmessung.

**Anwendung:** Der Schwingsaitenaufnehmer ist ein mechanisches Meßsystem zur Messung kleiner Wegänderungen. Das Meßprinzip funktioniert wie folgt: Zwischen zwei auf dem zu messenden Bauwerksbereich fest – meistens durch Klebung – angebrachten Marken ist eine Stahlsaite gespannt. Wegänderungen zwischen den Spannungspunkten äußern sich in Änderung der Eigenfrequenz der Saite, deren Schwingung, nachdem sie von einem kleinen Elektromagneten angeregt wurde, über einen Frequenzzähler gemessen wird. Im Prinzip sind so Änderungen im Bereich  $10^{-6}$  meßbar. Damit liegt das Verfahren in derselben Empfindlichkeitsklasse wie die Dehnungsmeßstreifen.

In der praktischen Durchführung erfolgt die Vorspannung der Saiten meistens so, daß sie im Tonfrequenzbereich zwischen 700 und 2000 Hz schwingen. Je nach zu messender physikalischer Größe und Werkstoff sind verschiedene Aufnehmer erhältlich. Beispiele: Verformungen von Beton, Verformungen von Stahl, Porenwasserdruck, stationäre Neigung, Temperatur.

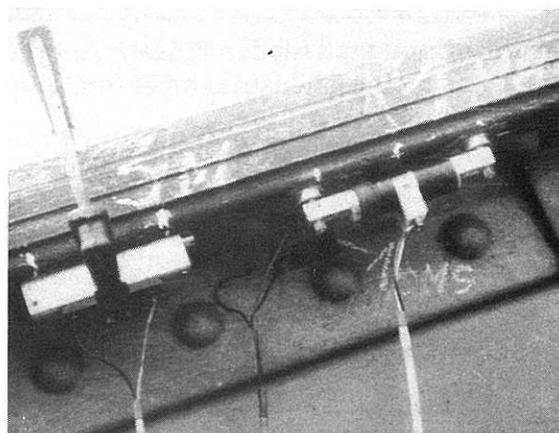
Zur Anwendung in der \*Verformungsmessung ist auch ein Schwingsaitendoppelaufnehmer entwickelt worden, der mit einer anschließenden Berechnung die Aufnahme des kompletten Verformungszustandes über den Bauteilquerschnitt und damit die Bestimmung der Lage der Nulllinie bei Biegung gestattet, wie sie z.B. auch mit Meßuhren möglich ist /90Hel/.

**Bewertung:** Die Schwingsaitenaufnehmer stellen eine einfache, mechanische Methode zur Messung kleiner Verformungen dar. Allerdings kann die Messung nur so genau sein, wie der Kontakt der Aufnehmer mit der zu messenden Unterlage sicher ist. Darin unterscheiden sich diese Sensoren allerdings nicht von Dehnungsmeßstreifen, im Gegenteil, die Schwingsaitenaufnehmer können zur Sicherung des Kontakts z.B. auch ganz einfach mit der Unterlage verschraubt werden oder, bei Messungen an neuen Bauwerken, können entsprechende Aufnehmer zur Vorbereitung der Messung bereits einbetoniert werden. Die Langzeitstabilität dieser Aufnehmer ist jedenfalls besonders gut, so daß sie sich zur Instrumentierung eignen.

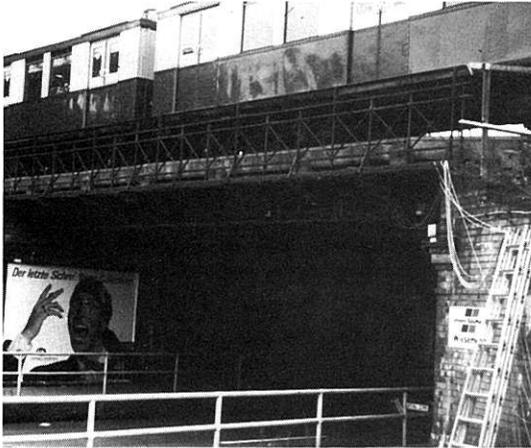
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Maihak AG

**Literaturhinweise:** 80Sch, 82Kas, 90BAM4, 90Hel, 91Sch1



Schwingsaitenaufnehmer im Einsatz an einer Stahlbrücke zur Verformungsmessung /90BAM4/



90BAM5

## Schwingungsanalyse am Bauwerk

**Stichworte:** *Schwingungsmessung — Stahlkonstruktion — Materialermüdung — Beschleunigungsaufnehmer — Brückenverformung — Geophon — Frequenzanalyse — Restnutzungsdauer — Bauwerksdynamik — Bauteildynamik — Piezoelektrische Folie*

**Kurzbeschreibung:** Dynamische Methode zur Schadensfrüherkennung, insbesondere von Brücken: Die mit einem Schwingungserreger erzeugten Vibrationen werden aufgezeichnet, analysiert und daraus Rückschlüsse über den Steifigkeitsverlauf erhalten.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung vor Ort, Auswertung im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Mehr als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Am Bauwerk sind besondere Vorkehrungen zu treffen, u.U. Absperrungen, Anbringen von Sensoren und ggf. Schwingungserregern.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist geeignet für die in angemessenen Zeitabständen zu wiederholende Hauptprüfung.

**Einflußgrößen:** Fremderregung.

**Bauwerksinstrumentierung:** Verfahren ist grundsätzlich für die Instrumentierung geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet für Messungen am Bauwerk, insbesondere an Brücken; untersucht werden nicht einzelne Bauteile, sondern das Bauwerk als Einheit.

**Ausführungen:** Anregung der Schwingungen durch geeignetes mechanisches System oder Verkehrslast; Nachweis mit unterschiedlichen Sensoren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Elastische Materialeigenschaften und die Eigenschwingungen des Gesamtsystems können herausgefunden werden.

**Entwicklungsstand:** Verfahren im Entwicklungsstadium mit ersten Anwendungen in der Praxis.

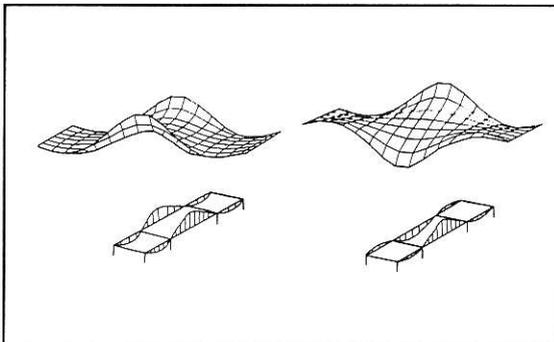
**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren zu aufwendig.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Verwandte Verfahren: \*Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse; Alternative mit Entwicklungspotential: \*Laservibrometer.

**Anwendung:** Bei der mechanischen Frequenzanalyse am Bauwerk handelt es sich um eine dynamische Methode zur Schadensfrüherkennung. Mit dieser noch in der Entwicklung befindlichen Methode sollen Alterungsprozesse und Überlastungen speziell von Stahlbeton-Bauwerken, aber auch von Stahlbrücken, geprüft werden.

Zur praktischen Durchführung wird das Bauwerk mit einem geeigneten Anregungsmechanismus (einzelner Hammerschlag, Maschine mit periodischer Anregung, laufender Verkehr) zu Schwingungen angeregt und die Amplitude an den gewählten Orten mit entsprechenden Detektoren gemessen. Dafür kommen Beschleunigungsaufnehmer, Geophone und in begrenztem Maße auch Dehnungsmeßstreifen und piezoelektrische Folien in Frage. Dabei ist der Einsatz eines elektronischen Datenerfassungssystems sinnvoll, das die synchrone Messung mehrerer Meßpunkte gestattet. Die Daten werden gespeichert und später im Rechner zum Gegenstand einer Schwingungsanalyse gemacht, z.B. zur Ermittlung der Eigenfrequenzen und Schwingungs-Eigenformen.



Gemessene und berechnete 1. und 2. Eigenform der Wannseebrücke /91Rüc1/

**Bewertung:** Das Verfahren der Schwingungsanalyse am Bauwerk ist ein aufwendiges Verfahren zur Bestimmung der dynamischen Eigenschaften von Brücken. Im Prinzip ist das Verfahren aber auch auf andere Bauwerke anwendbar.

Die von den Beschleunigungsaufnehmern registrierten Bewegungen des Bauwerks werden im Rechner zur Ermittlung der Eigenschwingungen und der Schwingungsformen der Gesamtkonstruktion benutzt. Mit diesen Daten kann die Konstruktion auf eventuelle konstruktive Mängel oder Sanierungserfolge, wie z.B. durch nachträgliche Spannbewehrung erhöhte Steifigkeit einer Brücke, überprüft werden.

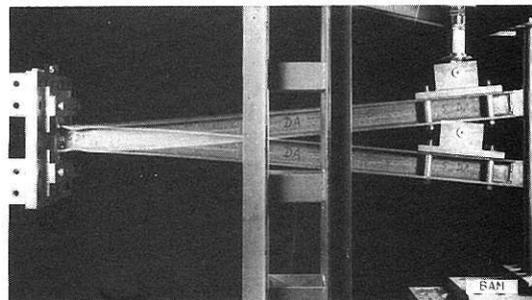
Als Alternative zu Beschleunigungsaufnehmern wäre die Messung mit einem \*Laservibrometer möglich. Mit einem solchen Gerät könnten viele Punkte der Oberfläche schnell und berührungslos auf ihren Beschleunigungszustand abgefragt werden.

Die interferometrische Holographie ist bisher bei großen Objekten nicht zum Einsatz gekommen. Das Problem liegt in der Größe der Objekte und der Empfindlichkeit der Hologrammaufnahme. Der Einsatz von Lasern mit ultrakurzen Pulsen und hoher Leistung könnte hier ein gewisses Entwicklungspotential darstellen.

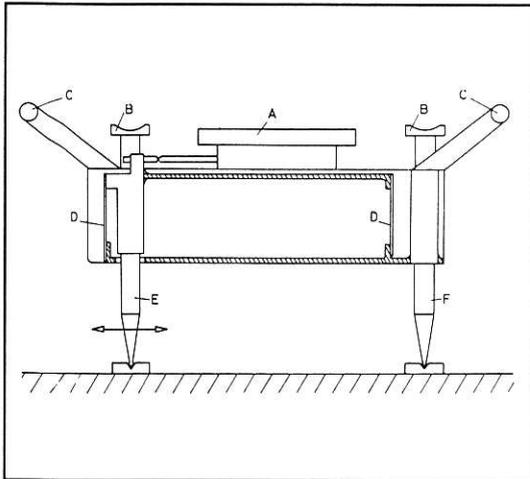
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

ABB Industrie und Automation AG  
 Eckelmann Industrieautomation  
 Endevco  
 Gabo Qualimeter Testanlagen GmbH  
 Hottinger Baldwin Meßtechnik GmbH  
 Scientific Atlanta GmbH

**Literaturhinweise:** 86Blu, 86Sch3, 88Bre, 90BAM5, 90CEB, 90Hew1, 90Hew2, 90Hew3, 91Fle, 91Gie, 91Luz, 91Reh



Stahlträger mit Kopfplattenanschluß unter zyklischer Belastung /90BAM5/



82Die

## Setz-Dehnungsmessung

**Stichworte:** *Brückenverformung — Verformungsmessung — Rißdynamik — Fugen — Spaltweitenänderung*

**Kurzbeschreibung:** Mechanisches Gerät zur Messung kleiner Abstandsänderungen von auf der Bauwerks Oberfläche aufgetragenen Meßmarken.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Elementar-handwerkliche Testmethode
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung ohne Vorkenntnisse möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es müssen Meßmarken auf der Bauwerks Oberfläche angebracht werden.

**Einflußgrößen:** Eine Temperaturänderung zwischen den Messungen verursacht bei mechanischen, nicht temperaturkompensierten Meßgeräten eine Verfälschung.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Zur Rißprüfung (Rißfortschritt) einsetzbar.

**Bauwerksüberwachung:** Vergleiche Eintrag unter "Bauwerksprüfung".

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur bei Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Bauwerksinstrumentierung:** Die Meßmarken am Bauwerk stellen in gewisser Weise eine Instrumentierung dar.

**Ausführungen:** Die Geräte unterscheiden sich nach der Art der Abstandsmessung (mechanisch, optisch, elektronisch).

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren.

**Gerätekosten:** von 5000 bis 7000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Alternativmethoden zur Messung kleiner Wegänderungen: induktiver Wegaufnehmer; Dehnungsmeißstreifen; piezoelektrische Folie, \*Schwingsaitenaufnehmer.

**Anwendung:** Mit Hilfe des Setz-Dehnungsmessers nach Pfender wird der Abstand zwischen mechanischen Meßmarken mit einer Meßuhr gemessen. Die Meßgenauigkeit liegt dabei im Mikrometerbereich.

Das Verfahren eignet sich zur Messung der Verformungsänderung bei Belastungen (siehe \*Verformungsmessung) oder zur Langzeitbeobachtung von Rissen. Die Meßmarken, die aus konischen Metallplättchen bestehen, werden mit Hilfe einer Lehre auf die Oberfläche geklebt und anschließend wird der Setz-Dehnungsmesser aufgesetzt. Die thermische Längenänderung bei zeitlich auseinander liegenden Messungen wird berücksichtigt, indem direkt vor der Messung eine Kalibrierung unter Verwendung eines Stabes durchgeführt wird, dessen Material einen geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist.

In einer Neuentwicklung wird das Prinzip des Setzdehnungsmessers über einen Meßtaster mit Präzisionsmeßschlitten auf elektronischem Weg abgefragt. Die Meßgenauigkeit liegt dabei bei 1 µm.

**Bewertung:** Die Setz-Dehnungsmessung ist im Bauwesen sehr gebräuchlich und bewährt. Mit Meßuhren an fest installierten Meßmarken ist sie eine fast beliebig genaue Meßmethode.

Wie die meisten der elementar-handwerklichen Methoden kann sie inzwischen auch mit modernen optisch/elektronischen Sensoren sowie Datenerfassung kombiniert oder erweitert bzw. ersetzt werden. Die Abstandsmessung mit optischen Verfahren kann, ohne daß eine mechanische Verbindung zwischen den Meßpunkten notwendig ist, genau und unproblematisch auch über größere Entfernungen durchgeführt werden.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Bluhm & Feuerherdt

FORM+TEST Seidner & Co. GmbH



## Ultraschall-Echo

**Stichworte:** Spannstahlbruch — Ultraschall — Fehlstellen — Einschluß — Bewehrungsbruch — Stahlkonstruktion — Rißerkennung — Metallischer Werkstoff — Schallgeschwindigkeit — Impulseecho-Verfahren — Niete — Schrauben

**Kurzbeschreibung:** Aus der Reflexion von Ultraschallpulsen an ggf. vorhandenen Inhomogenitäten wird auf deren Dimension und Tiefe geschlossen; auch Impulseecho-Verfahren genannt.

90BAM1

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Das Frequenzband und die Einkopplung der Ultraschallwellen in das zu messende Bauteil sind durch die Form der Prüfköpfe und Verwendung von Kopplungsmittel von Fall zu Fall zu optimieren.

**Einflußgrößen:** Oberflächenbeschichtung.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren für metallische Werkstoffe.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Zur Erkennung von Materialfehlern in metallischen Werkstoffen gut geeignet, für mineralische Baustoffe nur sehr bedingt einsetzbar.

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet zur regelmäßig auszuführenden Überwachung von Bauwerken.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl für Hauptprüfungen als auch für Sonderprüfungen geeignet.

**Bauwerksinstrumentierung:** Anwendungen nicht bekannt.

**Ausführungen:** Laufzeitmessung und Puls-kontrolle vorzugsweise über integrierten Oszillographen; Hochfrequenzgeräte ( etwa 0.5 bis 15 MHz) für Metalle; Niederfrequenzgeräte ( etwa 20 kHz bis 1MHz) für Beton; vielfältige Prüfköpfe.

**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes Verfahren für Metallbauteile; für mineralische Baustoffe nur bedingt einsetzbar.

**Gerätekosten:** von 15000 bis 20000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Dasselbe Meßprinzip wie bei der \*Schichtdickenmessung mit Ultraschall. Die Apparatur ist auch zur Durchführung von Messungen zur \*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität einsetzbar.

**Anwendung:** Das Impulsecho-Verfahren nutzt die Tatsache aus, daß Ultraschallwellen in einem ansonsten homogenen Werkstoff an der Grenzfläche von Inhomogenitäten reflektiert werden. Aus der Laufzeit des reflektierten Pulses kann die Entfernung der Inhomogenität vom Prüfkopf angegeben und durch Abtasten ggf. auch deren Ausmaße bestimmt werden. Die zu diesem Verfahren verwendeten Ultraschallprüfgeräte bestehen im wesentlichen aus einem Sender, den Prüfköpfen, die die Übertragung auf das zu messende Werkstück realisieren und der Laufzeitmeßeinrichtung, die meistens als Oszilloskop in die Apparatur integriert ist. Mit Hilfe des Oszilloskop kann auch der Einfluß von Störreflexionen bestimmt werden. Im Prinzip beruhen die \*Schichtdickenmeßgeräte mit Ultraschall auf dem gleichen Prinzip.

Die Anwendung in der Praxis unterteilt sich in zwei grundlegende Bereiche, für die aus technischen Gründen auch getrennte Geräte vorzusehen sind:

a) Prüfung von metallischen Werkstoffen: Für Metalle wird im Frequenzbereich von 0.5 bis 15 MHz gearbeitet. Detektiert werden z.B. Risse, Hohlstellen oder der Zustand von Schweißnähten. Insbesondere können auch von außen zugängliche Spannstähle geprüft werden.

b) Prüfung von mineralischen Werkstoffen: Für Beton muß aufgrund der geometrischen Größe der Zuschläge mit kleinen Frequenzen (ca. 30 bis 200 kHz) gearbeitet werden. Das hat zur Folge, daß die Prüfköpfe in ihrer Größe vergleichbar mit der Wellenlänge werden, was zur Abstrahlung eines hohen Anteils von Oberflächen- und Transversalwellen führt, die das gesuchte Longitudinalwellenecho überlagern. Eine Anwendung ist so nur im Einzelfall möglich. Neuere Ansätze unter dem Einsatz einer sog. künstlichen Appertur und der phasenempfindlichen Aufnahme der Echos können hier eine Verbesserung bringen, befinden sich aber noch im Stadium der Erprobung /91Wüs/.

Es können bestimmt werden (falls keine zu intensiven Störechos auftreten): Innere Hohlräume, Rißiefen von Oberflächenrissen. Zur guten Übertragung der Schallwellen auf die Proben ist eine sorgfältige Auswahl der Prüfköpfe und Koppungsmittel erforderlich.

**Bewertung:** Ultraschall-Verfahren sind eine klassische Methode in der zerstörungsfreien Prüfung und bei homogenen Werkstoffen wie Metall in den meisten Fällen ohne Probleme einsetzbar.

Ultraschallmessungen an mineralischen Baustoffen wie Beton werden jedoch von zwei Seiten her kompliziert: Einerseits bedingt die Inhomogenität des Betons eine vielfache und ungerichtete Streuung des Ultraschall-Impulses in alle Richtungen, andererseits ist eine Ankopplung der Prüfköpfe an die Oberfläche bisher nicht zufriedenstellend gelöst. Eine Möglichkeit zur Verbesserung besteht im Prinzip in der Verwendung (teller)großer, den Ultraschall-Impuls fokussierender Prüfköpfe. Als weitere Erschwernis erfordert im Falle von Beton die geometrische Größe der Zuschläge eine relativ große Wellenlänge, die wiederum die Ortsauflösung begrenzt. Im Ergebnis ist daher das Ultraschall-Echo-Verfahren im Massivbau in der Anwendung auf Sonderfälle beschränkt, Verbesserungen durch weitere Forschungsarbeit sind zu erwarten.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

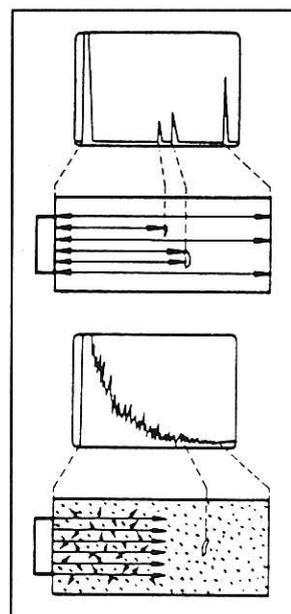
Helling Kommanditgesellschaft für Industrieprojekte und Anlagenbau (GmbH & Co.)

Krautkrämer GmbH

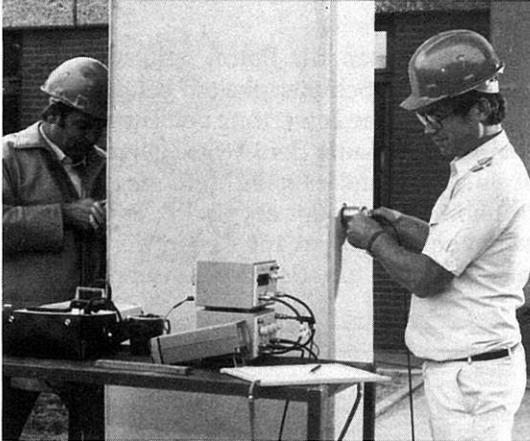
Panametrics GmbH

Rolls-Royce MatEval Ltd.

**Literaturhinweise:** 84Bun, 84Car1, 86Bou, 86Nei, 86Sch9, 88Här, 88Teo, 90BAM1, 90Kli, 90Sch, 90Wüs, 91Kar, 91Nei, 91Wüs



Zum Prinzip des Ultraschall-Impulsecho-Verfahren /86Sch9/



88BAM2

## Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen

**Stichworte:** *Druckfestigkeit — Ultraschall — Betonfestigkeit — Elastizitätsmodul — Schallgeschwindigkeit — Elastische Materialkenngrößen*

**Kurzbeschreibung:** Es wird die Ultraschallgeschwindigkeit aus der Laufzeit von Longitudinalwellen bestimmt und mit Materialeigenschaften, insbesondere der Druckfestigkeit, korreliert.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Relativwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Besondere Sorgfalt bei der Ankopplung der beiden Schallköpfe und der Auswahl des Kopplungsmittels nötig.

**Einflußgrößen:** Feuchtigkeit beeinflusst Zusammenhang zwischen der Ultraschallgeschwindigkeit und Druckfestigkeit; außerdem: Zementmenge und -art, Zuschlagart, Feinanteil, Größtkorn, Betonzusätze.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Unter sonst gleichen Randbedingungen können die Druckfestigkeit und Besonderheiten in der Materialstruktur detektiert werden.

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet für die regelmäßige Überwachung von Bauwerken.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren ist sowohl für Hauptprüfungen als auch Sonderprüfungen geeignet.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für eine Instrumentierung ungeeignet; derartige Anwendung nicht bekannt.

**Ausführungen:** Gerät bestehend aus Ultraschallsender, Prüfköpfen und Nachweiselektronik. Laufzeitanzeige über integriertes Oszilloskop oder Digitalanzeige.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten. Prüfvorschriften: TGL 33437/02

**Gerätekosten:** von 5000 bis 15000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Es kann ggf. schwierig sein, die gesuchte Laufzeit der Longitudinalwellen von denen der Transversal- und Oberflächenwellen sowie von Störreflexionen zu unterscheiden.

**Anwendung:** Das Verfahren der Geschwindigkeitsbestimmung von Ultraschallwellen in mineralischen Baustoffen, speziell Beton, unterscheidet sich nicht prinzipiell von der Ultraschall-Geschwindigkeitsmessung in metallischen Werkstoffen. Aufgrund der Korngröße der Zuschläge im Beton muß mit kleinen Frequenzen, ca. 20 bis 200 kHz gearbeitet werden. Ein Nachteil dieser vergleichsweise niedrigen Frequenzen ist, daß die Ultraschallwellen im Werkstoff schlecht gebündelt werden und gemessene Laufzeitunterschiede sowohl von geänderten Materialeigenschaften als auch von einer veränderten Geometrie abhängen können.

In der Praxis haben sich im wesentlichen Anwendungsbereiche herausgebildet:

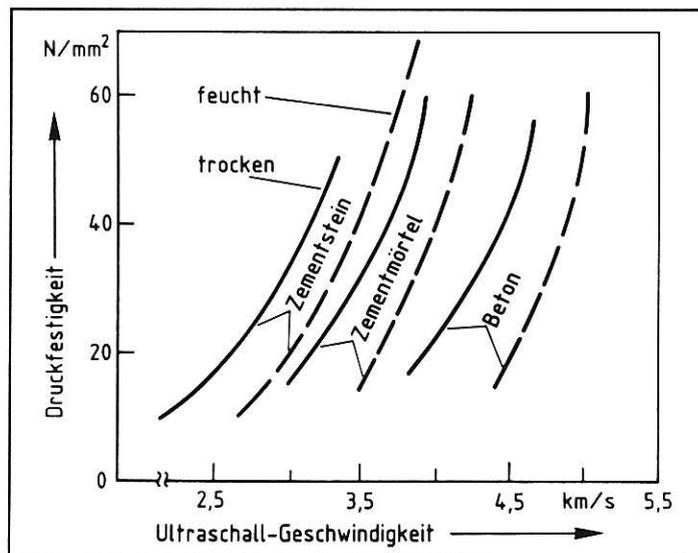
a) Atypisch kleine Schallgeschwindigkeiten lassen eine Schädigung vermuten und sollten eine gezielte Untersuchung mit anderen Methoden einleiten. Schädigungen dieser Art sind z.B. Verdichtungsmängel, Gefügelockerungen infolge Frosteinwirkung, Alkalireaktionen oder durch die gemischte Verwendung verschiedener Materialien (z.B. lockere Hinterfüllung hinter Mauerwerk bei Brückenpfeilern).

b) Relative Messung der Druckfestigkeit am Bauwerk: Mit einer Bestimmung der Druckfestigkeit und der Ultraschallgeschwindigkeit für das betreffende Material in der vorliegenden Beschaffenheit (Struktur, Alter, Feuchtegehalt u.ä.) an Probekörpern (Bohrkernen), die dem Bauwerk gezielt entnommen werden, wird eine Korrelation der Schallgeschwindigkeit mit der Druckfestigkeit erreicht. Schwankungen der Druckfestigkeit und Anomalien können auf diese Weise durch Ultraschall-Messungen erkannt werden. Eine Übertragung der so erhaltenen empirischen Graphen auf andere Bauwerke ist jedoch nicht möglich.

c) Bestimmung einer dem dynamischen E-Modul analogen Größe, die an Probekörpern definierter Abmessungen aus der Ultraschallaufzeit bestimmt wird /91Nei/.

Bei der Anwendung der Ultraschalltechnik für mineralische Baustoffe ist auf eine sorgsame Auswahl der Schallköpfe und der Kopplungsmittel zu achten. Gebräuchlich sind hierfür u.a. Glycerin, Schlammkreide, Schmierseife, Wasser.

**Bewertung:** Mit den für Beton geltenden Einschränkungen der Schwierigkeiten bei der Ultraschallmessung (siehe Bewertung bei \*Ultraschallecho), kann die Messung der Ultraschallgeschwindigkeit als sichere und schnelle Methode zum Auffinden inhomogener oder atypischer Bereiche in mineralischen Baustoffen angesehen werden. Ein allgemeingültiger funktionaler Zusammenhang



Einfluß der Feuchtigkeit auf die US-Geschw. /86Sch3/

zwischen der Ultraschallgeschwindigkeit und der Druckfestigkeit von Beton kann allerdings nicht angegeben werden.

Bei der Messung in Stahlbeton ist zu beachten, daß die Schallgeschwindigkeit im Stahl wesentlich größer als im Beton ist, also die Bewehrung durch ihre Lage die Schallgeschwindigkeit verfälschen kann. Das ist als Fehlergröße auszuschließen.

Zu beachten ist ferner, daß sich die Druckfestigkeit des Betons nicht unmittelbar aus seiner Schallgeschwindigkeit ergibt. Soll jene bestimmt werden, sind vielmehr Korrelationsmessungen an dem Bauwerk entnommen oder an gesondert hergestellten Proben notwendig (siehe unter "Anwendung" b) /91DAf/.

#### Gerätehersteller/-lieferanten:

Krautkrämer GmbH  
Panametrics GmbH  
SUSPA, Spannbeton GmbH  
Prof. Dr.-Ing. G. Steinkamp, Labor für Technische Physik

**Literaturhinweise:** 62Poh, 77Dob, 84Bun, 84Car1, 86Bou, 86Mel, 86Nei, 88BAM2, 88Här, 88Teo, 89Kli, 91DAf, 91Flu, 91Nei, 91Röt



86Sch8

## Ultraschall-Laufzeit und -Intensität

**Stichworte:** *Ultraschall — Fehlstellen — Einschluß — Rißerkennung — Oberflächenwelle — Baustoffdynamik — Niete — Schrauben — Rißtiefe*

**Kurzbeschreibung:** Die Laufzeit und Intensität von Ultraschallimpulsen werden in Abhängigkeit vom Schallweg bestimmt. Aus dem Kurvenverlauf und der Dämpfung kann auf Lage und Geometrie von Fehlstellen und Rissen geschlossen werden.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Besondere Sorgfalt ist bei der Ankopplung der Schallköpfe und der Auswahl des Kopplungsmittels nötig.

**Bauwerksprüfung:** Einsatz des Verfahrens erfordert keine nennenswerten Vorbereitungen am Meßort.

**Einflußgrößen:** Feuchtigkeit, Korngröße.

**Bauwerksinstrumentierung:** Für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Bewährtes und häufig angewandtes ZfPBau-Verfahren.

**Ausführungen:** Zur Apparatur gehören Ultraschallsender, Prüfköpfe und Oszilloskop.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Materialstruktur (wie z.B. Gefügelockerung, Verdichtungsmängel).

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Gebräuchliches Verfahren, geeignet zur regelmäßig auszuführenden Überwachung von Bauwerken.

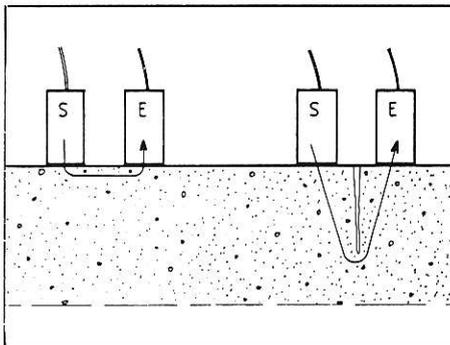
**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Verfahren ist mit denselben Komponenten wie dem \*Ultraschallecho-Verfahren durchführbar.

**Anwendung:** Die Durchschallung von Bauteilen kann auch zur Ortung und Vermessung von Fehlstellen und Rissen verwendet werden (zu den anderen Ultraschallverfahren siehe auch \*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen, \*Ultraschall-Echo, \*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall).

Bei der Messung wird vorausgesetzt, daß sich die Schallwellen in dem untersuchten Bauwerksteil mit einheitlicher Geschwindigkeit ausbreiten, während sie an einer Fehlstelle verlangsamt werden, oder im Fall von Rissen einen Umweg laufen müssen, der die Laufzeit verlängert. Trägt man die Laufzeit zwischen Sender und Empfänger in Abhängigkeit von deren Abstand auf, ergibt sich am Ort der Fehlstelle ein Kurvenversatz.

Dieses Verfahren wird vornehmlich zur Rißtiefenbestimmung von Oberflächenrisen eingesetzt, wobei die Oberflächenwellen des Ultraschalls (Rayleighwellen) ausgenutzt werden. Im Durchschallungsverfahren können so auch innere Hohlräume und Lunker in Betonteilen geortet werden, wobei noch die Schallschwächung als zusätzliche Information herangezogen wird.

In der praktischen Durchführung ergeben sich bei diesem Verfahren in der Anwendung für mineralische Baustoffe, insbesondere Beton, Schwierigkeiten. Abgesehen von dem Störeinfluß der Betonzuschläge ist für die Messung der Rißtiefe zu beachten, daß z.B. durch Verunreinigungen im Riß Schallbrücken entstehen, die eine kleinere Rißtiefe vortäuschen.



Schematische Darstellung des Schallstrahlenverlaufes /86Sch8/

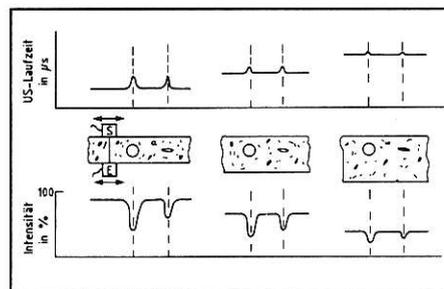
**Bewertung:** Das Verfahren ist in vielen Fällen ausgezeichnet zur Ortung und Vermessung von Fehlstellen in metallischen Werkstoffen gut geeignet. Für die Messung von Betonbauteilen sind die in der Bewertung des \*Ultraschallechos angegebenen Punkte zu beachten, welche die Inhomogenität des Betons betreffen.

Bei mineralischen Baustoffen sind durch Vergleich von Meßwerten Veränderungen oder auch starke Abweichungen vom Üblichen feststellbar. Ohne Vorinformation sind jedoch Resultate anders als bei Metallen schwer zu interpretieren.

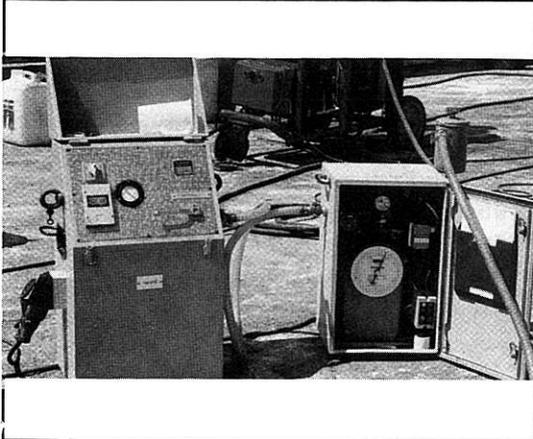
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Rolf Krompholz GEOTRON - ELEKTRONIK  
Krautkrämer GmbH  
MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co.KG  
PROCEQ SA  
Panametrics GmbH  
Prof. Dr.-Ing. G. Steinkamp, Labor für Technische Physik

**Literaturhinweise:** 83Röt, 84Bun, 84Car1, 86Bou, 86Mel, 86Nei, 86Sch3, 86Sch8, 88Här, 88Teo, 90Kli, 90Sch, 91Nei



Einfluß von Fehlstellen im Beton (luftgefüllter Hohlraum, Riß) auf Ultraschall-Laufzeit und -Intensität /86Sch3/



90Dyw

## Vakuum-Verfahren

**Stichworte:** Fehlstellen — Bohrloch — Gaspermeabilität — Einschluß — Bauwerkshaut — Luftdurchlässigkeit von Beton — Durchströmbarkeit

**Kurzbeschreibung:** Zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Beton: Messung des Druckanstiegs in einem evakuierten und abgedichteten Bohrloch.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es sind Bohrlöcher erforderlich.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren wird zumeist nur zur Prüfung aus besonderem Anlaß eingesetzt.

**Einflußgrößen:** Feuchtigkeit kann das Meßergebnis extrem beeinflussen.

**Bauwerksinstrumentierung:** Das Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Im Vordergrund steht vor Ort die Ermittlung der Materialbeschaffenheit.

**Ausführungen:** Die Ausführungen unterscheiden sich nach Art der Pumpe, Druckmeßeinrichtung und Bohrlochausführung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Bestimmt wird die Gasdurchlässigkeit des Betons als Kennwert für Porosität, evtl. Risse.

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Für die regelmäßig auszuführende Überwachung ist das Verfahren zu aufwendig.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Siehe auch \*Druckgasverfahren und \*Gaspermeabilitätsverfahren.

**Anwendung:** Mit dem Verfahren lassen sich Kennwerte für die Luftdurchlässigkeit von Beton erhalten. Ein 5 mm Bohrloch, das mit einem Stöpsel abgedichtet ist, wird über einen Pumpkanal evakuiert. Anschließend wird der Druckanstieg im Bohrloch gemessen. Dieser liefert ein Maß für die Gasdurchlässigkeit.

Die Kennwerte für die Gasdurchlässigkeit sind Anhaltswerte für die Korrosionsanfälligkeit und das Fortschreiten der Karbonatisierungsfrent in Stahlbeton.

Besondere Sorgfalt ist beim Abdichten des Bohrlochs erforderlich, da sonst die Meßwerte extrem verfälscht werden können.

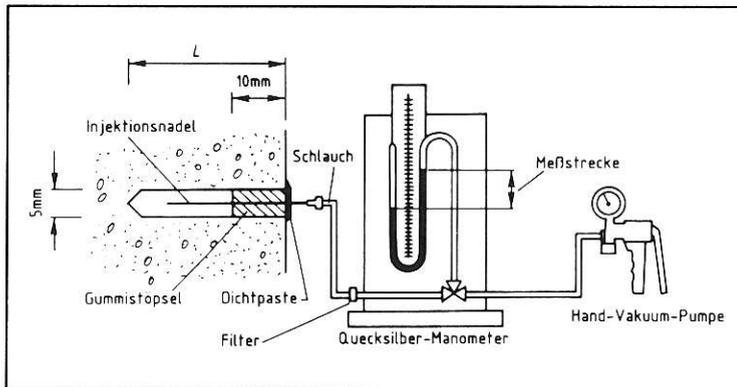
Im Meßergebnis weniger exakt aber auch weniger aufwendig und praktisch zerstörungsfrei sind Varianten des Vakuum-Verfahrens, bei denen der Unterdruck nicht in einem Bohrloch sondern in einer Saugglocke auf der Oberfläche erzeugt wird.

**Bewertung:** Das Vakuum-Verfahren liefert auf einfache Weise Kennwerte für die Gasdurchlässigkeit von Beton. Allerdings ist eine kritische Analyse der Versuchsbedingungen erforderlich: Feuchtigkeit beeinflusst durch die damit einhergehende Verstopfung der Porenstruktur die Permeation von Luft extrem. Ein absoluter Vergleich zwischen verschiedenen Messungen muß deshalb auch immer die Analyse des Feuchtegehalts mit einschließen.

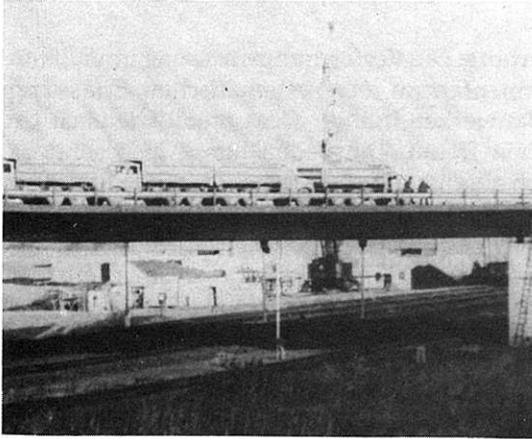
Eine mögliche Weiterentwicklung bei diesem Verfahren ist die Verwendung eines Massenspektrometers im Pumpkanal. Damit kann die Zusammensetzung des abgepumpten Gases analysiert und mit hoher Empfindlichkeit die Diffusion von speziellen Gasen gemessen werden. Diese werden auf der Oberfläche angeboten und können möglicherweise auch zur Detektion von Rissen verwendet werden. Insbesondere Helium als (Tracer-) Gas

ist hierzu geeignet: Helium kommt als sehr leichtes Edelgas in den tieferen Schichten der Atmosphäre praktisch nicht vor und kann mit einem Massenspektrometer sehr empfindlich mit gutem Signal/Rausch-Verhältnis gemessen werden (siehe dazu auch \*Gaspermeabilitäts-Verfahren).

**Literaturhinweise:** 73Fig, 85McC, 86Sch3, 90Fra1, 91Wig1



Vakuum-Verfahren zur Bestimmung der Luft- bzw. Gasdurchlässigkeit von Beton /86Sch3/



90Sch2

## Verformungsmessung

**Stichworte:** *Dehnungsmessstreifen — Brückenverformung — Neigungssensor — Längenänderung, Messung der — Probelastung — Piezoelektrische Folie*

**Kurzbeschreibung:** Oberbegriff für den Einsatz von Prüfgeräten und -verfahren zur Messung geometrischer Größen wie bei der durch gezielte Belastung verursachten Verformung von Bauwerken.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung vor Ort, Auswertung im Labor
<b>Auswertung:</b>	Die Meßdaten bedürfen einer aufwendigen Auswertung im Labor
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Mehr als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Am Bauwerk sind besondere Vorkehrungen (Verkehrseinschränkung) nötig.

**Einflußgrößen:** Nicht gewollte Vibrationen, Klimabedingungen.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Untersucht werden sowohl das Gesamtbauwerk als Einheit als auch einzelne Bauteile.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Das Verfahren kann Hinweise auf mögliche Materialschädigungen geben.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Verfahren sind sowohl geeignet für die in angemessenen Zeitabständen zu wiederholende Hauptprüfung als auch für Sonderprüfungen (Prüfung aus besonderem Anlaß).

**Bauwerksinstrumentierung:** Unter Verwendung von \*Lichtwellenleitern in Erprobung.

**Ausführungen:** Zur Längenänderungsmessung (im cm-Bereich): geodätische Vermessungsgeräte; Zur relativen Verformungsmessung: Div. Sensoren (siehe Rubrik "Anwendung").

**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit vielfältigen Entwicklungsmöglichkeiten ("intelligente" Sensorik).

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Die Verformungsmessung ist eine klassische Methode, um Informationen über das Tragverhalten von Bauwerken, insbesondere Brücken, zu erhalten. Sie beinhaltet die Messung geometrischer Größen im Rahmen von Bauwerksüberwachung, -prüfung und Diagnose von Anomalitäten.

Hierzu dienen für die absolute Verformungsmessung optische und mechanische Geräte wie geodätische Vermessungsgeräte, Nivellierinstrumente, Theodolite und Lote. Für die relative Verformung dienen Meßverfahren auf elektronischem Wege: Dehnungsmeßstreifen (hier sind starke Unterschiede bezüglich Meßlänge bei Metallen gegenüber mineralischen Baustoffen zu beachten), induktive Wegaufnehmer, \*Schwingsaitenaufnehmer und \*Neigungssensoren. Ferner sind im Prinzip möglich, aber noch wenig erprobt: \*Holographische Interferometrie, Laser-Speckle-Photographie, \*Lichtwellenleiter und \*Laservibrometer, \*Vermessung über Satellit. Auch eine auf Lasermeßtechnik beruhende optische Zweikoordinaten-Verformungsmeßeinrichtung für Verschiebungen bis 1.5 mm wurde entwickelt /91Sch/.

Gegenstand der Messung sind globale und lokale Bauwerksverformungen (horizontale und vertikale Verschiebungen, Verdrehungen, Verbiegungen, Verbeulungen, Dehnungen) mit dem Ziel der Erfassung von Gesamt-Bauwerkszuständen und kritischen Einzelbereichen; z.B. an Brückenpfeilern, Lagern, Gradienten, Lichtraumprofilen. Ferner können das Rißverhalten massiver Bauteile, die Indikation von Spanngliedbrüchen und die Stabilität von Stahlbauteilen Gegenstand der Untersuchung sein. Ein weiteres Beispiel ist die zerstörungsfreie Ermittlung der Traglast von Geschoßdecken.

Die Messungen finden am ruhenden Bauwerk sowie unter Probelastungen oder, im Falle von Brücken, bei fließendem Verkehr statt. Sie richten sich auf das Langzeitverhalten des Bauwerks (beginnend mit "Nullmessung" nach Fertigstellung), periodische Schwankungen unter jahreszeitlichen und klimatischen Einflüssen, einseitige Temperaturbelastung durch Sonneneinstrahlung und auf das dynamische Bauwerksverhalten unter Verkehr.

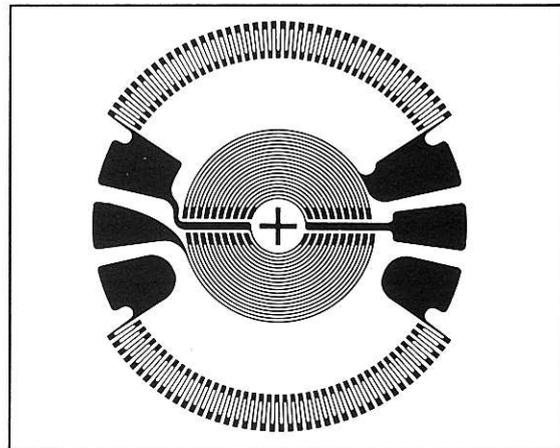
**Bewertung:** Die Verformungsmessung umfaßt ein Instrumentarium zur systematischen Erfassung von Bauwerken in ihrer Gesamtheit wie auch im örtlichen Detail. Die Beobachtung insbesondere zeitlich aufeinander folgender Zustände hinsichtlich des Veränderungsverhaltens stellt ein unverzichtbares Diagnosewerkzeug dar, welches Rückschlüsse auf die Entwicklung auch unsichtbarer Schäden ermöglicht.

Leider ist es z.Z. noch nicht möglich mit holographischen Verfahren den Verformungszustand eines gesamten Bauwerks (z.B. einer Brücke) zu erfassen. Eine entsprechende Entwicklung auf diesem Gebiet wäre wünschenswert.

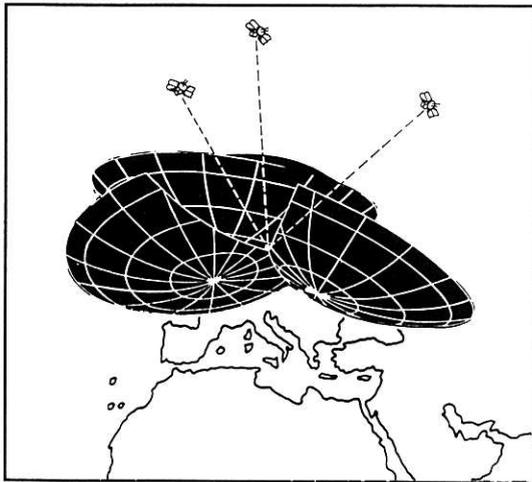
**Gerätehersteller/-lieferanten:**

BLH SR-4 Sensoren GmbH  
Baumer electric GmbH  
Eckelmann Industrieautomation  
Glonner Electronic GmbH

**Literaturhinweise:** 83Kra1, 90BAM4, 90Hel, 90Sch2, 90War, 91Ber, 91Pla, 91Sch1, 91Ste



Spezieller Dehnungsmeßstreifen zur Verformungsmessung (Membran-Vollbrücke der Fa. BLH SR-4 Sensoren GmbH)



91Spe

## Vermessung über Satellit

**Stichworte:** Entfernungsmessgeräte — Satellit

**Kurzbeschreibung:** Bestimmung von dreidimensionalen Punktkoordinaten und Koordinatendifferenzen mit Hilfe von Satellitenbeobachtungstechniken.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Geeignete Zahl von Satelliten muß zur Einsatzzeit erreichbar sein.

**Einflußgrößen:**

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk allgemein geeignet.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Entfällt, da andere Aufgabenstellung.

**Bauwerksüberwachung:** Verfahren eignet sich zur Klärung spezieller Fragestellungen im Rahmen von regelmäßig auszuführenden Überwachungen.

**Bauwerksprüfung:** Siehe Bauwerksüberwachung.

**Bauwerksinstrumentierung:** Prinzipiell auch für Langzeituntersuchungen geeignet.

**Ausführungen:** Das Gerät besteht aus einem Empfänger für die Satellitensignale.

**Entwicklungsstand:** Verfahren im Entwicklungsstadium, erste Anwendungen in der Praxis

**Gerätekosten:** von 40000 bis 60000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Gegenüber herkömmlichen Methoden bedeutend höherer technischer Aufwand.

**Anwendung:** Die Vermessung mittels Satellitenbeobachtungstechniken ist dort sinnvoll anzuwenden wo herkömmliche geodätische Methoden aufgrund z.B. fehlenden topografischen Sichtverbindungen nicht mehr einsetzbar sind. Eine Voraussetzung zur Anwendung ist die Verfügbarkeit eines geeigneten Satellitensystems. Dies steht gegenwärtig mit dem vom US-Department of Defence installierten und unterhaltenen Global Positioning System (GPS) zur Verfügung. Mit einem geeigneten Empfänger lassen sich bei vollem Ausbau des Systems jederzeit, an jedem Ort die Signale von 4..7 Satelliten gleichzeitig empfangen.

Zur Bestimmung von dreidimensionalen Punktkoordinaten findet die Methode der Pseudodistanzmessung Anwendung. Dabei wird die Zeit des Empfangs der Signale von vier Satelliten und die im Signal verschlüsselten Aussendezeitpunkte und Bahndaten zur Berechnung genutzt. Es ist eine kontinuierliche dreidimensionale Echtzeitnavigation mit Fehlern kleiner  $\pm 10$  m möglich.

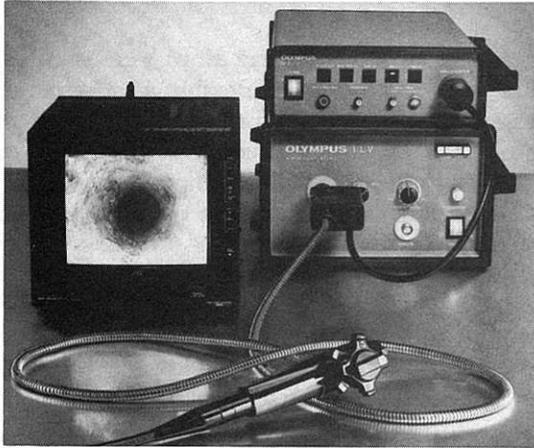
Die Phasemessung beim gleichzeitigen Empfang der Satellitensignale auf zwei räumlich getrennten Bodenstationen erlaubt die Bestimmung von Koordinatendifferenzen mit Genauigkeiten im cm-Bereich.

Das Verfahren fand zur Deformationsüberwachung an einem Pumpspeicherwerk in Vianden (Luxemburg) erfolgreich Anwendung. Dabei diente die Satelliten-Vermessung zum Nachweis von Verschiebungen der lokalen Überwachungsnetze der Objekte Staumauer, Becken, Maschine,...) untereinander.

**Bewertung:** Das Verfahren ist eine sinnvolle Ergänzung herkömmlicher geodätischer Verfahren. Seine besonderen Vorteile sind: Unabhängigkeit von der Geländegestalt, keine topografische Sichtverbindung notwendig, stetige Verfügbarkeit.

Wenn die Nutzungsbedingungen des GPS-Systems für zivile Zwecke geklärt sind und die z.Z. noch hohen Investitionskosten im Laufe der Entwicklung sinken, ist eine breitere Nutzung der Methode denkbar.

**Literaturhinweise:** 88Spe, 91Spe



90Oly

## Videoskop

**Stichworte:** *Hohlraum — Bohrloch — Bauwerkshaut — Rißerkennung — Endoskop (flexible Ausführung) — Sichtprüfung — Bildgebendes Verfahren*

**Kurzbeschreibung:** Gerätekombination aus einem flexiblen Endoskop und einem in der Meßsonde integrierten Video-Chip (CCD), wodurch sich die Möglichkeit der Video-Aufzeichnung mit evtl. späterer digitaler Bildverarbeitung ergibt.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Quasi zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Anwendung nach einer Einweisung von wenigen Stunden möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Es müssen Hohlräume in geeigneter Form vorhanden sein oder erzeugt werden.

**Einflußgrößen:** Verschmutzung des Videoskops, insbesondere durch Staub.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Geeignet zur visuellen Inspektion von vorhandenen oder künstlich erzeugten Hohlräumen.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Der Zustand von Oberflächen an schwer zugänglichen Stellen kann inspiziert werden.

**Bauwerksüberwachung:** Für die laufende Überwachung zu aufwendig.

**Bauwerksprüfung:** In vielen Fällen zur Sichtprüfung geeignet.

**Bauwerksinstrumentierung:** Das Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Ausführungen:** Außendurchmesser 6 bis 20 mm; Übertragungslänge 2 bis 22 m.

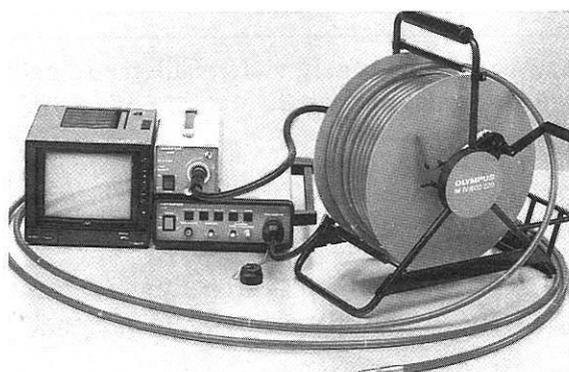
**Entwicklungsstand:** Standardverfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten.

**Gerätekosten:** von 25000 bis 100000 DM

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** In vielen Fällen reicht ein \*Endoskop (flexible Ausführung) aus.

**Anwendung:** Der Begriff Videoskop bezeichnet die Kopplung eines Endoskops mit einem Video-Chip (CCD: Charge Coupled Device). Der Aufnahme-Chip ist dabei im Kopf des Endoskops integriert, so daß die weitere Bildübertragung auf elektronischem Wege erfolgen kann und sich große Übertragungswege realisieren lassen. Durch die dadurch gegebene hohe Auflösung und die Video-Aufzeichnungsmöglichkeit der endoskopischen Untersuchung ergibt sich außerdem eine Erweiterung gegenüber der rein visuellen Anwendung der Endoskopie.

Durch eine Nutzung der Möglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung (wie z.B. Konturenhebung oder Mustererkennung) läßt sich dann die Aussagegenauigkeit bei der Schadenserkenkung steigern. Die CCD-Chips werden üblicherweise in Farb-Version (PAL-Norm) angeboten. Die Kamera-Kontroll-Einheit ist netzfrei für den mobilen Einsatz erhältlich.



Videoskop von Olympus (Firmenunterlage)

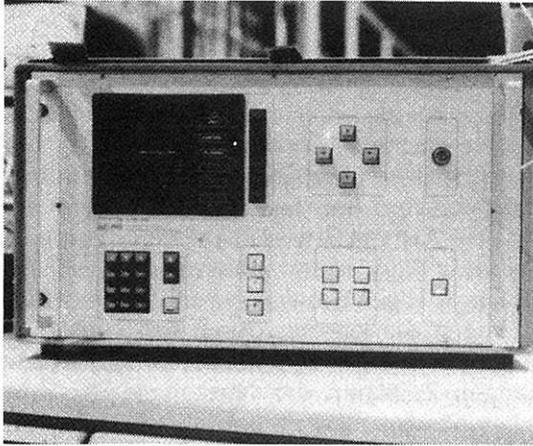
**Bewertung:** Die Verwendung eines Videoskopes anstelle eines \*Endoskopes (flexible Ausführung) mit angeschlossener Videokamera vergrößert in begrenztem Rahmen die Aussagesicherheit einer Sichtprüfung in von außen zugängigen Hohlräumen. Gegenüber dem normalen flexiblen Endoskop ist eine wesentlich bessere Auflösung gegeben, allerdings ist der Minimaldurchmesser (10 mm) im Vergleich zum Endoskop recht groß. Ein weiterer Vorteil des Videoskopes besteht darin, daß die Bildübertragung auf elektrischem Wege erfolgt, also wesentlich geringere Lichtverluste als das Endoskop aufweist. Das kann bei Tunnel- und Kanalisationsuntersuchungen von Vorteil sein. Ansonsten gelten die unter den Geräteblättern zu den anderen Endoskopen angegebenen Verfahrensgrenzen.

Der Unterschied zwischen einem Videoskop und einem Video-Endoskop besteht darin, daß beim Videoskop der CCD-Chip (die Kamera) direkt vorne im Kopf des Endoskopes untergebracht ist, während beim Video-Endoskop eine Videokamera an der Stelle, wo sonst das Auge des Betrachters ist, installiert wird. Diese Begriffs-Unterscheidung ist allerdings noch nicht allgemeiner Sprachgebrauch.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Classen + Co.(GmbH + Co.)  
 Olympus Optical Corporation GmbH  
 Michael Steiner Richard Wolf GmbH  
 Schölly Fiberoptic GmbH  
 Storz GmbH & Co., Karl  
 Videomed GmbH

**Literaturhinweise:** 88Cav, 90Oly1



91Dob

## Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden

**Stichworte:** *Magnetische Verfahren — Barkhauseneffekt — Spannstahlzustand*

**Kurzbeschreibung:** Die Signale, die beim Ummagnetisieren von ferromagnetischen Proben durch das "Umklappen" der Weiß'schen Bereiche entstehen, werden magnetinduktiv abgetastet und zur Bestimmung der mechanischen Vorspannung der Spannstähle herangezogen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit aufwendigen Geräten
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsarm
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Durchführung der Untersuchung nur durch Spezialisten möglich
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als ein Tag

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Die zu untersuchende Stelle des Spannstahles ist durch eine Öffnung von  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  freizulegen.

**Bauwerksprüfung:** Einsatz wegen des hohen Aufwandes nur aus besonderem Anlaß sinnvoll.

### Einflußgrößen:

**Bauwerksinstrumentierung:** Bei Weiterentwicklung und Preisreduktion evt. möglich.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen unmittelbar am Bauwerk allgemein geeignet.

### Ausführungen:

**Entwicklungsstand:** Gebräuchliches Verfahren in der zerstörungsfreien Prüfung; Einsatz im Bauwesen in der Erprobung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Vorspannungsmessung an Spannstahl.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Siehe unter "Bauwerksprüfung"

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:**

**Anwendung:** Die mikromagnetischen Methoden umfassen Barkhausenrauschen, Überlagerungspermeabilität, dynamische Magnetostriktion und Oberwellenanalyse der magnetischen Tangentialfeldstärke und werden unter der Kurzbezeichnung 3MA (Mikromagnetische-, Multiparameter-, Mikrostruktur- und Spannungs-Analyse) zusammengefaßt /91Dob/. Die Methoden sind natürlich nur auf ferromagnetische Stoffe anwendbar, da Effekte der Ummagnetisierung zur Messung benutzt werden. Dabei entsteht durch die Verlagerung der Blochwände zwischen Weiß'schen Bezirken (Gebiete gleicher Magnetisierungsrichtung) ein als Barkhausenrauschen meßbares Signal, welches mit elektronischer Signalanalyse aufbereitet wird (Filterung, FFT-Analyse).

Zur Messung wird ein Prüfkopf, bestehend aus einem U-förmigen Joch mit zwei Erregerspulen für die beiden Schenkel, zwischen denen sich eine magnetinduktive Abtastspule zur Aufnahme des Barkhausenrauschens befindet, auf den Probekörper gesetzt. Eine in die Spule integrierte Hallsonde mißt dabei das tangential Magnetfeld.

Die relativ komplizierte Auswertung der Signale liefert Werte für den Klirrfaktor des Signals, welche auf dem Umweg über Kalibrierkurven auf die Vorspannung umgerechnet werden können.

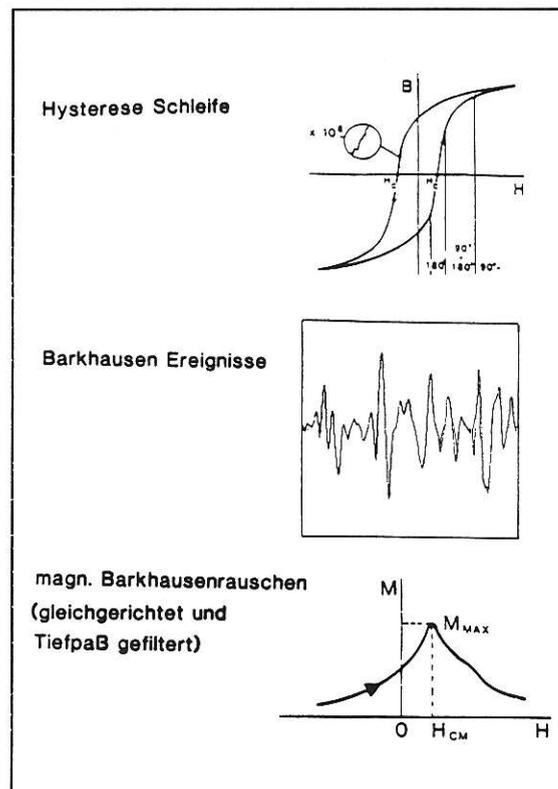
Die Messung kann zwar nicht zerstörungsfrei, jedoch weitgehend zerstörungsfrei durchgeführt werden, weil sie nur direkt am Spannstahl stattfinden kann. Eine lokale Öffnung von  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , in der das Spannglied vollkommen freigelegt wird, ist notwendig, um den Prüfkopf aufsetzen zu können.

**Bewertung:** Bisher gibt es keine etablierte Methode die Vorspannung von Spanngliedern und deren Relaxation über die Lebensdauer eines Bauwerkes zuverlässig zu messen und zu überwachen. Die mikromagnetischen Methoden sind noch im Entwicklungsstadium und bisher nur im Labor erprobt. Diese Art von Sensoren eignen sich möglicherweise zur Bauwerksinstrumentierung und damit zur langfristigen Bauwerksüberwachung. Sollte es gelingen, die Sensoren durch eine Serienproduktion zu verbilligen und die Meßsicherheit für den langen Zeitraum der Nutzungsdauer von Spannbetonbauwerken zu garantieren, könnten diese Sensoren einen wesentlichen Beitrag zur kontinuierlichen Überwachung von Spannbetonbauwerken darstellen.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Tiede GmbH + Co.

**Literaturhinweise:** 89Bac, 91Dob, 91Tir



Magnetisches Barkhausenrauschen /91Dob/



90Roh

## Wirbelstromverfahren

**Stichworte:** *Magnetische Verfahren — Schichtdicke — Stahlkonstruktion — Rißerkennung — Metallischer Werkstoff*

**Kurzbeschreibung:** Verfahren zur Vermessung von Rissen und Fehlstellen in metallischem Material. Basiert auf der magnetischen Wechselwirkung zwischen dem Magnetfeld einer Induktionsspule und den im metallischen Werkstoff induzierten Wirbelströmen.

### Klassifizierungen

<b>Technisch:</b>	Prüfverfahren mit leicht handhabbarem Gerät
<b>Ausprägung:</b>	Zerstörungsfrei
<b>Einsatzort:</b>	Messung und Auswertung direkt am Bauwerk möglich
<b>Auswertung:</b>	Die Untersuchung liefert Absolutwerte vor Ort
<b>Handhabung:</b>	Eine Schulung des Prüfpersonals ist notwendig
<b>Zeitaufwand:</b>	Weniger als eine Stunde

**Nebenbedingungen für den Einsatz:** Nur für metallische Werkstoffe.

**Bauwerksprüfung:** Für die regelmäßig wiederkehrende Prüfung geeignet.

**Einflußgrößen:** Beschichtungen.

**Bauwerksinstrumentierung:** Das Verfahren ist für die Instrumentierung nicht geeignet.

**Eignung zur Bauwerksdiagnose:** Für Untersuchungen am Bauwerk allgemein geeignet.

**Ausführungen:** In vielen Variationen, je nach Prüfkopf, Spule und Meßwerterfassung bzw. -auswertung.

**Zielgröße Materialbeschaffenheit:** Zum Erkennen von Materialfehlern in metallischen Werkstoffen gut geeignet; Prüfung von Rissen und Fehlstellen.

**Entwicklungsstand:** Ausgereiftes Untersuchungsverfahren.

**Gerätekosten:** von - bis - DM

**Bauwerksüberwachung:** Geeignet für die regelmäßige Überwachung von sicherheitsrelevanten Bauwerksbereichen.

**Bemerkungen, Empfehlungen, Alternativmethoden:** Verwendung des Wirbelstromverfahrens auch beim \*Bewehrungssuchgerät (Ortung und Betondeckung) sowie \*Schichtdickenmessungen von dünnen Beschichtungen.

**Anwendung:** Das Wirbelstromverfahren nutzt die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen einer Induktionsspule und dem im zu prüfenden Objekt induzierten Wirbelstrom aus. Die Meßgröße bei diesem Verfahren ist im Prinzip der Wechselstromwiderstand der Induktionsspule. Eventuell vorhandene Anomalien, wie Risse und Fehlstellen beeinflussen den Verlauf des Wirbelstroms und bewirken einen gegenüber dem ungestörten Zustand veränderten Wechselstromwiderstand.

Zur Messung wird ein Prüfkopf, in dem sich eine Spule befindet, über die Oberfläche des Materials geführt. An Rissen oder anderen Fehlstellen werden die induzierten Kreisströme (Wirbelströme) in ihrer Ausbildung behindert, der Wechselstromwiderstand verändert sich und kann über entsprechende Anzeigen abgelesen werden.

**Bewertung:** Das Wirbelstromverfahren ist ein einfaches und wirkungsvolles Verfahren zur Detektion von Rissen und oberflächennahen Defekten in Metallen (sowohl für magnetisierbare als auch nicht magnetisierbare Metalle).

Wegen der Beschränkung auf leitende Materialien ist es leider für den Bereich der mineralischen Baustoffe nicht einsetzbar.

**Gerätehersteller/-lieferanten:**

Elektro-Physik GmbH & Co.KG  
HELLING KG (GmbH & Co.)  
Helling Kommanditgesellschaft für Industrieprojekte  
und Anlagenbau (GmbH & Co.)  
Institut Dr. Förster GmbH & Co.KG  
Dipl.-Ing. Heinrich List GmbH  
Rohmann GmbH

**Literaturhinweise:** 75Luz, 75Luz1, 82Die, 86Bou, 89Beh, 90DGZ, 90Roh, 90Rön

ABB Industrie und Automation AG  
D-4000 Düsseldorf 11, Postfach 270163  
*Mikroklima-Bestimmung*  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*

AGEMA Infrared Systems GmbH  
D-6370 Oberursel/ Ts., Zimmersmühlenweg 40  
*Infrarot-Thermographie*

Ahlborn Meß- und Regelungstechnik  
D-8150 Holzkirchen, Eichenfeldstrasse 1-3  
*Anemometer*  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Airflow Lufttechnik GmbH  
D-5308 Rheinbach, Kleine Heeg 21  
*Anemometer*  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Al Tektron Mess-Systeme GmbH  
D-4005 Meerbusch 1, Dorfstraße 26  
*Mikroskopie, optische*

ALS Analytical Laboratory Systems GmbH  
D-6705 Deidesheim, Postfach 204  
*Mikrowellen-Reflexion*

Althen Meß- und Datentechnik GmbH  
D-6233 Kelkheim/ Ts., Frankfurter Straße 150  
*Anemometer*  
*Mikroklima-Bestimmung*  
*Neigungssensor*

Andernach KG, A.W.  
D-5300 Bonn 3, Postfach 300109  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*

ASM GmbH, Automation Sensorik Meßtechnik  
D-8025 Unterhaching, Von-Stauffenberg-Straße 25  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Automation Dr. Nix GmbH  
D-5000 Köln 60, Robert-Perthel-Straße 2  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*

Bauakademie der DDR Institut für Technologie und  
Mechanisierung  
D-1125 Berlin, Plauener Straße 163/165  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*

Baumer electric GmbH  
D-6360 Friedberg, Pfingstweide 28  
*Verformungsmessung*

Berg & Meyer Industrie-Consulting GmbH  
D-6803 Edingen-Neckarhausen, Freiherr-von-Drais-  
Straße 56  
*Holographische Interferometrie*

Prof. Dr. Berthold Laboratorium  
D-7547 Wildbach 1, Calmbacher Straße 22  
*Mikrowellen-Transmission*

BLH SR-4 Sensoren GmbH  
D-7100 Heilbronn, Postfach 1205  
*Verformungsmessung*

Bluhm & Feuerherdt  
D-1000 Berlin 19, Sophie-Charlotte-Str. 15

*Abreiß-Versuch*  
*Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*  
*Chlorid-Nachweis*  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse*  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Haftzugprüfung*  
*Kalzium-Karbid-Methode*  
*Magnetpulverprüfung*  
*Mikroklima-Bestimmung*  
*Rißvermessungsgeräte, optische*  
*Rückprallhammer*  
*Setz-Dehnungsmessung*

BRAIVE Instruments  
B-4000 Liege, Rue Henri Bles, 39  
*Anemometer*  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*  
*Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand*  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*

Brüel und Kjaer  
D-2085 Quickborn, Postfach 1160  
*Laservibrometer*

Bähr-Gerätebau GmbH  
D-4971 Hüllhorst, Tonstraße 5  
*Differential-Thermo-Analyse (DTA)*

CARLO ERBA INSTRUMENTS  
D-6238 Hofheim/ Ts., Nordring 30  
*Quecksilber-Porosimeter*

Classen + Co.(GmbH + Co.)  
D-2100 Hamburg 90, Großmoorkehre 4  
*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Videoskop*

Dantec Elektronische Meßgeräte GmbH  
D-7500 Karlsruhe 1, Schinnrainstraße 9  
*Anemometer*  
*Laservibrometer*

DIFFU-THERM, Helmut Klumpf, Technische Chemie  
GmbH  
D-4352 Herten, Postfach 14 44  
*Farb-Eindringverfahren*  
*Magnetpulverprüfung*

Driesen + Kern GmbH  
D-2000 Tangstedt, Wiesenweg 2  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Friedrich Duss Maschinenfabrik GmbH & Co  
D-7265 Neubulach/Schwarzwald,  
*Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung*

Eckelmann Industrieautomation  
D-6200 Wiesbaden, Berliner Straße 161  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*  
*Verformungsmessung*

ecoTech, G.F. Behre, Umwelt-Meßsysteme  
D-5300 Bonn, Siemensstraße 8  
*Anemometer*  
*Magnetische Rißortung in Spannstählen*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Elcometer Instruments GmbH  
D-7300 Esslingen, Albblick 18

*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Mikroklima-Bestimmung*  
*Rißvermessungsgeräte, optische*

Elektro-Physik GmbH & Co.KG

D-5000 Köln 60, Pasteurstraße 15

*Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)*  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*  
*Wirbelstromverfahren*

Endevco

D-6900 Heidelberg, Schloß-Wolfsbrunnenweg 15

*Schwingungsanalyse am Bauwerk*

Endress + Hauser GmbH

D-7864 Maulburg, Hauptstraße 1

*Mikroklima-Bestimmung*  
*Sauerstoff-Sensor*

ERA Technology Ltd

GB-Surrey KT22 7SA, Cleeve Road, Leatherhead

*Radar*

Felten & Guillaume Energietechnik AG

D-5000 Köln 80, Postfach 805001

*Lichtwellenleiter*

FORM+TEST Seidner & Co. GmbH

D-7940 Riedlingen, Zwiefalter Str. 20

*Abreiß-Versuch*  
*Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*  
*Chlorid-Nachweis*  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Haftzugprüfung*  
*Haftzugprüfung*  
*Kalzium-Karbid-Methode*  
*Magnetpulverprüfung*  
*Mikroklima-Bestimmung*  
*Rißvermessungsgeräte, optische*  
*Rückprallhammer*  
*Setz-Dehnungsmessung*

Josef Freundl Maschinen- und Gerätebau

D-3015 Wennigsen 1,

*Abreiß-Versuch*  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)*  
*Haftzugprüfung*  
*Kalzium-Karbid-Methode*  
*Mikroklima-Bestimmung*  
*Rißvermessungsgeräte, optische*  
*Rückprallhammer*

Gabo Qualimeter Testanlagen GmbH

D-3031 Ahlden/ Aller, Schulstraße 6

*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*

Geraberger Thermometerwerk GmbH

D-6300 Ilmenau, Weimarer Straße 77

*Infrarot-Strahlungsthermometer*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Germann Instruments, LTD.

DK-2400 Copenhagen, Emdrupvej 102

*Abreiß-Versuch*  
*Auszieh-Versuch*  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)*  
*Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand*

*Haftzugprüfung*  
*Indikator-Technik*  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*  
*Salz-Test*

Gesellschaft für Sediment- und Wasseranalytik mbH  
 (SEWA)

D-4300 Essen, Kruppstr. 82

*Gaschromatographie*  
*Mikroskopie, optische*  
*Röntgen-Diffraktometrie (XRD)*

Glonner Electronic GmbH

D-8033 Martinsried, Fraunhoferstraße 11a

*Verformungsmessung*

GoRaTec

D-8253 Buchbach, Buchenstraße 9

*Infrarot-Thermographie*

Hadland Photonics GmbH

D-5030 Hürth, Robert-Bosch-Straße 6

*Infrarot-Thermographie*

John S. Hall British Import & Trading

D-8170 Bad Tölz, Kogelweg 10

*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*

Heimann GmbH

D-6200 Wiesbaden, Weher Köppel 6

*Infrarot-Strahlungsthermometer*

HELASYSTEM GmbH

D-8082 Grafrath (München), Postfach 28

*Neigungssensor*

HELLING KG (GmbH & Co.)

D-2000 Hamburg 54, Sylvesterallee 2

*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Farb-Eindringverfahren*  
*Magnetpulverprüfung*  
*Radiographie mit Gammastrahlen*  
*Radiographie mit Röntgenstrahlen*  
*Wirbelstromverfahren*

Helling Kommanditgesellschaft für Industrieprojekte  
 und Anlagenbau (GmbH & Co.)

D-2000 Hamburg 54, Sylvesterallee 2

*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Farb-Eindringverfahren*  
*Magnetpulverprüfung*  
*Ultraschall-Echo*  
*Wirbelstromverfahren*

Heraeus Vötsch GmbH

D-7460 Balingen, Beerhovenstr. 34

*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*

Herion-Werke KG

D-7012 Fellbach, Postfach 1560

*Abreiß-Versuch*  
*Haftzugprüfung*

Hewlett-Packard GmbH, Vertriebszentrale Deutschland

D-6380 Bad Homburg, Hewlett-Packard-Straße

*Gaschromatographie*  
*Mikrowellen-Reflexion*  
*Mikrowellen-Transmission*

HL-Planartechnik GmbH

D-4600 Dortmund, Emil-Figge-Straße 76  
*Neigungssensor*

Hochtief AG Abtl. Qualitätssicherung  
D-6000 Frankfurt/Main 1, Bockenheimer Landstr. 24  
*Induktions-Thermographie*  
*Magnetische Rißfortung in Spannstählen*

Hottinger Baldwin Meßtechnik GmbH  
D-6100 Darmstadt, Im Tiefen See 45  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*

Helmut Hund GmbH  
D-6330 Wetzlar 21, Stadtgrenze Wetzlar/Nauborn  
*Mikroskopie, optische*  
*Rißvermessungsgeräte, optische*

Dr. K. Hönle GmbH  
D-8033 Martinsried, Fraunhoferstraße 5  
*Farb-Eindringverfahren*

Hörotron GmbH, Phys.-Techn. Meß- u. Datentechnik  
D-2200 Elmshorn, Berliner Straße 20  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*  
*Infrarot-Thermographie*

i-Technik, B. Nötel  
D-4902 Bad Salzuflen, Gartenstraße 21  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*

IGM Ingenieurgesellschaft für Geophysikalische Messtechnik m.b.H.  
D-7770 Überlingen, Alte Nußdorfer Straße 1  
*Radar*

Insight Vision Systems Ltd.  
GB-Malvern WR136NP, Hanley Rd.  
*Infrarot-Thermographie*

Institut Dr. Förster GmbH & Co.KG  
D-5090 Leverkusen, Moltkestraße 20  
*Wirbelstromverfahren*

Ircon GmbH/Square D  
D-6204 Taunusstein-Hahn, Grillparzerstraße 40  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*

IRIS GmbH Infrared Innovation System  
D-6100 Darmstadt, Alsfelder Straße 11  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*  
*Infrarot-Thermographie*

Isotopen-Technik Dr. Sauerwein GmbH  
D-5657 Haan/Rheinl. 1, Bergische Straße 16  
*Computer-Tomographie*  
*Radiographie mit Gammastrahlen*

Itronic-Fuchs GmbH  
D-7819 Denzlingen, Robert-Bosch-Straße 6  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Mikroklima-Bestimmung*

JMS Jörg-Michael Schlender  
D-1000 Berlin 41, Rubensstraße 104  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*  
*Mikroklima-Bestimmung*

M.K. Juchheim GmbH & Co.  
D-6400 Fulda, Moltkestraße 13-31  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Krautkrämer GmbH  
D-5030 Hürth 5, Robert-Bosch-Straße 5  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*  
*Ultraschall-Echo*  
*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*  
*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*

Rolf Krompholz GEOTRON - ELEKTRONIK Werkstatt für elektronische Geräte  
D-8301 Langenhennersdorf, Pirnaer Straße 9  
*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*

Land infrarot GmbH  
D-5090 Leverkusen 3, Daimlerstraße 6  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*

LAP GmbH, Laser Applikationen  
D-2120 Lüneburg, Goseburgstraße 27  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*

Leco Instrumente GmbH  
D-8011 Kirchheim, Benzstr. 5b  
*Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse*

Lemmens GmbH, J.W. GmbH Grindo-Sonic  
D-5000 Köln 60, Postfach 60 07 03  
*Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse*

Dipl.-Ing. Heinrich List GmbH  
D-7022 Leinfelden-Echterdingen, Max-Lang-Straße 56  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)*  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*  
*Wirbelstromverfahren*

Maihak AG  
D-2000 Hamburg 60, Semperstraße 38  
*Neigungssensor*  
*Schwingsaitenaufnehmer*

Dr. Georg Maurer GmbH, Optoelektronik  
D-7441 Kohlberg, Industriegebiet 10  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*

Merz & Klasmeyer GmbH, Temperaturmesstechnik  
D-6400 Fulda, Browerstraße 39  
*Mikroklima-Bestimmung*

Messerschmitt Bölkow Blohm (MBB) GmbH  
D-8012 Ottobrunn, Prandtlstraße  
*Neigungssensor*

miat GmbH  
D-6500 Mainz-Mombach, Nerobergstraße 1  
*Radar*

MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co.KG  
Bereich Werkstoffprüfung  
D-8359 Ortenburg, Königsbacher Straße 15  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*  
*Schallemissionsanalyse*  
*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*

Nema Electronics BV Meet- en Regeltechniek  
NL-1007JB Amsterdam, Postfach 7056  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)*

Netzsch-Gerätebau GmbH  
D-8672 Selb, Wittelsbacherstraße 42  
*Differential-Thermo-Analyse (DTA)*

Olympus Optical Corporation GmbH

- D-2000 Hamburg 1, Wendenstr. 14-16  
*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Videoskop*
- Optilas GmbH  
D-8039 Puchheim, Boschstraße 12  
*Infrarot-Thermographie*
- OPTRON MESSTECHNIK GmbH  
D-3044 Neuenkirchen, Rudolf-Kinau-Strasse 9  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*
- Pabisch GmbH & Co.KG, W., Vertrieb wissenschaftlicher Instrumente  
D-8000 München 60, Atterseestraße 16  
*Mikroklima-Bestimmung*
- Panametrics GmbH  
D-6238 Hofheim / Ts. 4, Rudolf-Diesel-Straße 1  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*  
*Mikroklima-Bestimmung*  
*Ultraschall-Echo*  
*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*  
*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*
- Perkin-Elmer GmbH  
D-1000 Berlin 41, Wrangelstraße 11/12  
*Atomabsorptions-Spektroskopie*  
*Gaschromatographie*
- PEWATRON AG  
CH-8304 Wallisellen / ZH, Hertistraße 27  
*Sauerstoff-Sensor*
- Gebr. Pförtner GmbH & Co.KG  
D-3306 Lehre-Wendhausen, Oheweg 3  
*Hydrophobierungstest mit Elektrolyten*
- Philips GmbH, IPG-Industrial X-Ray  
D-2000 Hamburg, Roentgenstrasse 24-26  
*Atomabsorptions-Spektroskopie*  
*Röntgen-Rückstreuung*
- Pilkington Energy Advisors Limited  
GB-WA10 3TT St. Helens, Prescott Road  
*Infrarot-Thermographie*
- Polytec GmbH  
D-7517 Waldbronn 1, Siemensstraße 13-15  
*Infrarot-Thermographie*  
*Laservibrometer*  
*Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)*
- PROCEQ SA  
CH-8034 Zürich, Riesbachstrasse 57  
*Abreiß-Versuch*  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)*  
*Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*  
*Haftzugprüfung*  
*Rißvermessungsgeräte, optische*  
*Rückprallhammer*  
*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*
- Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Government of Japan  
J-305 Ibaraki-Ken, 1, Asahi, Tsukuba-Shi  
*Radar*
- Rank Precision Industries GmbH, GB Rank Taylor Hobson
- D-6200 Wiesbaden, Kreuzberger Ring 6  
*Infrarot-Thermographie*  
*Laservibrometer*
- Rohmann GmbH  
D-6710 Frankenthal, Rudolf-Diesel-Straße 13  
*Wirbelstromverfahren*
- Rolls-Royce MatEval Ltd.  
GB-WA55TN Warrington, Gemini B.Park, 245/246 Europa Boulevard  
*Radiographie mit Röntgenstrahlen*  
*Ultraschall-Echo*
- Rotronic Messgeräte GmbH  
D-6000 Frankfurt / M. 61, Orber Straße 6  
*Mikroklima-Bestimmung*  
*Mikroklima-Bestimmung*
- Röntgenanalytik Meßtechnik GmbH  
D-6204 Taunusstein 4, Georg-Ohm-Straße 6  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*  
*Energiedispersive Analyse (EDX)*  
*Radiographie mit Röntgenstrahlen*
- Rütter & Co.b.v.  
N-7504 RC Enschede, Tweekeler Es 2  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*
- Schenck AG, Carl  
D-6100 Darmstadt, Landwehrstraße 55  
*Abreiß-Versuch*
- Peter Schlachta Technisches Büro  
D-1000 Berlin 38, Ernst-Ring-Straße 38  
*Rißvermessungsgeräte, optische*
- Emil Schneider GmbH & Co.KG  
D-4600 Dortmund 1, Wilhelmstraße 33-35  
*Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*  
*Farb-Eindringverfahren*  
*Magnetpulverprüfung*  
*Radiographie mit Gammastrahlen*  
*Radiographie mit Röntgenstrahlen*  
*Rißvermessungsgeräte, optische*
- Schölly Fiberoptic GmbH  
D-7819 Denzlingen, Robert-Bosch-Straße 1-3  
*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Videoskop*
- Scientific Atlanta GmbH  
D-8000 München 83, Albert-Schweitzer-Straße 66  
*Mikrowellen-Reflexion*  
*Mikrowellen-Transmission*  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*
- Seefelder Meßtechnik GmbH & Co. Vertriebs KG  
D-8031 Seefeld / Obb. 1, Mühlbachstraße 20  
*Differential-Thermo-Analyse (DTA)*
- Dr. Seitner System- und Sensortechnik GmbH  
D-8036 Herrsching, Arzbergerstraße 7  
*Neigungssensor*
- Sensycon, Gesellschaft für industrielle Sensorsysteme und Prozeßleittechnik mbH  
D-3000 Hannover 1, Hackethalstraße 7  
*Mikroklima-Bestimmung*

SICOM Gesellschaft für Sensor- und Vorspanntechnik  
mbH Sensing and Prestressing System Ltd.  
D-5000 Köln 91, Gremberger Straße 151a  
*Lichtwellenleiter*

Solomat Verkaufsbüro  
D-6600 Saarbrücken, Mainzer Straße 116  
*Anemometer*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Spectro Analytical Instruments GmbH  
D-4190 Kleve, Boschstraße 10  
*Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse*

Michael Steiner Richard Wolf GmbH  
D-7134 Knittlingen,  
*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Videoskop*

Prof. Dr.-Ing. G. Steinkamp, Labor für Technische Physik  
D-2800 Bremen 66, Steingraben 5  
*Rißvermessungsgeräte, optische*  
*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*  
*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*

Storz GmbH & Co., Karl  
D-7200 Tuttlingen, Mittelweg 8  
*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Videoskop*

STRABAG BAU-AG  
D-1000 Berlin 42, Bessemer Str. 42a  
*Lichtwellenleiter*

SUSPA, Spannbeton GmbH  
D-8901 Königsbrunn, Germanenstraße 8  
*Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*  
*Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme*  
*Chlorid-Nachweis*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*  
*Haftzugprüfung*  
*Rückprallhammer*  
*Salz-Test*  
*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*

TESTEM, Ges. f. Meß- und Datentechnik mbH  
D-8000 München 71, Reismühlenstraße 65  
*Anemometer*  
*Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Thermo Electric GmbH  
D-5000 Köln 90, Fuggerstraße 34  
*Mikroklima-Bestimmung*

Thyssen Edelstahlwerke Magnetfabrik Dortmund  
D-4600 Dortmund 41, Postfach 410144  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)*

Tiede GmbH + Co.  
D-7087 Essingen, Bahnhofstraße 94-98  
*Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden*

Troxler Electronics GmbH  
D-8031 Alling, Gilchinger Straße 33  
*Neutronensonde*  
*Radiographie mit Gammastrahlen*

Ultrakust electronic GmbH  
D-8375 Ruhmannsfelden, Sudetenstraße 5-7  
*Anemometer*  
*Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand*  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Universal Elektronik Handelsgesellschaft m.b.H.  
D-3003 Ronnenberg/OT Empelde, Chemnitzer Straße  
18  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*  
*Mikroklima-Bestimmung*  
*Neigungssensor*

Vaisala Oy  
SF-00421 Helsinki, P.O.Box 26  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Vestale GmbH Laborgeräte  
D-7401 Entringen/Tübingen, Eugenstraße 8  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)*  
*Rückprallhammer*

Videomed GmbH  
D-8000 München 4, Taunusstr. 38  
*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Videoskop*

Peter Walter OHG  
D-5840 Schwerte-Westhofen, Weidenweg 21  
*Mikroklima-Bestimmung*

Werk für Fernsehelektronik Berlin GmbH  
D-1160 Berlin, Ostendstraße 1-14  
*Sauerstoff-Sensor*

Wessels Messtechnik GmbH  
D-4040 Neuss 1, Moselstraße 18  
*Anemometer*

Ziegler-Instruments GmbH  
D-4050 Mönchengladbach 4, Nobelstraße 5  
*Impuls-Prüfhammer*  
*Mikroklima-Bestimmung*

Heinz Zimmermann Ingenieurbüro  
D-1000 Berlin 37, Störstr. 21  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*



**Fachbücher von allgemeinem Interesse**

M. S. Agbabian, S. F. Masri, S. F. Masri  
**Proceedings of the International Workshop on Non-destructive Evaluation for Performance of Civil Structures**

Departement of Civil Engineering, University of Southern California, Los Angeles 1988

C. Arendt  
**Trockenlegung, Leitfaden zur Sanierung feuchter Bauwerke**

Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart 1983

G. Bienert, R. Pitloun, K. Rinck, R. Freter  
**Brückenerhaltung**

Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1975

P. Diem  
**Zerstörungsfreie Prüfmethode für das Bauwesen**

Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1982

H. Iken, R. Lackner, U. Zimmer  
**Handbuch der Betonprüfung**

Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf 1977

D. Jungwirth, E. Beyer, P. Grübl  
**Dauerhafte Betonbauwerke; Substanzerhaltung und Schadensvermeidung in Forschung und Praxis**

Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf 1986

A. Kober, B. Plinke  
**Feuchtemessung an Holz, Holzwerkstoffen und Baustoffen – Eine Literaturübersicht –**  
Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), WKI-Bericht Nr. 21, Braunschweig 1989

V. M. Malhotra  
**In Situ/Nondestructive Testing of Concrete**

American Concrete Institute, Detroit, Michigan 1984

R. G. Mathey, J. Clifton  
**Review of Nondestructive Evaluation Methods; Applicable to Construction Materials and Structures**

U.S. Government Printing Office, Washington 1988

B. Pettersson, B. Axen  
**Thermography Testing of the Thermal Insulation and Airtightness of Buildings**

Swedish Council for Building Research, Stockholm 1980

G. Schickert, D. Schnitger  
**Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen; Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin**

Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Berlin 1986

H. Schmitz, J. Böhning, E. Krings  
**Verfahren/Geräte zur Erfassung von Bauschäden – Anwendungsmöglichkeiten, Praxistauglichkeit, Kosten**  
Herausgegeben vom Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung im Auftrag des Ministers für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr des

Landes Nordrhein-Westfalen (1987)

G. Schickert  
**Internationales Symposium Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen. Gemeinsame Tagung der DGZfP und der BAM; Berlin, 27. Feb.-1. März 1991; Vorträge und Plakatberichte**

Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V. Berlin 1991; Teil 1 und 2

**Fachartikel**

57Jun E. Jung  
**Prüfung von Stahlsaitenbetonträgern im Alter von 13 Jahren**  
Beton- und Stahlbetonbau 52 (1957) 3, S. 65-67

58Fra G. Franz  
**Unmittelbare Spannungsmessung in Beton und Baugrund**  
Der Bauingenieur 33 (1958) 5, S. 190-195

60Sch H. Schloemer  
**Über den Einsatz der Röntgenfluoreszenz-Analyse in der Zementchemie**  
ZEMENT-KALK-GIPS 10 (1960) 11, S. 522-530  
*Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)*

62Poh E. Pohl  
**Prüfung von Beton mit nieder- und hochfrequenten mechanischen Schwingungen**  
Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Bauwesen Leipzig (1962) 1, S. 19-64  
*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*

63Mar G. Martinček  
**Die Bestimmung der Elastizitätsmodule aus Eigenschwingungen von Würfeln und kurzen Prismen**  
Acustica 13 (1963) 3, S. 123-130

65Smo H. Smolczyk  
**Die Hydratationsprodukte hüttensandreicher Zemente**  
ZEMENT-KALK-GIPS 15 (1965) 5, S. 238-246  
*Röntgen-Diffraktometrie (XRD)*

71Spe S. Speer  
**Experimentelle Spannungsanalyse Modellstatistik**  
BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig 1971

72Böt B. Böttcher, J. Buschmann, G. Mallite, K. Eeg  
**Messung der Oberflächentemperatur mit einer Infrarotkamera**  
Fortschritt-Berichte der VDI Zeitschriften Reihe 5, Nr. 15  
*Infrarot-Thermographie*

72Hen O. Henning, B. Gerstner  
**Zur infrarot- und röntgenanalytischen Charakterisierung natürlicher und synthetischer Kalziumsilikathydrate**  
Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar 19 (1972) 3, S. 287-293  
*Infrarot-Thermographie – Röntgen-Diffraktometrie (XRD)*

- 72Lic B. Lichtner, J. Hundt, G. Napoleone  
**Porositätsmessungen an Zementmörtel und Beton**  
Tonindustrie Zeitung 96 (1972) 8, S. 232-236  
*Radar — Quecksilber-Porosimeter*
- 72Nie K. Niesel  
**Baustoffe; Beton: Porosität**  
Informationsschrift 5.1.11, Werkstoffschau in der Deutschen Industrieausstellung Berlin 1971, Berlin: Ausstellungs-Messe-Kongreß-GmbH 1972, S. 426-431  
*Quecksilber-Porosimeter*
- 73Fig J. W. Figg  
**Methods of measuring the air and water permeability of concrete**  
Magazine of Concrete Research 25 (1978) 85, p. 213-219  
*Vakuum-Verfahren — Gaschromatographie*
- 74Tie H. Tietz  
**Ultraschall-Meßtechnik**  
VEB Verlag Technik, Berlin 1969
- 75Bie G. Bienert, R. Pitloun, K. Rinck, R. Freter  
**Brückenerhaltung**  
Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1975
- 75Dav A. G. Davis, S. A. Robertson  
**Economic pile testing**  
Ground Engineering May 1975  
*Pfahlprüfung*
- 75Hun J. Hundt  
**Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles**  
Dissertation, Technische Universität Berlin  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*
- 75Luz H. Luz, P. Neumaier  
**Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung nach dem Wirbelstromverfahren; Teil 1**  
Messen + Prüfen/ Automatik 11 (1975) 1/2, S. 31-39  
*Wirbelstromverfahren*
- 75Luz1 H. Luz, P. Neumaier  
**Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung nach dem Wirbelstromverfahren, Teil 2**  
Messen + Prüfen/ Automatik 11 (1975) 3/4, S. 91-95  
*Wirbelstromverfahren*
- 76Dav A. G. Davis, S. A. Robertson  
**Vibration Testing of Piles**  
Structural Engineering Journal June 1976 issue  
*Pfahlprüfung*
- 77Bat A. Batizi, L. Kelemen  
**The possibilities of structure examinations by thermovision**  
In: Preliminary Reports Vol. II Int. Symposium on "Testing in situ of concrete structures, Budapest 12.-15. IX. 1977  
*Infrarot-Thermographie*
- 77Dob W. Dobbert  
**Möglichkeiten und Grenzen von Zustandsuntersuchungen an Betonbauwerken, vorzugsweise im Unterwasserbereich.**  
Hochschule für Bauwesen Leipzig 1977  
*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen — Radiographie mit Gammastrahlen*
- 77Ike H. Iken, R. Lackner, U. Zimmer  
**Handbuch der Betonprüfung**  
Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf 1977
- 77Wit G. Wittig  
**Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung**  
BAM-Bericht Nr.49, 1977  
*Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 78Fis D. C. Fishburn  
**Roof Thermography: Detection of subsurface roof moisture**  
Proceedings of the 4th biennial infrared information exchange (IRIE), St. Louis, Aug. 78, AGA Corporation  
*Infrarot-Thermographie*
- 78Kal J. Kalinski  
**Einige Probleme der industriellen Feuchtigkeitsmessung mit Mikrowellen**  
Mikrowellen Magazin (1978) 6, S. 441-452  
*Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 78Pet B. Pettersson  
**Infrared Thermography and Thermal Insulation in Buildings**  
Technical Report 1978:22, Statens Provingsanstalt, Borås, Sweden 1978  
*Infrarot-Thermographie*
- 78Pre K. Preiss, H. Weber, A. Caiserman  
**Integrity testing of bored piles and diaphragm walls**  
The civil engineer in South Africa - August 1978  
*Pfahlprüfung*
- 79Deh A. Deheul, C. Sinsoillier  
**Bestimmung der Reaktionswärme durch Differential-Thermo-Analyse**  
ZEMENT-KALK-GIPS 32 (1979), S. 390-400  
*Differential-Thermo-Analyse (DTA)*
- 79Mal V. M. Malhotra, G. G. Carette  
**In Situ Testing for Concrete Strength, CANMET Report 79-30**  
Canadian Centre of Mineral and Technology Report 79-30
- 79Weh B. Wehner, P. Siedek, K. Schulze  
**Handbuch des Straßenbaus**  
Springer-Verlag, Berlin 1979; Hrsg: B. Wehner, P. Siedek, K.-H. Schulze  
*Rauhtiefenbestimmung*
- 80Kle H. Kleine-Büning, O. Scheer  
**Herstellung von Dünnschliffen für die automatische Bildanalyse von Betonproben**  
BETONWERK + FERTIGTEIL-TECHNIK, 4 (1980), S. 240-245  
*Mikroskopie, optische*
- 80Pet B. Pettersson, B. Axen  
**Thermography Testing of the Thermal Insulation and Airtightness of Buildings**  
Swedish Council for Building Research, Stockholm 1980

- Infrarot-Thermographie*
- 80Sch C. Schleicher  
**Das Schwingsaitenmeßverfahren, besonders im Vergleich mit DMS**  
3. Frühjahrsschule: Experimentelle Methoden der Festkörpermechanik, Eisenhüttenstadt 14.-18. April 1980  
*Schwingsaitenaufnehmer*
- 80Sch1 G. Schickert  
**Schwellwerte beim Betondruckversuch**  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton Heft 312; Hrsg: DAfStb, Berlin 1980, S. 1-135  
*Schallemissionsanalyse*
- 81Sch G. Schickert  
**Schallemission von Betonprobekörpern**  
Zweite europäische Tagung für Zerstörungsfreie Prüfung, 14.-16. September 1981, Wien  
*Schallemissionsanalyse*
- 82Böt B. Böttcher, H. Richter  
**Ein Beitrag zum Nachweis von Feuchtigkeit in Mauerwerk mit Hilfe einer Infrarotkamera**  
Materialprüfung 24 (1982) 1, S. 5-9  
*Infrarot-Thermographie — Infrarot-Reflektographie*
- 82Die P. Diem  
**Zerstörungsfreie Prüfmethode für das Bauwesen**  
Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1982  
*Wirbelstromverfahren — Mikroklima-Bestimmung*
- 82Gro K. Groß  
**Verformungsanalyse von Stahlbetonbauteilen mit der Laser-Speckle-Photographie**  
VDI-Berichte (1982) 439, S. 133-140  
*Laser-Speckle-Photographie*
- 82Jen D. R. Jenkins, L. I. Knab, R. G. Mathey  
**Laboratory Studies of Infrared Thermography in Roofing Moisture Detection**  
In: **Moisture Migration in Buildings**, ASTM STP 779, Eds. M. Loeffel and H.R. Trechsel, American Society for Testing and Materials 1982, p. 207-220  
*Infrarot-Thermographie*
- 82Kas R. Kaschner, C. Schleicher  
**Methode zur direkten Messung von Einflußlinien und Einflußflächen statischer Größen an Brücken**  
Die Straße 22 (1982) 5, S. 159-161  
*Schwingsaitenaufnehmer*
- 82Lor A. E. Lord, R. M. Koerner, R. M. Freestone  
**The identification and location of buried containers via non-destructive testing methods**  
Journal of Hazardous Materials 5 (1982), p. 221-233  
*Radar*
- 82Sch G. Schickert  
**Infrarotthermographie als Hilfsmittel bei bautechnischen Untersuchungen**  
BAM Amts- und Mitteilungsblatt (1982) Bd.12, Nr.4, S. 336-350  
*Infrarot-Thermographie*
- 83Ame American Society of Heating, refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc.  
**Application of Infrared Sensing Devices to the Assessment of Building Heat Loss Characteristics**  
ANSI/ASRAE Standard 101-1981, OPTILAS Aktuell (1983)
- 83Are C. Arendt  
**Trockenlegung, Leitfaden zur Sanierung feuchter Bauwerke**  
Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart 1983  
*Infrarot-Thermographie — Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand — Neutronenprobe*
- 83Cho G. A. Chown, K. N. Burn  
**Thermographic Identification of Building Enclosure Defects and Deficiencies**  
Canadian Building Digest (1983)  
*Infrarot-Thermographie*
- 83Geb A. Gebhardt  
**Nutzungsmöglichkeiten des thermischen Infrarots in der Fernerkundung für die Landwirtschaft – Übersichtsbeitrag –**  
Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 27 (1983) 7, S. 427-437  
*Infrarot-Thermographie*
- 83Gem D. Gemert, M. Bosch  
**Renforcement des maçonneries par injection de resine epoxy**  
IABSE Reports Vol. 46 (1983)
- 83Gro K. Groß  
**The application of laser-speckle photography to ultimate load investigations on reinforced concrete constructions**  
PROCEEDINGS Of SPIE-The International Society for Optical Engineering Volume 398; Industrial Applications of Laser Technology, 19.-22. April 1983, Geneva, Switzerland  
*Laser-Speckle-Photographie*
- 83Kra W. Kratzsch  
**Methodische Empfehlungen für die Bestimmung der Betondruckfestigkeit nach dem Rückprallverfahren**  
Bauforschung Baupraxis Nr.231, (1983), S. 7-9  
*Rückprallhammer*
- 83Kra1 W. Kratzsch  
**Methodische Empfehlungen für die Bestimmung der Betondruckfestigkeit nach dem Verfahren der plastischen Verformung**  
Bauforschung Baupraxis Nr.231, (1983), S. 10-11  
*Verformungsmessung*
- 83Loe R. Loeffel, J. Berger, W. Schultz  
**Gammagraphie für Bewehrungsermittlung**  
Bauforschung Baupraxis Nr. 233, S. 5-24  
*Radiographie mit Gammastrahlen*
- 83Mau M. Maultzsch  
**Betonspezifische Einflüsse auf die Chlorid-diffusion**  
BAM Mitteilungsblatt 13 (1983) 3, S. 387-389  
*Chlorid-Nachweis*
- 83Pra D. S. Prakash Rao, M. G. Tamhankar, S. P. Sharma  
**Literature survey on in situ testing of concrete**

- te bridges  
Materiaux et Constructions **16** (1983) 9, p. 457-466
- 83Röt H. Röthig, W. Kratzsch  
**Methodische Empfehlungen für die Bestimmung der Betondruckfestigkeit mit der Ultraschall-Impulsmethode**  
Bauforschung Baupraxis Nr.126, S. 13-18  
*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*
- 83Sch G. Schickert, B. Böttcher  
**Anwendung der IR-Thermographie bei der Untersuchung von Bauschäden**  
In: Berichtsband int. Kolloquium "Werkstoffwissenschaften und Bausanierung", Technische Akademie Esslingen 9/1983, S. 25-31  
*Infrarot-Reflektographie*
- 84Aka T. Akashi, S. Amasaki  
**Study of the Stress Waves in the Plunger of a Rebound Hammer at the Time of Impact**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Bic J. A. Bickley  
**The Evaluation and Acceptance of Concrete Quality by In-Place Testing**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Auszieh-Versuch*
- 84Bun J. H. Bungey  
**The Influence of Reinforcement on Ultrasonic Pulse Velocity Testing**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Ultraschall-Echo — Ultraschall-Laufzeit und -Intensität — Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 84Bur S. F. Burch, J. T. Burton, S. J. Cocking  
**Detection of defects by transient thermography: A comparison of Predictions from two computer codes with experimental results**  
British Journal of NDT, January 1984, p. 36-39  
*Infrarot-Thermographie*
- 84Can T. R. Cantor  
**Review of Penetrating Radar as Applied to Nondestructive Evaluation of Concrete**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Radar*
- 84Car M. Carlsson, I. R. Eeg, P. Jahren  
**Field Experience in the Use of the "Break Off Tester"**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Auszieh-Versuch*
- 84Car1 N. J. Carino  
**Laboratory Study of Flaw Detection in Concrete by the Pulse-Echo Method**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Ultraschall-Echo — Ultraschall-Laufzeit und -Intensität — Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 84Dah E. Dahl-Jorgensen, R. Johansen  
**General and Specialized Use of the Break-Off Concrete Strength Testing Method**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Auszieh-Versuch*
- 84Deu V. Deutsch, H. Cost, W. Schug  
**Magnetpulver-Rißprüfung im internationalen Vergleich**  
Materialprüfung **26** (1984) 9, S. 304-310  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 84Dhi R. K. Dhir  
**Assessment of In Situ Concrete Quality by Core Testing**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84DiL A. DiLeo  
**Core Sampling Size in Nondestructive Testing of Concrete Structures**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Fri P. Friese  
**Elektrochemische Entsalzung von Mauerwerk, Teil 1: Notwendigkeit und theoretische Grundlagen**  
Bauphysik **6** (1984) 3, S. 94-97  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 84Han A. J. Hansen, N. S. Ottosen, C. G. Petersen  
**Gas-Permeability of Concrete in Situ: Theory and Practice**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 84Hil W. Hillger  
**Entwicklung einer speziellen Ultraschallprüftechnik zur Qualitätskontrolle von Fertigteilen aus Beton**  
Materialprüfung **26** (1984) 9, S. 310-315
- 84Hin E. Hintsteiner  
**Bindemittelgehaltsbestimmung in technischen Asphalten mittels Isotopensonde-Neutronen-sonde**  
Bitumen **4** (1984), S. 165-169  
*Neutronen-sonde*
- 84Hon A. Honig  
**Radiometric Determination of the Density of Fresh Shielding Concrete In Situ**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Hul A. J. Hulshizer, M. A. Edgar, R. E. Daniels, J. D.

- Sumbinsby, G. E. Myers  
**Maturity Concept Proves Effective in Reducing Form Removal Time and Winter Curing Cost**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Kag M. Kagaya, H. Tokuda, Kawakami, M. Shoya  
**A Method of Estimating the Mechanical Properties of Structural Concrete by Wash-Analysis of Samples in the Top Layer**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Kas Y. Kasai, I. Matsui, M. Nagano  
**On Site Air Permeability Test for Concrete**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Kei A. P. Keiller  
**An Investigation of the Effects of Test Procedure and Curing History on the Measured Strength of Concrete**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Ker R. Kersten  
**Faseroptische Sensoren**  
 Physik in unserer Zeit 15 (1984) 5, S. 139-144  
*Lichtwellenleiter*
- 84Kho L. M. Khoo  
**Pullout technique - An Additional Tool for In Situ Concrete Strength Determination**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Auszieh-Versuch*
- 84Lon A. E. Long, A. M. Murray  
**The "Pull-Off" Partially Destructive Test for Concrete**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Auszieh-Versuch*
- 84Mal V. M. Malhotra, G. G. Carette  
**In Situ Tests: Variability and Strength Prediction of Concrete at Early Ages**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Mal1 V. M. Malhotra  
**In Situ/Nondestruktive Testing of Concrete - A Global Review**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Mal2 V. M. Malhotra  
**In Situ/Nondestructive Testing of Concrete**  
 American Concrete Institute, Detroit, Michigan 1984  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*
- 84Mla P. F. Mlakar, R. E. Walker, B. R. Sullivan, V. P. Chiarito  
**Acoustic Emission Behaviour of Concrete**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Schallemissionsanalyse*
- 84Mur W. E. Murphy  
**The Interpretation of Tests on the Strength of Concrete in Structures**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84New K. Newman  
**The Ready Mixed Concrete Producers' View of in Situ/NDT Testing**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Oka K. Okada, K. Kobayashi, T. Miyagawa  
**Corrosion Monitoring Method of Reinforced Steel in Offshore Concrete Structures**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Olv A. D. Olver  
**Microwave detection of hidden objects**  
 Electronics & Power (1984), S. 803-806  
*Radar — Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 84Par T. J. Parsons, T. R. Naik  
**Early Age Concrete Strength Determination by Pullout Testing and Maturity**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Auszieh-Versuch*
- 84Pye P. W. Pye  
**BRE Screed Tester: classification of screeds, sampling and acceptance limits**  
 bre information IP 11/84
- 84Reb M. P. Rebic  
**The Distribution of Critical and Rupture Loads and Determination of the Factor of Crackability**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Rob P. J. Robins  
**The Point-Load Test for Tensile Strength Estimation of Plain and Fibrous Concrete**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Rop H. Roper, D. Baweja, G. Kirkby  
**Towards a Quantitative Measure of Durability of Concrete Structural Members**  
 In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984

- 84Sam A. Samarin, R. K. Dhir  
**Determination of In Situ Concrete Strength: Rapidly and Confidently by Nondestructive Testing**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Rückprallhammer*
- 84Say C. Sayers  
**Detectability of defects by thermal non-destructive testing**  
British Journal of NDT (1984) 1, S. 28-33  
*Infrarot-Thermographie*
- 84Sch G. Schickert  
**Critical reflections on non-destructive testing of concrete**  
Matériaux et Constructions 17 (1984) 99, S. 217-220
- 84Sch1 R. Schulz  
**Beton als Beschichtungsgrund – über die Prüfung des Festigkeitsgehaltes von Betonoberflächen mit dem Abreißversuch**  
Dissertation, Fakultät für Bauwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen 1984  
*Abreiß-Versuch*
- 84Stu V. R. Sturup, F. J. Vecchio, H. Caratin  
**Pulse Velocity as a Measure of Concrete Compressive Strength**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Swa R. N. Swamy, A. H. Al-Hamed  
**Evaluation of Smol Diameter Core Tests to determine In Situ Strength of Concrete**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Swa1 R. N. Swamy, A. H. Al-Hamed  
**The Use of Pulse Velocity Measurements to Estimate Strength of Air-Dried Cubes and Hence In Situ Strength of Concrete**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Tak T. Takabayashi, H. Ishida  
**Measurement of thickness of Concrete Pavement and Structural Members**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Tam H. Tamura, M. Yoshida  
**Nondestructive Method of Detecting Steel Corrosion in Concrete**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Tan Y. Tanigawa, K. Baba, H. Mori  
**Estimation of Concrete Strength by Combined Nondestructive Testing Method**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Uom T. Uomoto, K. Kobayashi  
**In Situ test to determine Fiber Content of Steel Reinforced Concrete by an Electro-Magnetic Method**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984
- 84Vog W. L. Vogt, V. Beizai, R. L. Dilly  
**In Situ Pullout Strength of Concrete with Inserts Embedded by "Finger Placing"**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Auszieh-Versuch*
- 84Whi D. Whiting  
**In Situ Measurement of the Permeability of Concrete to Chlorid Ions**  
In: "In Situ/Nondestructive Testing of Concrete", Ed: V. M. Malhotra, Americal Concrete Institute, Publication SP-82, Detroit 1984  
*Chlorid-Nachweis*
- 85Eng R. Engelfried  
**Preventive protection by low-permeability coatings**  
In: **Permeability of concrete and its control**; The Concrete Society, London 1985, p. 107-117  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 85Fri P. Friese, H. Birkenhofer  
**Elektrochemische Entsalzung von Mauerwerk, Teil 2: Praktische Ausführung, Entsalzung und Trocknung**  
Bauphysik 7 (1985) 4, S. 105-109  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 85Gru H. Grube  
**Influence of concrete materials, mix design and construction techniques on permeability**  
In: **Permeability of concrete and its control**; The Concrete Society, London 1985, p. 77-88  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 85Har M. Harnisch  
**Tragbare Neutronenoberflächenprobe zur Feuchtemessung an Bauwerksteilen**  
Bautechnik 39 (1985) 5, S. 225-226
- 85Häu P. Häupl, H. Stopp  
**Lambda-Nadelsonde**  
Bauinformation 28 (1985) 6, S. 6-7  
*Lambda-Nadelsonde*
- 85Koe E. Koelliker  
**Die Carbonatisierung von Stahlbeton – ein Überblick**  
Beton- und Stahlbetonbau 85 (1990) 6, S. 148-153  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 85Kra W. Kratzsch  
**Methodische Empfehlungen zur statistischen Einschätzung der Betondruckfestigkeit von Fertigteilen und Bauwerken unter Anwen-**

- dung zerstörungsfreier Prüfverfahren**  
Bauforschung Baupraxis Nr. 160, S. 7-10
- 85Law C. D. Lawrence  
**Laboratory Testing of Cores**  
In: *Permeability of concrete and its control*;  
The Concrete Society, London 1985, p. 69-76  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 85Lee M. B. Leeming  
**Ciria Review and the future for surface treatments**  
In: *Permeability of concrete and its control*;  
The Concrete Society, London 1985, p. 119-130  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 85Luo M. P. Luong  
**Infrared Vibrothermography of plain concrete**  
Int. Conference on Fracture Mechanics of Concrete, Lausanne, 1.-3. Oct 1985, Vol. 1, p. 175-183  
*Infrarot-Thermographie*
- 85McC L. H. McCurrich, A. R. Archer, P. B. Bamforth, R. Cather, J. N. Clarke, G. P. Daw, C. D. Lawrence, M. Levitt, P. L. Walton  
**Permeability testing of site concrete – A review of methods and experience**  
In: *Permeability of concrete and its control*;  
The Concrete Society, London 1985, p. 1-68  
*Druckgas-Verfahren – Vakuum-Verfahren – Gaspermeabilitäts-Verfahren – Flüssigkeits-Eindringtest*
- 85Nis P. Nischer  
**Die Wassergehaltsbestimmung von Betonzuschlägen und Beton mit der Karbidmethode**  
Zement und Beton 30 (1985) 2, S. 69-70  
*Kalzium-Karbid-Methode*
- 85Osu N. Osumi, K. Ueno  
**Microwave Holographic Imaging on Underground Objects**  
IEEE Transactions on Antennas and Propagation AP-33 (1985), S. 152  
*Radar – Mikrowellen-Reflexion*
- 85Pay J. C. Payne, J. M. Dransfield  
**The influence of admixtures and curing on permeability**  
In: *Permeability of concrete and its control*;  
The Concrete Society, London 1985, p. 89-105  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 85Ste D. Sterneck  
**Methodische Empfehlungen zur Bestimmung der dynamischen Elastizitätskonstanten des Betons mittels Resonanzfrequenzverfahren**  
Bauforschung Baupraxis Nr.160, S. 11-12  
*Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse*
- 85Wil H. Wilfer  
**Aspekte der Schadensanalyse von Bausubstanz**  
Bauzeitung 39 (1985) 4, S. 418-420
- 86Bie M. Biercher  
**Durchstrahlungsprüfung von Spannbetonbauwerken**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 296-310  
*Radiographie mit Röntgenstrahlen – Radiographie mit Gammastrahlen*
- 86Blu R. Blum, K. Kerkhof, E. Luz  
**Analyse von Bauschäden durch Schwingungsmessungen unter mikroseismischer Erregung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 257-273  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*
- 86Bou A. Boue, H. R. Sasse  
**Messung von Schichtdicken auf mineralischen Untergründen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 225-232  
*Wirbelstromverfahren – Ultraschall-Echo – Ultraschall-Laufzeit und -Intensität – Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen – Mikrowellen-Transmission – Mikrowellen-Reflexion – Radiographie mit Gammastrahlen – Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)*
- 86Böt B. Böttcher  
**Die Infrarot-Reflektografie ein Verfahren der zerstörungsfreien Materialprüfung**  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Jahresbericht 1986  
*Infrarot-Thermographie – Infrarot-Reflektografie*
- 86Cie P. Cielo  
**Optical Techniques for Nondestructive Testing: A Critical Review**  
International Advances in Nondestructive testing 12 (1986), p. 231-350  
*Infrarot-Thermographie – Laser-Speckle-Photographie – Holographische Interferometrie*
- 86Czi E. Cziesielski  
**Aufgabengebiete der ZfP im Hochbau**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 59-67  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 86Dan J. Danßmann  
**Erfahrungen mit Überdeckungsmeßgeräten für Stahlbetonbauteile**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 311-317  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches) – Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung) – Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*
- 86Dob G. Dobmann, J. Frey, C. Fritz  
**Bestimmung der Betonüberdeckung und des Durchmessers der Bewehrung mit magneti-**

- schen Methoden**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 318-  
328
- 86Dom H. Domke  
**Die zerstörungsfreie Prüfung von Kenndaten  
an ausgeführten Biegestahlwerken mit Hilfe  
der aktiven Verformungskontrolle**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 193-  
207
- 86Dom1 P. Domone, P. Castro  
**An expandable sleeve test for in situ concrete  
strength evaluation**  
Concrete (1986) 3, S. 24-25
- 86Eng P. Engelke  
**Aufgabenstellungen im Beton-Brückenbau**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 68-78
- 86Fri P. Friese, L. Pohlmann  
**Zustandsanalyse von Mauerwerk mit aufstei-  
gender Feuchtigkeit**  
Bauphysik (1986) 1, S. 7-10
- 86Gro K. Groß  
**Erfahrungen mit der Laser-Speckle-Photogra-  
phie bei der Verformungsanalyse im Stahlbe-  
tonbau**  
VDI Berichte, März 1986, S. 334-344  
*Laser-Speckle-Photographie*
- 86Gru H. Grube, J. Krell  
**Zur Bestimmung der Carbonatisierungstiefe  
von Mörtel und Beton**  
Betontechnische Berichte (1986/1988), S. 21-33  
*Indikator-Technik*
- 86Gru1 H. Grube, W. Rechenberg  
**Betonabtrag durch chemisch angreifende sau-  
re Wasser**  
Betontechnische Berichte (1986/1988), S. 117-  
141
- 86Grä H. Gräf, H. Grube  
**Einfluß der Zusammensetzung und der Nach-  
behandlung des Betons auf seine Gasdurch-  
lässigkeit**  
Betontechnische Berichte (1986/1988), S. 79-99  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 86Grä1 H. Gräf, H. Grube  
**Verfahren zur Prüfung der Durchlässigkeit  
von Mörtel und Beton gegenüber Gasen und  
Wasser**  
Betontechnische Berichte (1986/1988), S. 35-56  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 86Hei H. Heidt, J. Goebbels  
**Radiometrie und rechnergestützte Durch-  
strahlungsverfahren für die Erkennung von**
- Betonschäden**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 170-  
177  
*Computer-Tomographie — Radiographie mit Röntgen-  
strahlen — Radiographie mit Gammastrahlen*
- 86Hen H. Henrich  
**"Zerstörungsfreie Feuchtemessung mit der  
Neutronensonde" ein anerkanntes radiome-  
trisches Meßverfahren im Bauwesen**  
CONSULTING 7 (1986), S. 18  
*Neutronensonde*
- 86Hil B. Hillemeier  
**Induktionsthermographie zur Ortung von Be-  
wehrungsstählen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 178-  
192  
*Infrarot-Thermographie — Induktions-Thermographie*
- 86Hof D. Hoffmann, K. Niesel  
**Möglichkeiten der Feuchtigkeitsmessung in  
Baustoffen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 248-  
256  
*Infrarot-Thermographie — Computer-Tomographie —  
Radiographie mit Gammastrahlen — Radiographie mit  
Neutronen — Feuchtemeßgerät, dielektrisches — Farb-  
Eindringverfahren*
- 86Hun J. Hundt, J. Danßmann  
**Einsatz der Endoskopie zum Nachweis von  
Schäden an Massivbauten**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 287-  
295  
*Endoskop (starre Ausführung) — Endoskop (flexible Aus-  
führung)*
- 86Jun D. Jungwirth  
**Bedarf an zerstörungsfreier Prüfung im Bau-  
wesen aus der Sicht der Baupraxis**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 42-50
- 86Jun1 D. Jungwirth, E. Beyer, P. Gröbl  
**Dauerhafte Betonbauwerke; Substanzerhal-  
tung und Schadensvermeidung in Forschung  
und Praxis**  
Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf 1986  
*Chlorid-Nachweis*
- 86Kli O. Klingmüller  
**Dynamische Tragfähigkeitsprüfung von**

- Großbohrpfählen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 383-  
391  
*Pfahlprüfung*
- 86Kre J. Krell, T. Deichsel  
**Bestimmung der Betondeckung der Bewehrung am Bauwerk**  
Bautechnische Berichte 86/88
- 86Kro O. Kroggel  
**Zum Tragverhalten von Stahlbeton und Spannbeton**  
Mitteilungen aus dem Institut für Massivbau  
der Technischen Hochschule Darmstadt, Bei-  
träge zum 18. Forschungskolloquium des  
DAfStb, Heft 38; Hrsg: G. König und H. Weig-  
ler; Verlag für Architektur und techn. Wissen-  
schaften Berlin, 1986  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)*
- 86Luo M. P. Luong  
**Infrared Vibrothermography of Plain Concrete**  
In: "Fracture Toughness and Fracture Energy  
of Concrete", Ed.: F.H. Wittmann, Elsevier  
Science Publishers B.V., Amsterdam 1986, S.  
249-257  
*Infrarot-Thermographie*
- 86Mel G. Mellmann  
**Erfahrungen mit Ultraschallprüfung an Bauwerken aus Beton**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 354-  
361  
*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität — Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 86Mey H. G. Meyer  
**Bedarf an zerstörungsfreier Prüfung aus der Sicht der Bauaufsicht**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 51-58
- 86Nei J. Neisecke, W. Hillger  
**Zerstörungsfreie Ultraschallprüfung von Beton – Erfahrungen aus der Praxis, Weiterentwicklungen im Labor –**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 341-  
353  
*Ultraschall-Echo — Ultraschall-Laufzeit und -Intensität — Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 86Nis P. Nischer  
**Dauerhafte Bauwerke durch richtige Nachbehandlung – Hinweise für Ausschreibung, Herstellung und Überwachung**  
Zement und Beton 31 (1986) 2, S. 66-68  
*Quecksilber-Porosimeter*
- 86Pla A. Plank  
**Dringlichkeit und Schwierigkeiten bei der Bauwerksprüfung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 29-41
- 86Roh R. G. Rohrmann-Baumgart  
**Theoretische Ermittlung von Bauwerksschäden mit Hilfe dynamischer Methoden**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 371-  
382
- 86Rüc W. Rücker  
**Ermittlung der Materialeigenschaften des Untergrunds und der Integrität von Pfählen durch dynamische Methoden**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 362-  
370  
*Pfahlprüfung*
- 86Sch G. Schickert, D. Schnitger  
**Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen; Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin**  
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie  
Prüfung e.V., Berlin 1986
- 86Sch1 F. O. Schuster  
**Aufgabenstellungen im Straßenbau**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 79-90  
*Radiographie mit Gammastrahlen — Radiographie mit Neutronen*
- 86Sch10 G. Schickert  
**Grundlagen zur Betonkorrosion**  
In: "Betonkorrosion im Hochbau"; Hrsg: Ver-  
band Berliner Wohnungsbaugenossenschaften  
und Gesellschaften e.V., Bauverlag GmbH  
Wiesbaden und Berlin 1986  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 86Sch11 C. Schleicher  
**Zustandsbewertung von Straßenbrücken**  
Die Straße 26 (1986) 9, S. 283-286
- 86Sch2 U. Schneider, F. Dumat  
**Erhöhung der Dauerhaftigkeit zementgebundener Baustoffe durch gezielte Strukturbeeinflussung mittels Mikrowellen**  
I.+II. Zwischenbericht der Gesamthochschule  
Kassel 1986
- 86Sch3 G. Schickert  
**Heutige Praxis der ZfP im Bauwesen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3.  
Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D.  
Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 91-120  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches) — Rückprall-*

- hammer — Auszieh-Versuch — Potentialverfahren, elektrochemisches — Reifegrad-Methode — Biegebrechversuch — Haftzugprüfung — Kugelschlag-Versuch — Bolzensetzgerät — Schwingungsanalyse am Bauwerk — Ultraschall-Laufzeit und -Intensität — Druckgas-Verfahren — Vakuum-Verfahren — Röntgen-Diffraktometrie (XRD) — Farb-Eindringverfahren
- 86Sch4 P. Schießl  
**Korrosion bei Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 211-224  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches) — Potentialverfahren, elektrochemisches — Druckgas-Verfahren — Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*
- 86Sch5 D. Schnitger  
**Künftige Schwerpunkte der ZfP-Verfahren und ZfP-Geräteentwicklung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 397-399
- 86Sch6 G. Schickert  
**Notwendige Tendenzen der ZfP-Praxis im Bauwesen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 389-396  
*Infrarot-Thermographie — Endoskop (starre Ausführung) — Computer-Tomographie — Infrarot-Reflektographie — Endoskop (flexible Ausführung)*
- 86Sch7 U. Schneider  
**Prüfung von Baustoffen und Bauwerken durch Schallemissionsanalyse**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 143-155  
*Schallemissionsanalyse*
- 86Sch8 H. Schaper, F. Priess  
**Schadenanalysen mit Ultraschallverfahren**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 329-340  
*Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*
- 86Sch9 D. Schnitger  
**Verfahrensbezogene Probleme und Schwierigkeiten der ZfP im Bauwesen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 121-132  
*Induktions-Thermographie — Schallemissionsanalyse — Ultraschall-Echo*
- 86Vei P. Veit  
**Lok- und Capo-Test; zwei Ausziehversuche zur Bestimmung der Betondruckfestigkeit**  
Zement und Beton 31 (1986) 1, S. 36-38  
*Auszieh-Versuch*
- 86Web D. Weber  
**Einsatz des Rückprallhammers bei der Prüfung von Beton auf Druckfestigkeit**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 277-286  
*Rückprallhammer — Kugelschlag-Versuch*
- 86Wes G. Westermann  
**Brückenerhaltung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 233-247
- 86Wit G. Wittig  
**Elektrische und magnetische Verfahren für die Prüfung an Bauwerken**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht ZfPBau-Symposium 2. und 3. Oktober 1985, Berlin; Hrsg: G. Schickert, D. Schnitger, BAM, DGZfP, Berlin 1986, S. 156-169  
*Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand — Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 87Dur T. S. Durrani, S. Baronti, A. Rauf, K. Boyle, F. Lotti  
**Thermal Imaging Techniques for the Nondestructive Inspection of Composite Materials in Real Time**  
Proceedings ICDSSP 87, Int. Conference on Acoustics, Speech and Signal-Processing (1987)  
*Infrarot-Thermographie*
- 87Fra Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren  
**Kernspinresonanzverfahren**  
Tätigkeitsbericht des Fraunhofer-Instituts für zerstörungsfreie Prüfverfahren 1987  
*Kernspinresonanz zur Feuchtemessung*
- 87Hil H. K. Hilsdorf  
**Prüfverfahren zur Qualitätssicherung von Beton**  
Deutscher Verband für Materialprüfung e.V.; Jahrestagung, BAM 1987
- 87Kie K. Kießl, M. Krus  
**Messung von Wassergehalten und Feuchte-transportvorgängen in Baustoffen mittels kernmagnetischer Resonanz**  
IBP-Mitteilung 148 14 (1987)  
*Radiographie mit Gammastrahlen — Radiographie mit Neutronen — Kernspinresonanz zur Feuchtemessung*
- 87Lev F. Levi, P. Napoli, G. Corona  
**Typical damages of highway bridges, Redesign examples — Diagnosis techniques**  
US-European Workshop on Bridge Evaluation, Repair and Rehabilitation, St.Rmy-ls-Chevreuse, June 1987

- 87Mil J. Milne  
**Wärmeimpuls-Videothermographie im industriellen Bereich**  
Materialprüfung 29 (1987) 9, S. 280-281  
*Induktions-Thermographie*
- 87Sch H. Schmitz, J. Böhning, E. Krings  
**Verfahren/Geräte zur Erfassung von Bauschäden – Anwendungsmöglichkeiten, Praxistauglichkeit, Kosten**  
Herausgegeben vom Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung im Auftrag des Ministers für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (1987)
- 87Set A. Settiani  
**Inspection of Reinforced and Prestressed Concrete by means of Gammagraph**  
US-European Workshop on Bridge Evolution, Repair and Rehabilitation, St.Rémy-lès-Chevreuse, France, June 22-25, 1987  
*Radiographie mit Gammastrahlen*
- 87Ste D. Sterneck  
**Bericht über Anwendungsmöglichkeiten der Ultraschall-Impulsmethode, ohne Bestimmung der Druckfestigkeit**  
Bauforschung, Baupraxis Nr.126 (1987)
- 88Aagb M. S. Agbabian, S. F. Masri, S. F. Masri  
**Proceedings of the International Workshop on Nondestructive Evaluation for Performance of Civil Structures**  
Department of Civil Engineering, University of Southern California, Los Angeles 1988
- 88Alm D. P. Almond, P. M. Patel, J. D. Morris, H. Reiter  
**Thermal wave inspection employing the infrared detection technique**  
SPIE Vol. 917 Recent developments and Applications of Infrared Analytical Instrumentation (1988), p. 84-90  
*Infrarot-Thermographie*
- 88Aare C. Arendt  
**Praktische Methoden der Feuchtemessung an Bauwerken und ihre Bedeutung**  
Arbeitshefte des Sonderforschungsbereiches 315 "Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke" Universität Karlsruhe (Dokumentation der Tagung: "Feuchteschutz bei historischen Mauerwerksbauten", Karlsruhe 1988) 1988  
*Infrarot-Thermographie — Kalzium-Karbid-Methode*
- 88BAM2 J. Danßmann  
**Aufnahme der BAM, Fachgruppe 2.1**  
*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 88Bre M. Breitbach, M. Friebrich  
**Long term in situ measurements on bridge sliding bearings**  
Int. Conference "Measurements and testing in civil engineering", Lyon-Villeurbanne 13.-16. Sept. 1988  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*
- 88Cav K. Cavalari  
**Technische Endoskopie**  
Materialprüfung 30 (1988) 9, S. 265-270  
*Endoskop (starre Ausführung) — Videoskop — Endoskop (flexible Ausführung)*
- 88Cie P. Cielo, J. C. Krapez, M. Lamontagne  
**Lumber moisture evaluation by reflective cavity photothermal technique**  
Revue de Physique applique 23 (1988), S. 1565  
*Infrarot-Thermographie — Infrarot-Strahlungsthermometer*
- 88Czi E. Cziesielski, J. Kropp, H. Marquardt  
**Auffinden korrodierender Bewehrung mit der elektrochemischen Potentialdifferenzmessung**  
Bautechnik 65 (1988) 7, S. 226-232  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 88Dan D. J. Daniels, D. J. Gunton, H. F. Scott  
**Introduction to subsurface radar**  
IEE Proceedings 135 (1988), S. 278  
*Radar — Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 88Dei T. Deichsel, J. Krell  
**Bestimmung der Betondeckung der Bewehrung am Bauwerk**  
Betontechnische Berichte (1986/1988), S. 101-116  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches) — Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung) — Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*
- 88Fel Felten & Guillaume Energietechnik AG  
**Überwachung von Ingenieurbauwerken mit Lichtwellenleiter-Sensortechnik**  
Firmenprospekt 1988  
*Lichtwellenleiter*
- 88Fri P. Friese  
**Ein neues Verfahren zur Sanierung salzverseuchter Wände mit aufsteigender Feuchtigkeit**  
Bautenschutz + Bausanierung 11 (1988) 4, S. 122-127  
*Salz-Test — Chlorid-Nachweis*
- 88Här S. Härig, G. Teodoru  
**Kritische Gesamtauswertung der auf internationaler Ebene gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse über die zerstörungsfreien Prüfmethode von Beton (Ultraschall)**  
Abschlußbericht zu den Forschungsvorhaben für die DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft Aktenzeichen HA 1414/1-1 und 1-2  
*Ultraschall-Echo — Ultraschall-Laufzeit und -Intensität — Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 88Kaa H. Kaasinen  
**Condition Assessment of Facades with Infrared Camera**  
Kongress Bericht von 13. Kongress IABSE/AIPC/IVBH, Helisinki  
*Infrarot-Thermographie*
- 88Kap G. Kapphahn, V. Slowik  
**Untersuchung des Tragverhaltens von Stahlbetonkonstruktionsgliedern mit Hilfe der Schallemissionsanalyse**  
Wiss. Berichte THZ 968 (1988) 18, S. 85-88  
*Schallemissionsanalyse*
- 88Klu H. Klumpf  
**Partner in der Qualitäts-Sicherung**  
H. Buschhausen GmbH, Herten, 1988

*Farb-Eindringverfahren — Magnetpulverprüfung*

- 88Kna J. Knapp, G. Schickert  
**Intelligente Sensorik zur Registrierung von Bewegungen an Bauwerken**  
Deutscher Ingenieur Kalender, VDI Verlag (1988), S. 268-280  
*Rißvermessungsgeräte, optische*
- 88Mat R. G. Mathey, J. Clifton  
**Review of Nondestructive Evaluation Methods; Applicable to Construction Materials and Structures**  
U.S. Government Printing Office, Washington 1988
- 88Mat G. Matzkanin  
**A Review of Nondestructive Characterization of Composites Using NMR**  
In "Nondestructive Characterization of Materials", (Proceedings of the 3rd International Symposium, Saabrücken 1988), Ed. P. Höller et al., Springer Verlag Heidelberg Berlin New York 1989, S. 655  
*Kernspinresonanz zur Feuchtemessung*
- 88Mau M. Maultzsch  
**Die thermogravimetrische Analyse (TGA) in der Materialprüfung kunststoffmodifizierter Zementmörtel**  
Materialprüfung 30 (1988) 5, S. 157-161
- 88Osu N. Osumi, K. Ueno  
**Detection of a buried plant**  
IEE Proceedings 135 (1988), S. 330  
*Radar — Mikrowellen-Reflexion*
- 88Sch F. Schwarz, U. Lorenz, R. Habel  
**Thermisch-hygrisches Verhalten der 300er Gasbeton-Außenwand mit Außenanstrichen auf Trägerschichten**  
Bauzeitung 42 (1988) 2, S. 62-64  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*
- 88Sch1 K. Schöppel, H. Dorner, R. Letsch  
**Nachweis freier Chlorionen auf Betonoberflächen mit dem UV-Verfahren**  
Betonwerk + Fertigteil-Technik (1988) 11, S. 80-85  
*Chlorid-Nachweis*
- 88Spe D. Sperling  
**Vermessung mit Satellitenunterstützung beim Pumpspeicherwerk Vianden**  
VGB-Bautagung 1988; Hrsg: VGB Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V., Sonderheft Juli 1989, S. 19-22  
*Vermessung über Satellit*
- 88STR STRABAG BAU-AG  
**Fußgängerbrücke zum Freizeitpark Marienfelde — Adolf-Kiepert-Steg —**  
Firmenprospekt 1988  
*Lichtwellenleiter*
- 88Teo G. Teodoru  
**Kritische Gesamtauswertung der auf internationaler Ebene gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse über die zerstörungsfreien**
- Prüfmethoden von Beton (Ultraschall)**  
Abschlußbericht zu dem Forschungsvorhaben für die DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft, Fachhochschule Köln 1988  
*Ultraschall-Echo — Ultraschall-Laufzeit und -Intensität — Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 88Wei G. Weiland  
**Zerstörungsfreie Qualitätskontrolle im Straßenbau mit radiometrischen Sonden**  
Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau 9 (1988), S. 504-507  
*Neutronensonde*
- 89Alo V. Alocco  
**Georadar surveys on highway tunnel linings: a non-destructive testing for their structure and actual efficiency**  
International Conference on Monitoring, Surveillance and Predictive Maintenance of Plants and Structures, Taormina, Giardini Naxos: October 1989  
*Radar*
- 89Ana ALS Analytical Laboratory Systems GmbH  
**Humidity Analyzer of Solids**  
Firmenprospekt 1989  
*Mikrowellen-Reflexion*
- 89Bac G. Bach, J. Valtingoer, K. Goebels  
**Mikromagnetische Härte-, Härtetiefe- und Spannungsmessung**  
Materialprüfung 31 (1989) 11&12  
*Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden*
- 89BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
**Jahresbericht 1989 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin**  
Erschienen und herausgegeben von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin 1990  
*Abreiß-Versuch*
- 89Beh H. Behr  
**Schnellprüfverfahren zur Qualitätssicherung im Asphaltstraßenbau**  
Bitumen 51 (1989) 2, S. 57-64  
*Radar — Wirbelstromverfahren — Neutronensonde*
- 89Dor H. Dorner, G. Kleiner  
**Schnellbestimmung des Chloridgehaltes von Beton**  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton Heft 401; Hrsg: DAfStb, Berlin 1989, S. 45-56  
*Chlorid-Nachweis*
- 89Dor1 H. Dorner  
**Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton durch Direktpotentiometrie**  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton Heft 401; Hrsg: DAfStb, Berlin 1989, S. 57-68  
*Chlorid-Nachweis*
- 89Fer K. Ferstl  
**Zur Diagnostik des thermisch-hygrischen Langzeitverhaltens überschwerer Bauten — Schlußfolgerungen für die Denkmalpflege**  
Vortrag auf der WTZ - Tagung Bauwerksdiagnostik - Bauphysik, Berlin 5.-8.6.1989

- 89Fra Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit  
**Verwendung von Hallsensoren zur Anrißerkennung und zur berührungslosen Wegmessung**  
Technische Mitteilungen Nr. 97/89, Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit, Darmstadt 1989
- 89Fuk T. Fukushima  
**Theoretical Investigation on Durability of Reinforced Concrete with external thermal Insulations based upon Diffusion of Water and Oxygen**  
BRI Research Paper No. 132, Oct. 1989  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 89Gat H. Gatz, F. Großmann  
**Verfahren zur Beurteilung der Qualität von Hydrophobierungen bei Beton**  
Bundesanstalt für Straßenwesen 1989 (B 3.2 - 2359)  
*Hydrophobierungstest mit Elektrolyten*
- 89Ger Geraberger Thermometerwerk GmbH  
**Digitales Temperaturanzeigergerät Baureihe DTM 1000**  
Firmenprospekt 1989  
*Mikroklima-Bestimmung*
- 89Haa P. Haardt, H. K. Hilsdorf  
**Ausbesserung beschädigter Oberflächen bewehrter und unbewehrter Betonkonstruktionen**  
DBV-Rundschreiben (1989)
- 89Hil B. Hillemeier, C. Flohrer, A. Schaab  
**Zerstörungsfreie Ortung von Spannstahlbrüchen in Spannbeton-Deckenträgern**  
Beton- und Stahlbetonbau 84 (1989) 10  
*Magnetische Rißortung in Spannstählen*
- 89Häu P. Häupl, H. Stopp, K. Wellner  
**Mikrorechnergestütztes Meßgerät zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit in Dämmstoffen mittels Nadelsonde**  
Bauzeitung 63 (1989) 1, S. 15-16  
*Lambda-Nadelsonde*
- 89Kap G. Kapphahn, V. Slowik, H. Baumbach  
**Zur Anwendung der Schallemissionsanalyse bei experimentellen Untersuchungen an Beton- und Stahlbetonprobekörpern**  
betontechnik (1989) 1, S. 17-20  
*Auszieh-Versuch — Schallemissionsanalyse*
- 89Kli W. Klingsch, U. Neum  
**Zerstörungsfreie Lokalisierung äußerlich nicht sichtbarer Holzschädigungen mittels Ultraschall**  
bauen mit holz (1989) 6  
*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 89Kob A. Kober, B. Plinke  
**Feuchtemessung an Holz, Holzwerkstoffen und Baustoffen — Eine Literaturübersicht — Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), WKI-Bericht Nr. 21, Braunschweig 1989**
- 89Kri M. Kriechbaum, J. Tritthart, G. Degovics, P. Laggner  
**Direkte Bestimmung der fraktalen inneren Struktur von erhärtendem Zement durch Röntgenkleinwinkelstreuung**  
Zement und Beton 34 (1989) 4, S. 159-163  
*Röntgen-Diffraktometrie (XRD)*
- 89Kru M. Krus, K. Kießl  
**Kapillartransportkoeffizienten von Baustoffen aus NMR-Messungen**  
IBP-Mitteilung 175 16 (1989)  
*Kernspinresonanz zur Feuchtemessung*
- 89Lin H. Linnemann  
**Erfahrungen mit der meßtechnischen Überwachung von Dampfturbinenfundamenten**  
VGB Kraftwerkstechnik (1989) 8, S. 781-788
- 89LOT LOT GmbH  
**Faserlängen-, Faserdehnungs- und Störstellenbestimmung mit Millimeter- Genauigkeit**  
Spectrum 34 (1989), S. 10  
*Lichtwellenleiter*
- 89Mal X. Maldague, J. C. Krapez, P. Cielo, D. Poussart  
**Infrared thermographic inspection by internal temperature perturbation techniques**  
12th World Conference Non-Destructive Testing, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 1989  
*Infrarot-Thermographie*
- 89Men B. Meng  
**Damage diagnosis on building material specimens by means of thin-section microscopy and image analysis**  
ibac Mitteilungen (1989), S. 124-127  
*Mikroskopie, optische*
- 89Met H. Metzemacher  
**Pull-Out Tests of Masonry Anchors**  
In: IBAC Mitteilungen, 1990, unveröffentlicht  
*Haftzugprüfung*
- 89Rom M. Rommel  
**Anwendungsmöglichkeiten von ausgewählten atomspektroskopischen und nuklearen Methoden zur Konzentrationsbestimmung in der Bauwerksdiagnostik**  
Dissertation, TH Leipzig 1989  
*Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)*
- 89Sch A. Schaab, C. Flohrer, B. Hillemeier  
**Die zerstörungsfreie Prüfung der Betondeckung der Bewehrung (Teil 1)**  
Beton- und Stahlbetonbau 84 (1989) 11, S. 275-279  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches) — Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung) — Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung) — Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)*
- 89Sch1 P. Schießl  
**Dauerhaftigkeit von Betonkonstruktionen**  
Der Sachverständige (1960) 4, S. 84-88
- 89Sch2 A. Schaab, C. Flohrer, B. Hillemeier  
**Die zerstörungsfreie Prüfung der Betondeckung der Bewehrung (Teil 2)**  
Beton- und Stahlbetonbau 84 (1989) 12, S. 324-327  
*Radar — Induktions-Thermographie — Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung) — Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung) — Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)*

- 89Sch3 P. Schießl, B. Meng  
**Methoden zur Ermittlung physikalischer Gesteinseigenschafts-Profile aus Probekörpern geringstmöglicher Menge und Größe**  
Bautenschutz und Bausanierung (1989), S. 46-50  
*Endoskop (starre Ausführung) — Endoskop (flexible Ausführung)*
- 89Sch5 F. Schwarz  
**Experimentelle Methode zur Bewertung des komplexen Feuchtetransportverhaltens in Außenbauwerksteilen**  
Bauzeitung 43 (1989) 8, S. 349-350  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*
- 89Sch6 G. Schickert  
**Infrarot-Thermographie bei der Durchmusterung von Bauwerken**  
Tagungsbericht WTZ-Expertentreffen, Bauakademie der DDR, Berlin 1989  
*Infrarot-Thermographie*
- 89Sch7 K. Schönlin  
**Permeabilität als Kennwert der Dauerhaftigkeit von Beton**  
Schriftenreihe des Institutes für Massivbau und Baustofftechnologie "Massivbau, Baustofftechnologie, Karlsruhe" Heft 8; Hrsg: Prof. Dr.-Ing. J. Eibel, Prof. Dr.-Ing. H.K. Hilsdorf, 1989  
*Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion — Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 89Spr R. Springenschmid  
**Anleitung zu Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton**  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton Heft 401; Hrsg: DAfStb, Berlin 1989, S. 7-44  
*Chlorid-Nachweis*
- 89Wen E. Wendler, R. Snethlage  
**Der Wassereindringprüfer nach Karsten — Anwendung und Interpretation der Meßwerte**  
Bautenschutz und Bausanierung 12 (1989), S. 110-115  
*Flüssigkeits-Eindringtest*
- 89Yos B. Yoshida, C. Flohrer  
**Die zerstörungsfreie Prüfung der Betondeckung der Bewehrung**  
Beton- und Stahlbetonbau 84 (1989), S. 275-279 u. 324-327  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches) — Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung) — Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung) — Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)*
- 90Ach J. Achtziger, J. Cammerer  
**Untersuchung des anwendungsbedingten Einflusses der Feuchtigkeit auf den Wärmetransport durch gedämmte Außenbauteile.**  
Bauphysik 12 (1990) 2, S. 42-46
- 90Bag E. Bagda  
**Neues zur Bestimmung des Feuchtehaushaltes von Beschichtungen**  
Bautenschutz und Bausanierung 13 (1990), S. 26-30
- 90BAM1 D. Arndt  
**Aufnahme der BAM, Fachgruppe 2.4**  
*Infrarot-Thermographie — Haftzugprüfung — Abreißversuch — Ultraschall-Echo — Mikrowellen-Transmission — Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung) — Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung) — Feuchtemeßgerät, dielektrisches — Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse — Sauerstoff-Sensor*
- 90BAM3 J. Goebbels  
**Aufnahme der BAM, Fachgruppe 6.3**  
*Computer-Tomographie — Radiographie mit Röntgenstrahlen*
- 90BAM4 M. Krause  
**Aufnahme der BAM, Fachgruppe 2.4**  
*Verformungsmessung — Schwingungsaufnehmer — Rauhtiefenbestimmung*
- 90BAM5 K. Brandes  
**Aufnahme der BAM, Fachgruppe 2.2**  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*
- 90BAM6 K. Salzwedel  
**Aufnahme der BAM, Fachgruppe 2.1**  
*Flüssigkeits-Eindringtest*
- 90BAM7 W. Rücker  
**Aufnahme der BAM, Fachgruppe 2.3**  
*Pfahlprüfung*
- 90Bau H. Baumann, N. Klose, H. Luley  
**Instandsetzung und Pflege eines "ungeliebten" Bauwerkes; Folge 1: Schäden und Zustandsdiagnose**  
Bausubstanz 6 (1990) 9, S. 36-38
- 90Bau1 H. Baumann, N. Klose, H. Luley  
**Instandsetzung und Pflege eines "ungeliebten" Bauwerks; Folge 2: Planerische Vorarbeiten**  
Bausubstanz 6 (1990) 9, S. 28-30
- 90BLH BLH SR-4 Sensoren GmbH  
**Dehnungsmeißstreifen und Zubehör**  
Firmenprospekt 1990
- 90Bra K. Brandes  
**Crack Growth Tests to Assess the Remaining Fatigue Life of Old Steel Bridges**  
In "IABSE Workshop Lausanne 1990", Hrsg. IABSE-AIPC-IVBH, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich; Zürich 1990, S. 103-109  
*Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben*
- 90CEB Centre experimental de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics  
**Controles non destructifs des fondations profondes**  
Institutsbroschüre 1990  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk — Pfahlprüfung*
- 90Dah W. Dahl, O. Schumann, G. Sedlacek  
**Method to Back Decisions on Residual Safety of Bridges**  
In: "IABSE Workshop Lausanne 1990"; Hrsg. IABSE-AIPC-IVBH, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Zürich 1990, S. 313-326  
*Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben*
- 90Dan D. J. Daniels  
**Radar für zerstörungsfreie Prüfung**  
VFI 3 (1990), S. 53  
*Radar*

- 90Dau W. Daum, J. Munschau, A. Roos  
**Optische Verfahren zum zerstörungsfreien Prüfen neuer Konstruktionswerkstoffe**  
Materialprüfung 32 (1990) 9, S. 251-254  
*Laser-Speckle-Photographie — Holographische Interferometrie*
- 90DGZ Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V.  
**Merkblatt für Bewehrungsnachweis und Überdeckungsmessung bei Stahl- und Spannbeton**  
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Berlin 1990  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches) — Wirbelstromverfahren — Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung) — Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung) — Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung) — Magnetpulverprüfung*
- 90DGZ1 Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V.  
**Merkblatt für die Durchstrahlungsprüfung von Stahlbeton und Spannbeton**  
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Berlin 1990  
*Röntgen-Diffraktometrie (XRD) — Radiographie mit Gammastrahlen*
- 90DGZ2 Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V.  
**Merkblatt für elektrochemische Potentialmessungen zur Ermittlung von Bewehrungsstahlkorrosion in Stahlbetonbauwerken**  
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Berlin 1990  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 90Dre J. Dressler  
**Zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden bei der Zustandsbeurteilung von Eisenbahntunneln**  
ETR 39 (1990) 6, S. 361-366  
*Infrarot-Thermographie — Radar*
- 90DYW Dyckerhoff & Widmann AG  
**DYWIDAG-Bauwerkserhaltung, Erhalten von Betonbauwerken**  
Firmenprospekt 1990
- 90Elc Elcometer Instruments GmbH  
**Messen und Prüfen von Oberflächenschichten**  
Firmenprospekt 1990  
*Dickenmessung von dünnen Beschichtungen*
- 90Fid M. Fidelak  
**Im Wasser?**  
EEE 28 (1990) 22, S. 30-33  
*Neigungssensor*
- 90Fis H. Fischer, K. Heber  
**Industrielle Feuchtigkeitsmeßtechnik unter Berücksichtigung höherer Temperaturen**  
Expert-Verlag, Ehningen bei Böblingen 1990; (Kontakt & Studium; Bd. 311)  
*Infrarot-Reflektographie — Mikrowellen-Transmission*
- 90Fle W. Fleischer  
**Eigenspannungen in Beton nachweisen**  
Materialprüfung 32 (1990) 6, S. 190-193
- 90Flo C. Flohrer  
**Zerstörungsfreie Ortung von Spanndrahtbrüchen in Spannbeton-Deckenträgern**  
VDI BERICHTE (1990) 815, S. 425-433  
*Magnetische Rißortung in Spannstählen*
- 90FOR FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
**Form + Test Prüfgeräte**  
Firmenprospekt 1990  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 90Fra Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
**NMR-Messung kapillarer Flüssigkeitsbewegungen in Natursteinprüfkörpern**  
Interner Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik  
*Kernspinresonanz zur Feuchtemessung*
- 90Fra1 Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
**Luftsaugergerät**  
Interner Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik  
*Vakuum-Verfahren*
- 90Gar H. Garrecht  
**Feuchtetransport in porösen Baustoffen, insbesondere Mauerwerk**  
DAfStb-Forschungskolloquium; Oktober 1990
- 90Gon J. A. Gonzales, A. Molina, E. Otero, W. Lopez  
**On the mechanism of steel corrosion in concrete: the role of oxygen diffusion**  
Magazin of Concrete Research 42 (1990), S. 23-27
- 90Gri I. Gritschneider  
**Röntgenstrahlen prüfen Material**  
VFI (1990) 6, S. 32-33
- 90Gün M. Günter  
**Polymerbeschichtungen auf Beton – Beton-spezifische Beanspruchung und Beanspruchbarkeit des Verbundes**  
In: "DAfStb-Forschungskolloquium", Beiträge zum 24. Forschungskolloquium am 11. und 12. Oktober 1990, Karlsruhe; Hrsg: Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Berlin 1990, S. 111-124  
*Druckgas-Verfahren*
- 90Haa A. Haack  
**Jüngste Forschungs- und Entwicklungsergebnisse im Tunnelbau**  
Tunnel (1990) 3, S. 119-126  
*Radar — Induktions-Thermographie — Neutronensonde*
- 90Hee W. von Heesen  
**Magnetische Rißprüfung bei Gelsenberg-Benzin**  
Beilage zur DGZfP-Zeitung Nr.23, Oktober 1990
- 90Hei G. Heidrich  
**Einflüsse auf die Ergebnisse von Haftzugprüfungen**  
Bautenschutz und Bausanierung 13 (1990), S. 31-33  
*Abreiß-Versuch*
- 90Hel K. Hellmich  
**Ein einfaches Meßverfahren zur Beurteilung der Tragfähigkeit von Gewölbekonstruktionen**

- nen**  
Bauingenieur 65 (1990), S. 361-366  
*Verformungsmessung — Schwingsaitenaufnehmer*
- 90Hen M. Hentschel, G. Kempf, A. Lange  
**Röntgen-Rückstreu-Topometrie**  
Materialprüfung 32 (1990) 9, S. 267-270  
*Röntgen-Diffraktometrie (XRD)*
- 90Hew Hewlett-Packard GmbH, Vertriebszentrale  
Deutschland  
**Hewlett-Packard Test- und Meßtechnik  
Hauptkatalog**  
Firmenkatalog 1990  
*Gas-Chromatographie*
- 90Hew1 Hewlett-Packard GmbH, Vertriebszentrale  
Deutschland  
**Von der mechanischen Schwingung zum  
elektrischen Signal**  
VFI (1990) 3, S. 48-52  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*
- 90Hew2 Hewlett-Packard GmbH, Vertriebszentrale  
Deutschland  
**Zerlegung der Schwingung in ihre Kompo-  
nenten**  
VFI 4 (1990), S. 63-70  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*
- 90Hoc Hochtief AG  
**Orten von Spannstahlbrüchen in Spannbeton**  
Firmenprospekt 1990  
*Magnetische Rißfortung in Spannstählen*
- 90Hun Hund GmbH  
**Stereomikroskope, Binokulare Prismenlupen**  
Firmenprospekt 1990  
*Mikroskopie, optische*
- 90Hör Hörotron GmbH, Phys.-Techn. Meß- u. Daten-  
technik  
**Berührungslose Infrarot-Temperaturmessung**  
Firmenprospekt 1990  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*
- 90Hör1 Hörotron GmbH, Phys.-Techn. Meß- u. Daten-  
technik  
**Infrared Spectroradiometer SPR 314**  
Firmenprospekt 1990  
*Infrarot-Strahlungsthermometer*
- 90Häu P. Häupl  
**Hygrische Einstellvorgänge in Umfassungs-  
konstruktionen**  
AID Schriftenreihe der Sektion Architektur,  
TU Dresden, Heft 31 (1990)
- 90Iso Isotopen-Technik Dr. Sauerwein GmbH  
**Gammadiagnostik — Geräte und Zubehör**  
Firmenprospekt 1990
- 90Jen R. Jenisch, M. Stohrer, S. Palm  
**Entwicklung einer Schnellmeßmethode zur  
Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von  
Baustoffen für die Produktionskontrolle —  
Wärmeleitfähigkeitsschnellmeßmethode —  
Abschlußbericht BPL 130/90, Joseph-von-En-  
gle-Institut, Fachhochschule für Technik Stutt-  
gart; Stuttgart 1990**
- 90Kie K. Kießl, H. Leonhardt  
**Einfache Messung der Diffusionsoffenheit  
von Gesteinsoberflächen vor Ort**  
IBP Mitteilung 190 (1990); Hrsg: Fraunhofer-In-  
stitut für Bauphysik, Stuttgart 1990  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 90Kli O. Klingmüller  
**Schallreflexionsanalyse von Stahlbetonbau-  
teilen**  
VDI BERICHTE (1990) 815, S. 613-624  
*Ultraschall-Echo — Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*
- 90Knö D. Knöfel, P. Schubert  
**Zur Beurteilung von Mörteln für die Instand-  
setzung von Mauerwerk**  
Bautenschutz und Bausanierung 13 (1990), S.  
15-20  
*Haftzugprüfung*
- 90Kro J. Kropp  
**Karbonatisierung und Realkalisierung von  
Zementstein und Beton**  
In: "DAfStb-Forschungskolloquium", Beiträge  
zum 24. Forschungskolloquium am 11. und 12.  
Oktober 1990, Karlsruhe; Hrsg: Deutscher Aus-  
schuß für Stahlbeton, Berlin 1990, S. 97-102
- 90Kun R. Kunterding  
**Verschleiß von Betonoberflächen**  
In: "DAfStb-Forschungskolloquium", Beiträge  
zum 24. Forschungskolloquium am 11. und 12.  
Oktober 1990, Karlsruhe; Hrsg: Deutscher Aus-  
schuß für Stahlbeton, Berlin 1990, S. 125-131
- 90Kup K. Kupfer  
**Feuchtemessung an Zuschlagstoffen für die  
Betonherstellung unter Verwendung der Mi-  
krowellenmeßtechnik**  
Dissertation, Hochschule für Architektur und  
Bauwesen, Weimar 1990  
*Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 90Kün H. Künzel, K. Kießl  
**Berechnung des Einflusses der Wasserdampf-  
sorption von Obeflächenmaterialien auf das  
Feuchteverhalten von Wohnräumen**  
Gesundheits-Ingenieur 111 (1990) 5, S. 217-221
- 90Kün1 H. Künzel  
**Die hygrothermische Beanspruchung von  
Außenputzen als Schadensursache bei Wär-  
medämmverbundsystemen**  
Bauphysik 12 (1990) 4, S. 104-109
- 90Lec Leco Instrumente GmbH  
**Leco Spectrometer**  
Firmenprospekt 1990
- 90Leo H. Leonhardt, K. Kießl  
**Schnellbestimmung des Festigkeitsprofils  
verwitterter Oberflächenzonen alter Gebäu-  
de durch Bohrwiderstandsmessung**  
IBP Mitteilung 191 (1990); Hrsg: Fraunhofer-In-  
stitut für Bauphysik, Stuttgart 1990
- 90Mas H. Mast, P. Stein, T. Brandler, R. Richter, J. Stade,  
H. Teichert, H. Heidt  
**Neue Anwendungsmöglichkeiten der Neu-  
tronenradiographie (Teil 2: Einsatz im Bau-  
wesen und digitale Bildverarbeitung)**  
Materialprüfung 32 (1990) 4, S. 115 - 117  
*Radiographie mit Neutronen*

- 90MIC MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co.KG  
**Innovation in zerstörungsfreier Prüfung**  
Firmenprospekt 1990  
*Schallemissionsanalyse*
- 90Net Netzsch-Gerätebau GmbH  
**Thermische Analyse - Programme**  
Firmenprospekt 1990  
*Differential-Thermo-Analyse (DTA)*
- 90Nor Norwegian Institute of Technology Department of Physics  
**Crack detection in concrete**  
SINTEF Applied Physics 1990  
*Holographische Interferometrie*
- 90NTZ Nachrichtentechnische Zeitschrift  
**Radar für zerstörungsfreie Prüfung**  
Nachrichtentechnische Zeitschrift 43 (1990) 4, S. 238-239  
*Mikrowellen-Reflexion*
- 90Oly Olympus Optical Corporation GmbH  
**Explore Areas Once Invisible**  
Firmenprospekt 1990  
*Endoskop (starre Ausführung)*
- 90Oly1 Olympus Optical Corporation GmbH  
**Videoendoskope**  
Firmenprospekt 1990  
*Videoskop*
- 90Pan Panametrics GmbH  
**Die besseren Lösungen zum Nutzen seiner Kunden - PANAMETRICS**  
Firmenprospekt 1990  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*
- 90Pew PEWATRON AG  
PEWATRON AG  
Firmenprospekt 1990  
*Sauerstoff-Sensor*
- 90Phi Philips GmbH, IPG-Industrial X-Ray  
**Atomabsorptions-Spektroskopie**  
Firmenprospekt 1990  
*Atomabsorptions-Spektroskopie*
- 90Pol Polytec GmbH  
**Faseroptisches Laser Vibrometer**  
Firmenprospekt 1990  
*Laservibrometer*
- 90PRO PROCEQ SA  
**Prüfung am Bauwerk**  
Firmenprospekt 1990  
*Rißvermessungsgeräte, optische — Rückprallhammer*
- 90Roh Rohmann GmbH  
**Elotest B2 - Wirbelstromprüfung**  
Firmenprospekt 1990  
*Wirbelstromverfahren*
- 90Rot Rotronic Messgeräte GmbH  
**rotronic Hygroskop information, Feuchte- und Temperaturmessung von Beton**  
Firmenprospekt 1990  
*Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand — Mikroklima-Bestimmung — Feuchtemeßgerät, dielektrisches*
- 90Rou G. Roux, G. Trambly, G. Venuti  
**Vorhersage des Langzeit-Dämmwertes von Polyurethan-Hartschäumen — Die ACREMI Methode —**  
Überwachungsgemeinschaft DIN 18164 (Übersetzung von P. Kindermann 20. Sept. 1990)
- 90Rön Röntgenanalytik Meßtechnik GmbH  
**Energy Dispersive X-Ray Microanalysis System**  
Firmenprospekt 1990  
*Wirbelstromverfahren — Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)*
- 90Sch F. Schlawne  
**Zerstörungsfreie Prüfung auf Oberflächenfehler mit elektrodynamisch angeregten Ultraschallwellen**  
In: Beilage zur DGZfP-Zeitung Nr.22 (Vorgetragen auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. am 21.Mai 1990 in Trier)  
*Ultraschall-Echo — Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*
- 90Sch1 P. Schießl, M. Raupach  
**Einfluß der Betonzusammensetzung und der Umgebungsbedingungen auf die chlorinduzierte Korrosion von Stahl im Beton**  
Beton-Information 30 (1990) 4, S. 43-54  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 90Sch2 C. Schleicher  
**Aufnahme zur Verformungsmessung (Foto)**  
*Verformungsmessung*
- 90Sic SICOM Gesellschaft für Sensor- und Vorspanntechnik mbH  
**Lichtwellenleiter-Sensor**  
Firmenprospekt 1990  
*Lichtwellenleiter*
- 90Spe Spectro Analytical Instruments GmbH  
**SPECTRO - Analytical Instruments**  
Firmenprospekt 1990  
*Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse*
- 90Sta J. Stade, H. Teichert, H. Heidt, H. Mast, P. Stein, T. Brandler, R. Richter  
**Neue Anwendungsmöglichkeiten der Neutronenradiographie (Teil 1: Entwicklungen für den Luftfahrt- und Industrieinsatz)**  
Materialprüfung 32 (1990) 1-2, S. 7-10  
*Radiographie mit Neutronen*
- 90Ste M. Steiner  
**Optische Materialprüfung von innen**  
Materialprüfung 32 (1990) 9, S. 259-261  
*Endoskop (starre Ausführung) — Endoskop (flexible Ausführung)*
- 90Ste1 H. Steinbichler, J. Engelsberger  
**Zerstörungsfreie Bauteilprüfung mit Holographie**  
Materialprüfung 32 (1990) 9, S. 255-258  
*Holographische Interferometrie*
- 90SUS SUSPA, Spannbeton GmbH  
**SUSPA - Spannbeton**  
Firmenprospekt 1990  
*Salz-Test*
- 90Thy Thyssen Edelstahlwerke Magnetfabrik Dortmund  
**Dauermagnetisches Deckungsprüfgerät**  
Firmenprospekt 1990  
*Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)*

- 90TÜV TÜV Rheinland e.V.  
**Großflächige Wanddickenmessungen - zwei Beispiele**  
ifm-info (1990)2  
*Dickenmeßverfahren mit Ultraschall*
- 90Ven H. Venzmer, B. Zacharias  
**Komplexe Feuchte-Diagnostik zur Bauwerkstrockenlegung**  
Bautenschutz und Bausanierung 13 (1990), S. 21-25  
*Feuchtemeßgerät, dielektrisches*
- 90War P. Warnecke, K. Wendt  
**Photogrammetrische Verformungsmessung an Mauerwerkswänden**  
Materialprüfung 32 (1990) 9, S. 262-266  
*Verformungsmessung*
- 90Web M. Weber  
**Feuchte und Salz - Gott erhalt's**  
Bausubstanz (1990) 9, S. 62-64
- 90Wes Wessels Messtechnik GmbH  
**Präzise messen, heißt mehr wissen!**  
Firmenprospekt 1990  
*Anemometer*
- 90Wüs H. Wüstenberg, B. Rotter, H. Krause  
**Ultraschallprüfung von Punktschweißverbindungen durch Abbildungsverfahren**  
Materialprüfung 32 (1990) 6, S. 171-174  
*Ultraschall-Echo*
- 90Zie Ziegler-Instruments GmbH  
**Die neuen Impuls-Hammer-Kits von PCB Piezotronics**  
Firmenprospekt 1990  
*Impuls-Prüfhammer*
- 90ZTV Der Bundesminister für Verkehr  
**Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (ZTV-SIB 90)**  
Hrsg: Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau; Verlag Bogmann GmbH & Co KG, Berlin 1990, (Verkehrsblatt-Dokument Nr. B 5230- Vers. 90.1)  
*Haftzugprüfung — Rauhtiefenbestimmung — Hydrophobierungstest mit Elektrolyten*
- 90Öst Österreichischer Betonverein  
**Richtlinie Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton, Teil 1 — Anwendung**  
Österreichischer Betonverein, Wien 1990
- 91Am H. Arndt  
**Zerstörungsfreie diagnostische Bewertung des Wärme- und Feuchteschutzes an in Nutzung befindlichen Baukonstruktionen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 244-251
- 91Ber W. Bernuth, G. Ehlert, G. Schatter, P. Schwesinger  
**Berührungslose Zweikomponenten-Dehnungsmessung zur Untersuchung des Verformungsverhaltens von Beton**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 406-418  
*Verformungsmessung*
- 91Bun J. H. Bungey  
**NDT in Civil Engineering in Great Britain**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 17-23
- 91Böh H. Böhni, B. Elsener  
**Früherkennung von Bauwerkskonstruktionen: Potentialfeldmessung und galvanostatische Impulstechnik**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 101-122  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 91DAf Deutscher Ausschuß für Stahlbeton  
**Prüfung von Beton "Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048**  
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton; Arbeitsausschuß DIN 1048; zur Veröffentlichung vorgesehen  
*Radar — Indikator-Technik — Reifegrad-Methode — Kugelschlag-Versuch — Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen — Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 91Dan J. Danßmann, H. Vogel  
**Betondeckungsmessungen mit Manipulatorsteuerung des Aufnehmers und Meßdatenerfassung per PC**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 303  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)*
- 91Dob G. Dobmann  
**Messung der Vorspannung mit mikromagnetischen Methoden**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 83-90  
*Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden*
- 91Feh T. Fehlhaber, O. Kroggel  
**Messung der Betondeckung; statistische Interpretation und Planung für flächendeckende Untersuchung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 91-100  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung) — Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)*
- 91Fle R. Flesch  
**Baudynamische Untersuchungen von Tragwerken**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 234-243

- Schwingungsanalyse am Bauwerk*
- 91Flo C. Flohrer, H. Kestler, B. Hillemeier  
**Zerstörungsfreie Prüfung der Betondeckung der Bewehrung**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 44-51  
*Magnetische Rißfortung in Spannstählen*
- 91Flu G. Fluck, J. Wilms  
**Kontrollierte Steuerung von Senkungen durch Feststoff-Einpreßtechnik am Beispiel U-Bahn Essen, Baulos 31**  
 Forschung + Praxis 32 (1991), S. 97-105  
*Schallemissionsanalyse — Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen — Neigungssensor*
- 91Gie G. Giegerich, A. Ötes  
**Dynamische Systemüberprüfung**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 213-220  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*
- 91Hei U. Heinrich  
**Zerstörungsfreie Tragfähigkeitsbestimmung für starre Deckenkonstruktionen**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 425-429
- 91Hil H. K. Hilsdorf  
**Permeabilitätsmessung an Betonbauwerken**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 150-157  
*Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 91Hil1 W. Hillger  
**Einfluß des Frequenzspektrums auf die Abbildungseigenschaften der Ultraschalltechnik**  
 DACH-Jahrestagung, Tagungsbericht Zerstörungsfreie Materialprüfung, 6.-8. Mai 1991, Luzern; Hrsg: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V., Berlin 1991, S. 15
- 91Hön A. Hönig  
**Programm zur Fachausbildung für die zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 78-82
- 91Ill B. Illich, T. Fehlhaber  
**Radaranwendungen im Bauwesen**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 252-260  
*Radar — Mikrowellen-Reflexion*
- 91Jan D. Janowski  
**Praktische Erfahrungen bei Rißuntersuchungen mit der Infrarot-Thermographie**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 340-347  
*Infrarot-Thermographie*
- 91Kar H. Karagülle, O. Kroggel, Xiaofeng Shen  
**Ultraschalluntersuchung an einbetonierten Hüllrohren**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 174-181  
*Ultraschall-Echo*
- 91Kes H. Kestler  
**Merkblätter der DGZfP zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 71-77
- 91Kol B. Kolata, Meyendorf, K. Winterberg  
**Beitrag zur Abbildung oberflächennaher Materialstrukturen und Fehler mittels Mikrothermographie**  
 DACH-Jahrestagung, ZfP, 6.-8. Mai 1991, Luzern; Hrsg: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V.; Plakatbeitrag P53  
*Infrarot-Thermographie*
- 91Kra M. Krause, H. Wiggenhauser, G. Schickert  
**ZfPBau-Datenbank für Ingenieurbauwerke**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 293-302
- 91Kup K. Kupfer, K. Morgeneier  
**Konzeption eines Mikrowellenmeßgerätes für die dichteunabhängige Erfassung der Zuschlagstoffeuchte**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 348-359  
*Mikrowellen-Transmission*
- 91Kön G. König  
**Sensorik**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 123-127
- 91Loz S. Lozza  
**Dynamische Methoden der Bauwerksprüfung**  
 In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 205-212
- 91Luz E. Luz, K. Kerkhof  
**Diagnose von Bauwerken mit Hilfe der**

**Schwingungsanalyse**

In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 383-295  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*

- 91Man S. Manleitner  
**Forschungsbedarf für Stahlbeton und Spannbeton**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 37-43
- 91Mar H. Marquardt  
**Rationelles Meßverfahren zum Auffinden korrodierender Bewehrung in Beton**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 304-311  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 91May N. Mayer, J. Knapp, E. Thebis  
**Einsatz von Datensammlern zur Bauwerksüberwachung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 135-141  
*Rißvermessungsgeräte, optische*
- 91Mie H. Miesslerer, R. Wolff  
**Bauwerksbeobachtung mit Lichtwellenleitern**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 142-149  
*Lichtwellenleiter*
- 91Mün M. Münker, R. Link, R. Grimm, W. Nuding, H. Wiacker  
**Mobile Computer-Tomographie im Bauwesen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 200-204  
*Computer-Tomographie*
- 91Nei J. Neisecke  
**Ultraschallprüfung im Bauwesen – eine kritische Wertung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 182-191  
*Ultraschall-Echo — Ultraschall-Laufzeit und -Intensität — Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 91Neu H. Neumann  
**Rißfortschritt messen**  
Materialprüfung 33 (1991) 5 S. 139-142
- 91Neu1 R. Neumann, G. Dobmann  
**Neue magnetische Gerätetechnik bei der Be-**
- tondeckungsmessung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Teil 2, Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991  
*Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)*
- 91Nür U. Nürnberger  
**Betontechnologische Einflüsse auf Stahl/Beton-Potentiale**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 312-319  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 91Phi Philips GmbH, Elektronik für Wissenschaft und Industrie  
**Announcing a new dimension in aircraft inspection**  
Firmenprospekt 1991  
*Röntgen-Rückstreuung*
- 91Pla G. Plauk  
**Verformungsmessung an Natursteinmauerwerk**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 405  
*Verformungsmessung*
- 91Pro PROCEQ SA  
**Dyna-Haftzugprüfer**  
Firmenphoto
- 91Reh G. Rehm, E. Luz, W. Bidom, C. Gurr-Beyer  
**Messungen von Änderungen im Schwingungsverhalten eines Kirchturms infolge von Sanierungsmaßnahmen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 396-404  
*Schwingungsanalyse am Bauwerk*
- 91Rom M. Rommel, E. Langrock, H. Baumbach  
**Zerstörungsfreie Rißtiefenbestimmung in Betonbauwerken mittels Radiotracerverfahren**  
DACH-Jahrestagung, ZfP, 6.-8. Mai 1991, Luzern; Hrsg: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V.  
*Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden*
- 91Roy W. Roye  
**Röntgen-Rückstreutechnik: Analyse der Materialstruktur bei einseitiger Zugänglichkeit**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 276-283  
*Röntgen-Rückstreuung*
- 91Röt H. Röthig  
**Zerstörungsfreie Festigkeitsprüfung durch Ultraschallmessungen – Überlegungen zu DIN ISO 8047 und entsprechenden Prüfvor-**

- schriften in Osteuropa**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 443-446  
*Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen*
- 91Rüc W. Rückward  
**Zerstörungsfreies Orten von Schallbrücken  
im Rohbau**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 165-173
- 91Rüc1 W. Rücker, G. Möller, P. Weyer  
**Lasteinwirkung, Überwachung und Schaden-  
erkennung bei Stahl- und Stahlbeton-  
brücken**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 221-228
- 91Sch G. Schickert  
**Systematik der ZfPBau-Verfahren**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 1-16
- 91Sch1 C. Schleicher  
**Brückenverformungen, Meßtechnik und cha-  
rakteristische Untersuchungsergebnisse**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 58-70  
*Verformungsmessung — Schwingensaitenaufnehmer*
- 91Sch2 P. Schiessl  
**Zerstörungsfreie Bestimmung der Korro-  
sionsgefahr für die Bewehrung mit Korro-  
sionsmeßzellen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 128-134  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*
- 91Sch3 G. Schickert  
**Neue Ansätze zur Fortentwicklung der zer-  
störungsfreien Prüfung im Bauwesen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 284-292
- 91Sch4 G. Schickert  
**Experimente zum Wärmeflußverfahren bei  
Betonkonstruktionen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 360-365  
*Infrarot-Thermographie*
- 91Sch5 G. Schickert, M. Weber  
**Kombinierte infrarot-thermographische und  
numerische Ermittlung der Temperaturvertei-**
- lung in Betonquerschnitten infolge Hydrat-  
tionswärme**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 366-372  
*Infrarot-Thermographie*
- 91Sch6 J. Schmidt  
**Einsatz der Mikrowellenmeßtechnik zur zer-  
störungsfreien und kontinuierlichen Erfas-  
sung der Hydrationskinetik von Mörteln und  
Betonen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 373-382  
*Mikrowellen-Transmission*
- 91Sch7 G. Schickert  
**Internationales Symposium Zerstörungsfreie  
Prüfung im Bauwesen. Gemeinsame Tagung  
der DGZfP und der BAM; Berlin, 27. Feb-  
1. März 1991; Vorträge und Plakatberichte**  
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie  
Prüfung e. V. Berlin 1991; Teil 1 und 2
- 91SkI C. Sklarczyk  
**Nachweis und Überwachung von Rissen in  
Betonbauwerken mittels Schallemission**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 158-164  
*Schallemissionsanalyse*
- 91Spe D. Sperling  
**Neue Technik und Neigungsmessung sowie  
Wege- und Verformungsmessung via Satellit**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 229-233  
*Neigungssensor — Vermessung über Satellit*
- 91Spe1 M. Specht, M. Rösler  
**Neue Baumaterialien und Überwachungs-  
techniken am Beispiel der Forschungsbrücke  
Berlin**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 327-339  
*Lichtwellenleiter*
- 91Ste K. Steffens, P. Wolers, S. Keil  
**Mobile On-Line-Meßtechnik zur zerstörungs-  
freien Traglastermittlung an duktilen Bautei-  
len**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen",  
Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27.  
Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert,  
BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 419-424  
*Verformungsmessung*
- 91Tir W. Tirschler, H. Schumann  
**Nutzung des Barkhausenrauschens für die  
Untersuchung von Eigenspannungsanteilen**

- auf verschiedenen Strukturebenen**  
DACH-Jahrestagung, ZfP, 6.-8. Mai 1991, Luzern; Hrsg: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V.; Plakatbeitrag P29  
*Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden*
- 91Uom T. Uomoto  
**Application of NDT for concrete engineering in Japan**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 24-31
- 91Van C. Van der Veen  
**Crack width in reinforced concrete at low temperature**  
In: **Quality of Concrete Structures**, Proceedings of the 2nd Int. RILEM/CEB Symposium, Gent, 12.-14. Juni 1991, Ed.: L. Taerwe and H. Lambotte, E & FN Spon, London 1991, p. 205  
*Rißvermessungsgeräte, optische*
- 91Web D. Weber  
**Erfahrungen mit zerstörungsfreien Prüfmethoden in der Praxis**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 261-267
- 91Web1 A. Weber  
**Eine Strategie zur Schadenserkenkung an großen Tragkonstruktionen auf vibroakustischer Signalbasis**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 320-326
- 91Web2 M. Weber, A. Wagner  
**Numerische Modellierung zur Unterstützung der zerstörungsfreien Bauwerksdiagnostik**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 430-437  
*Infrarot-Thermographie*
- 91Wey P. Weyer  
**Aufgaben der zerstörungsfreien Prüfung aufgezeigt am Beispiel Berliner Bauwerke**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 32-36
- 91Wie W. Wiemann  
**Streustrahlentomografie**  
In: "Computertomografie", Tagungsbericht Durchstrahlungsprüfung und Strahlenschutz 11.-12. März 1991, München; Hrsg: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V., DGZfP, Berlin 1991, S. 5-14  
*Röntgen-Rückstreuung*
- 91Wig H. Wiggenhauser  
**Verbesserte Aussagefähigkeit der Infrarot-Thermographie durch digitale Bildverarbeitung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 268-275  
*Infrarot-Thermographie*
- 91Wig1 H. Wiggenhauser, M. Krause  
**Vorversuche zum Fehlstellennachweis in Betonkonstruktionen mittels Durchströmbarkeitsprüfung**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 438-442  
*Vakuum-Verfahren — Gaspermeabilitäts-Verfahren*
- 91Wit G. Wittig, H. Lingott  
**Untersuchungen an Zementmörtelproben mit Mikrowellen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991, S. 192-199  
*Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 91Wit1 G. Wittig, H. Lingott  
**Untersuchungen zur Feuchtwanderung in Baustoffproben mit Mikrowellen**  
zur Veröffentlichung vorgesehen in: *Bauphysik Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 91Wit2 G. Wittig, H. Lingott  
**Untersuchungen an Baustoffproben mit Mikrowellen Teil 1: Versuchsmethodik, Messergebnisse an Zementmörtelproben**  
*Materialprüfung 33 (1991) 4, S. 106-110*  
*Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 91Wit3 G. Wittig, H. Lingott  
**Untersuchungen an Baustoffproben mit Mikrowellen Teil 2: Messergebnisse an Ziegeln**  
*Materialprüfung 33 (1991) 5, S. 143-144*  
*Mikrowellen-Transmission — Mikrowellen-Reflexion*
- 91Wol R. Wolff, H. Mießler  
**Die Brücke Schießbergstraße in Leverkusen — Überwachung von Brückenbauwerken —**  
*Beton (1991) 4, S. 175-178*  
*Lichtwellenleiter*
- 91Wüs H. Wüstenberg, B. Rotter  
**Möglichkeiten und Konzepte für Ultraschall-Prüfköpfe im Bauwesen**  
In: "Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen", Tagungsbericht Teil 2, Int. ZfPBau-Symposium 27. Feb.-1. März 1991, Berlin; Hrsg: G. Schickert, BAM, DGZfP, Berlin 1991  
*Ultraschall-Echo*

Der nachfolgende Index enthält alle Stichworte, die mit den in diesem Kompendium behandelten Geräten bzw. Verfahren verknüpft sind. Jedes (nach links ausgerückte) Stichwort verweist auf ein Geräte/Verfahrensblatt im entsprechenden Abschnitt. Die Verweise können wegen der Konzeption dieses Kompendiums - es ist eine Loseblattsammlung - nicht auf Seitenzahlen, sondern nur auf den Namen eines Geräte/Verfahrensblattes erfolgen. Diese sind alphabetisch abgelegt, so daß eine eindeutige Zuordnung gegeben ist.

Falls das Stichwort selbst ein Gerät bzw. Verfahren ist, erscheint es **fettgedruckt**. *Kursiv* sind Geräte/Verfahren gedruckt, wenn lediglich ein zusätzlicher Hinweis gegeben werden soll.

Alle Stichworte und Verweise sind alphabetisch geordnet, jedoch ist zu beachten, daß dieser Index, wie das gesamte Kompendium, mittels einer Datenbank automatisch erstellt wird und der Ordnungsalgorithmus für das Alphabet sich an der ASCII-Tabelle orientiert. Das hat zur Folge, daß deutsche Umlaute hinter dem normalen Alphabet eingeordnet werden, in der Reihenfolge .....x y z ä Ä ö Ö ü Ü.

<b>Abreiß-Versuch</b> <i>Haftzugprüfung</i>	Baustoffdynamik <b>Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse</b> <b>Ultraschall-Laufzeit und -Intensität</b>
Abreißfestigkeit <b>Abreiß-Versuch</b>	Bauteildynamik <b>Laservibrometer</b> <b>Schwingungsanalyse am Bauwerk</b>
Akustik <b>Schallemissionsanalyse</b>	Bauwerksdynamik <b>Schwingungsanalyse am Bauwerk</b>
<b>Anemometer</b> <b>Mikroklima-Bestimmung</b>	Bauwerkshaut <b>Abreiß-Versuch</b> <b>Anemometer</b> <b>Auszieh-Versuch</b> <b>Biegebruchversuch</b> <b>Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme</b> <b>Bolzenseitzgerät</b> <b>Dickenmessung von dünnen Beschichtungen</b> <b>Druckgas-Verfahren</b> <b>Endoskop (flexible Ausführung)</b> <b>Endoskop (starre Ausführung)</b> <b>Farb-Eindringverfahren</b> <b>Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand</b> <b>Feuchtemeßgerät, dielektrisches</b> <b>Flüssigkeits-Eindringtest</b> <b>Gaspermeabilitäts-Verfahren</b> <b>Haftzugprüfung</b> <b>Hydrophobierungstest mit Elektrolyten</b> <b>Impuls-Prüfhammer</b> <b>Indikator-Technik</b> <b>Infrarot-Reflektographie</b> <b>Infrarot-Strahlungsthermometer</b> <b>Infrarot-Thermographie</b> <b>Kalzium-Karbid-Methode</b> <b>Kugelschlag-Versuch</b> <b>Mikroklima-Bestimmung</b> <b>Mikrowellen-Reflexion</b> <b>Neutronensonde</b>
Anstrich <b>Dickenmessung von dünnen Beschichtungen</b> <b>Haftzugprüfung</b> <i>Abreiß-Versuch</i> <i>Haftzugprüfung</i>	
Asphalt <i>Infrarot-Thermographie</i> <i>Mikrowellen-Reflexion</i> <i>Neutronensonde</i> <i>Radar</i>	
<b>Atomabsorptions-Spektroskopie</b>	
Ausbruchkegel <b>Auszieh-Versuch</b>	
<b>Auszieh-Versuch</b>	
Ausziehfestigkeit <b>Auszieh-Versuch</b>	
Barkhauseneffekt <b>Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden</b>	
<b>Fett gedruckt</b> Geräte (primär)	<i>Kursiv gedruckt:</i> Geräte (sekundär)

Quecksilber-Porosimeter  
 Reifegrad-Methode  
 Rißmarken  
 Rißvermessungsgeräte, optische  
 Rückprallhammer  
 Röntgen-Rückstreuung  
 Vakuum-Verfahren  
 Videoskop

Befestigungselement  
 Endoskop (flexible Ausführung)  
 Endoskop (starre Ausführung)  
 Infrarot-Thermographie  
 Laservibrometer  
*Videoskop*

Wegaufnehmer, induktiv  
*Verformungsmessung*

Beschichtung  
 Dickenmessung von dünnen Beschichtungen  
 Feuchtemeßgerät, dielektrisches  
 Flüssigkeits-Eindringtest  
 Haftzugprüfung  
 Infrarot-Thermographie  
 Laservibrometer  
 Mikroklima-Bestimmung  
 Mikrowellen-Reflexion

Beschleunigungsaufnehmer  
 Schwingungsanalyse am Bauwerk

Betondeckung  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
 Induktions-Thermographie

Betonfestigkeit  
 Abreiß-Versuch  
 Auszieh-Versuch  
 Biegebruchversuch  
 Bolzensetzgerät  
 Kugelschlag-Versuch  
 Reifegrad-Methode  
 Rückprallhammer  
 Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen

Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)

Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)

Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)

Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)

Bewehrungsbruch  
 Lichtwellenleiter  
 Magnetische Rißortung in Spannstählen

*Kursiv gedruckt:* Geräte (sekundär)

Ultraschall-Echo

Bewehrungskorrosion  
 Potentialverfahren, elektrochemisches

Bewehrungslage  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
 Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
 Computer-Tomographie  
 Induktions-Thermographie  
 Radar  
 Radiographie mit Gammastrahlen  
 Radiographie mit Neutronen  
 Radiographie mit Röntgenstrahlen  
*Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung*

Biegebruchversuch

Biegezugfestigkeit  
 Biegebruchversuch

Bildgebendes Verfahren  
 Computer-Tomographie  
 Endoskop (flexible Ausführung)  
 Endoskop (starre Ausführung)  
 Induktions-Thermographie  
 Infrarot-Reflektographie  
 Infrarot-Thermographie  
 Potentialverfahren, elektrochemisches  
 Radiographie mit Gammastrahlen  
 Radiographie mit Neutronen  
 Radiographie mit Röntgenstrahlen  
 Röntgen-Rückstreuung  
 Videoskop  
*Laservibrometer*

Bitumen  
 Neutronensonde

Bohrloch  
 Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung  
 Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme  
 Druckgas-Verfahren  
 Endoskop (flexible Ausführung)  
 Endoskop (starre Ausführung)  
 Gaspermeabilitäts-Verfahren  
 Sauerstoff-Sensor  
 Vakuum-Verfahren  
 Videoskop

Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung

Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme

Bolzensetzgerät

Boreskop  
 Endoskop (starre Ausführung)

Brückenverformung  
 Laservibrometer  
 Lichtwellenleiter

**Fett gedruckt:** Geräte (primär)

- Neigungssensor**  
**Schwingsaitenaufnehmer**  
**Schwingungsanalyse am Bauwerk**  
**Setz-Dehnungsmessung**  
**Verformungsmessung**
- Capo-Test**  
**Auszieh-Versuch**
- Chemische Analyse**  
**Atomabsorptions-Spektroskopie**  
**Chlorid-Nachweis**  
**Differential-Thermo-Analyse (DTA)**  
**Energiedispersive Analyse (EDX)**  
**Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse**  
**Gaschromatographie**  
**Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)**  
**Salz-Test**  
*Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme*
- Chemischer Sensor**  
*Lichtwellenleiter*
- Chlorid-Nachweis**  
*Salz-Test*
- Chloridgehalt**  
**Chlorid-Nachweis**  
*Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme*
- CM-Gerät**  
**Kalzium-Karbid-Methode**
- Compton-Effekt**  
**Röntgen-Rückstreuung**
- Computer-Tomographie**
- Dehnungsmeßstreifen**  
**Verformungsmessung**
- Dickenmessung von dünnen Beschichtungen**
- Dickenmeßverfahren mit Ultraschall**
- Differential-Thermo-Analyse (DTA)**
- Druckfestigkeit**  
**Bolzensetzgerät**  
**Kugelschlag-Versuch**  
**Rückprallhammer**  
**Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen**  
*Reifegrad-Methode*
- Druckgas-Verfahren**
- Durchstrahlung**  
**Radiographie mit Gammastrahlen**  
**Radiographie mit Neutronen**  
**Radiographie mit Röntgenstrahlen**  
*Computer-Tomographie*
- Durchströmbarkeit**  
**Druckgas-Verfahren**  
**Gaspermeabilitäts-Verfahren**  
**Sauerstoff-Sensor**
- Fett gedruckt Geräte (primär)**
- Vakuum-Verfahren**
- Eindring-Widerstandsmessung**  
**Bolzensetzgerät**
- Einschluß**  
**Druckgas-Verfahren**  
**Endoskop (starre Ausführung)**  
**Gaspermeabilitäts-Verfahren**  
**Ultraschall-Echo**  
**Ultraschall-Laufzeit und -Intensität**  
**Vakuum-Verfahren**  
*Computer-Tomographie*  
*Infrarot-Thermographie*
- Elastische Materialkenngrößen**  
**Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse**  
**Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen**
- Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse**
- Elastizitätsmodul**  
**Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse**  
**Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen**
- Elektrolyt**  
**Hydrophobierungstest mit Elektrolyten**
- Emissivität**  
**Infrarot-Reflektographie**  
**Infrarot-Strahlungsthermometer**  
**Infrarot-Thermographie**
- Endoskop**  
*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Videoskop*
- Endoskop (flexible Ausführung)**  
**Videoskop**  
*Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung*  
*Endoskop (starre Ausführung)*
- Endoskop (starre Ausführung)**  
*Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung*  
*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Videoskop*
- Energiedispersive Analyse (EDX)**
- Entfernungsmeßgeräte**  
**Vermessung über Satellit**
- Erhärtungsprüfung**  
**Auszieh-Versuch**  
**Kugelschlag-Versuch**  
**Reifegrad-Methode**  
**Rückprallhammer**
- Farb-Eindringverfahren**  
*Endoskop (starre Ausführung)*  
*Rißvermessungsgeräte, optische*
- Farbauftrag**  
**Dickenmessung von dünnen Beschichtungen**

*Kursiv gedruckt: Geräte (sekundär)*

<b>Haftzugprüfung</b>	<b>Schwingungsanalyse am Bauwerk</b>
Farbstoff	Fugen
<b>Farb-Eindringverfahren</b>	<b>Lichtwellenleiter</b>
Fehlstellen	<b>Rißvermessungsgeräte, optische</b>
<b>Druckgas-Verfahren</b>	<b>Setz-Dehnungsmessung</b>
<b>Endoskop (starre Ausführung)</b>	Gammastrahlung
<b>Gaspermeabilitäts-Verfahren</b>	<b>Computer-Tomographie</b>
<b>Ultraschall-Echo</b>	<b>Radiographie mit Gammastrahlen</b>
<b>Ultraschall-Laufzeit und -Intensität</b>	<b>Gaschromatographie</b>
<b>Vakuum-Verfahren</b>	Gaspermeabilität
<i>Computer-Tomographie</i>	<b>Druckgas-Verfahren</b>
<i>Infrarot-Thermographie</i>	<b>Gaspermeabilitäts-Verfahren</b>
<b>Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben</b>	<b>Sauerstoff-Sensor</b>
Feuchtegehalt	<b>Vakuum-Verfahren</b>
<b>Feuchtemeßgerät, dielektrisches</b>	<b>Gaspermeabilitäts-Verfahren</b>
<b>Kalzium-Karbid-Methode</b>	Geophon
<b>Mikrowellen-Reflexion</b>	<b>Pfahlprüfung</b>
<b>Mikrowellen-Transmission</b>	<b>Schwingungsanalyse am Bauwerk</b>
<b>Neutronensonde</b>	Georadar
<i>Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand</i>	<b>Radar</b>
<i>Kernspinresonanz zur Feuchtemessung</i>	Gipsmarke
Feuchtemessung	<b>Rißmarken</b>
<i>Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand</i>	Haftzug-Festigkeit
<b>Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand</b>	<b>Haftzugprüfung</b>
Feuchtemessung, kapazitive	<b>Haftzugprüfung</b>
<b>Feuchtemeßgerät, dielektrisches</b>	<i>Abreiß-Versuch</i>
<b>Feuchtemeßgerät, dielektrisches</b>	Hohlraum
<i>Feuchtemeßgerät, dielektrisches</i>	<b>Endoskop (flexible Ausführung)</b>
Feuchteverteilung	<b>Endoskop (starre Ausführung)</b>
<b>Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand</b>	<b>Videoskop</b>
<b>Feuchtemeßgerät, dielektrisches</b>	Holographie
<b>Infrarot-Reflektographie</b>	<b>Holographische Interferometrie</b>
<b>Infrarot-Thermographie</b>	<b>Holographische Interferometrie</b>
<b>Kernspinresonanz zur Feuchtemessung</b>	Holz
<b>Mikrowellen-Reflexion</b>	<b>Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand</b>
<b>Mikrowellen-Transmission</b>	Hydratationswärme
<b>Radar</b>	<b>Mikroklima-Bestimmung</b>
<i>Potentialverfahren, elektrochemisches</i>	Hydrometer, Hydromette
Fiberskop	<b>Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand</b>
<i>Endoskop (flexible Ausführung)</i>	Hydrophobierung
Fluoreszenz	<b>Flüssigkeits-Eindringtest</b>
<b>Farb-Eindringverfahren</b>	<b>Hydrophobierungstest mit Elektrolyten</b>
<b>Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse</b>	<b>Hydrophobierungstest mit Elektrolyten</b>
<b>Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)</b>	Hygrometer
<b>Sauerstoff-Sensor</b>	<b>Mikroklima-Bestimmung</b>
<b>Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse</b>	
<b>Flüssigkeits-Eindringtest</b>	
Frequenzanalyse	
<b>Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse</b>	
<b>Pfahlprüfung</b>	
<b>Schallemissionsanalyse</b>	

- Hygrothermometer  
Mikroklima-Bestimmung
- Hüllrohr  
Radiographie mit Gammastrahlen  
Radiographie mit Neutronen  
Radiographie mit Röntgenstrahlen  
Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung
- Impuls-Prüfhammer
- Impuls-Radar  
Mikrowellen-Reflexion  
Radar
- Impulsecho-Verfahren  
Ultraschall-Echo
- Indikator-Technik
- Induktion, magnetische  
Induktions-Thermographie  
Magnetpulverprüfung
- Induktions-Thermographie
- Infrarot-Reflektographie
- Infrarot-Strahlung  
Infrarot-Reflektographie  
Infrarot-Strahlungsthermometer  
Infrarot-Thermographie  
Induktions-Thermographie
- Infrarot-Strahlungsthermometer
- Infrarot-Thermographie
- Junger Beton  
Auszieh-Versuch  
Kugelschlag-Versuch  
Reifegrad-Methode
- Kalzium-Karbid-Methode
- Karbonatisierung  
Indikator-Technik  
Mikroskopie, optische  
Sauerstoff-Sensor
- Karsten'sches Prüfröhrchen  
Flüssigkeits-Eindringtest
- Kerbschlagbiege-Versuch  
Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben
- Kernspinresonanz zur Feuchtemessung
- Kiesnest  
Gaspermeabilitäts-Verfahren  
Infrarot-Thermographie  
Computer-Tomographie  
Ultraschall-Laufzeit und -Intensität
- Korrosion  
Chlorid-Nachweis  
Endoskop (starre Ausführung)  
Sauerstoff-Sensor  
Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung  
Potentialverfahren, elektrochemisches  
Salz-Test
- Korrosionsmeßzelle  
Potentialverfahren, elektrochemisches
- Kugelschlag-Versuch
- Körperschall  
Impuls-Prüfhammer  
Pfahlprüfung  
Schallemissionsanalyse
- Lambda-Nadelsonde
- Laser-Speckle-Photographie
- Laservibrometer
- Leitfähigkeit, elektrische  
Hydrophobierungstest mit Elektrolyten
- Lichtwellenleiter  
Sauerstoff-Sensor
- Linearbeschleuniger  
Radiographie mit Gammastrahlen
- Lok-Test  
Auszieh-Versuch
- Luftdurchlässigkeit von Beton  
Druckgas-Verfahren  
Sauerstoff-Sensor  
Vakuum-Verfahren
- Luftfeuchtigkeit, relativ  
Mikroklima-Bestimmung  
Feuchtemeßgerät, dielektrisches
- Längenänderung, Messung der  
Lichtwellenleiter  
Rißmarken  
Schwingsaitenaufnehmer  
Verformungsmessung
- Magnetische Rißortung in Spannstählen
- Magnetische Verfahren  
Bewehrungs-Prüfgerät (Ortung und Betondeckung)  
Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)  
Bewehrungs-Prüfgerät (dauer magnetisches)  
Bewehrungs-Prüfgerät (mit Durchmesserbestimmung)  
Magnetische Rißortung in Spannstählen  
Magnetpulverprüfung  
Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden  
Wirbelstromverfahren

- Magnetischer Gleichfeld-Fluß  
**Bewehrungs-Prüfgerät (Streuflußmessung)**  
Magnetpulverprüfung
- Magnetpulverprüfung**
- Materialermüdung  
Schallemissionsanalyse  
Schwingungsanalyse am Bauwerk  
*Verformungsmessung*
- Metallischer Werkstoff  
**Dickenmessung von dünnen Beschichtungen**  
**Dickenmeßverfahren mit Ultraschall**  
**Farb-Eindringverfahren**  
**Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse**  
**Impuls-Prüfhammer**  
**Röntgen-Diffraktometrie (XRD)**  
**Ultraschall-Echo**  
**Wirbelstromverfahren**  
*Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben*
- Mikroklima  
**Anemometer**
- Mikroklima-Bestimmung**  
*Anemometer*
- Mikromanometer  
**Mikroklima-Bestimmung**
- Mikroskopie, optische**
- Mikrowellen  
**Mikrowellen-Reflexion**  
**Mikrowellen-Transmission**  
**Radar**
- Mikrowellen-Reflexion**  
**Radar**
- Mikrowellen-Transmission**
- Neigungssensor**  
**Schwingsaitenaufnehmer**  
**Verformungsmessung**
- Neutronensonde**
- Niete  
**Impuls-Prüfhammer**  
**Ultraschall-Echo**  
**Ultraschall-Laufzeit und -Intensität**
- Oberfläche  
**Rauhtiefenbestimmung**
- Oberflächenhärte  
**Kugelschlag-Versuch**
- Oberflächenwelle  
**Ultraschall-Laufzeit und -Intensität**
- Oberflächenzugfestigkeit  
**Abreiß-Versuch**
- Kursiv gedruckt: Geräte (sekundär)*
- Pendelhammer  
*Kugelschlag-Versuch*
- Pfahlprüfung**
- pH-Wert  
**Indikator-Technik**
- Phenolphthalein  
**Indikator-Technik**
- Piezoelektrische Folie  
**Schwingungsanalyse am Bauwerk**  
**Verformungsmessung**
- Porengehalt  
**Mikroskopie, optische**  
**Quecksilber-Porosimeter**
- Porengrößenverteilung  
**Quecksilber-Porosimeter**
- Potentialverfahren, elektrochemisches**
- Probebelastung  
**Verformungsmessung**
- Probenahme  
**Atomabsorptions-Spektroskopie**  
**Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung**  
**Bohrmaschine zur Bohrmehlentnahme**  
**Chlorid-Nachweis**  
**Computer-Tomographie**  
**Differential-Thermo-Analyse (DTA)**  
**Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse**  
**Energiedispersive Analyse (EDX)**  
**Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben**  
**Gaschromatographie**  
**Indikator-Technik**  
**Kalzium-Karbid-Methode**  
**Kernspinresonanz zur Feuchtemessung**  
**Mikroskopie, optische**  
**Quecksilber-Porosimeter**  
**Röntgen-Diffraktometrie (XRD)**  
**Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)**  
**Salz-Test**
- Quantab-Verfahren  
**Chlorid-Nachweis**
- Quecksilber-Porosimeter**
- Radar**  
**Mikrowellen-Reflexion**
- Radioaktivität  
**Neutronensonde**  
**Radiographie mit Gammastrahlen**  
**Radiographie mit Neutronen**  
**Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden**
- Radiographie mit Gammastrahlen**  
*Computer-Tomographie*
- Fett gedruckt: Geräte (primär)**

Radiographie mit Linearbeschleuniger  
**Radiographie mit Gammastrahlen**  
*Computer-Tomographie*

**Radiographie mit Neutronen**  
*Computer-Tomographie*

**Radiographie mit Röntgenstrahlen**  
*Computer-Tomographie*

Radiometrie  
*Radiographie mit Gammastrahlen*  
*Radiographie mit Neutronen*  
*Radiographie mit Röntgenstrahlen*

Radioskopie  
*Radiographie mit Röntgenstrahlen*

Rauhtiefe  
**Rauhtiefenbestimmung**

**Rauhtiefenbestimmung**

**Reifegrad-Methode**

Restnutzungsdauer  
**Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben**  
**Schwingungsanalyse am Bauwerk**

Rißbreitensensor  
**Lichtwellenleiter**

Rißdynamik  
**Holographische Interferometrie**  
**Laser-Speckle-Photographie**  
**Rißmarken**  
**Rißvermessungsgeräte, optische**  
**Setz-Dehnungsmessung**

Rißerkennung  
**Endoskop (flexible Ausführung)**  
**Endoskop (starre Ausführung)**  
**Farb-Eindringverfahren**  
**Magnetische Rißortung in Spannstählen**  
**Magnetpulverprüfung**  
**Rißvermessungsgeräte, optische**  
**Röntgen-Rückstreuung**  
**Schallemissionsanalyse**  
**Ultraschall-Echo**  
**Ultraschall-Laufzeit und -Intensität**  
**Videoskop**  
**Wirbelstromverfahren**

**Rißmarken**

Rißtiefe  
**Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden**  
**Röntgen-Rückstreuung**  
**Ultraschall-Laufzeit und -Intensität**  
*Mikroskopie, optische*

**Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden**

Rißvermessung  
**Rißvermessungsgeräte, optische**

**Fett gedruckt** Geräte (primär)

*Mikroskopie, optische*  
*Rißtiefenbestimmung mit Radionukliden*

**Rißvermessungsgeräte, optische**

**Röntgen-Diffraktometrie (XRD)**

**Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)**  
*Energiedispersive Analyse (EDX)*

**Röntgen-Rückstreuung**

Röntgenbeugung  
**Röntgen-Diffraktometrie (XRD)**

Röntgenstrahlung  
**Computer-Tomographie**  
**Energiedispersive Analyse (EDX)**  
**Röntgen-Diffraktometrie (XRD)**  
**Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)**  
**Röntgen-Rückstreuung**

**Rückprallhammer**

**Salz-Test**  
*Chlorid-Nachweis*

Salzgehalt  
**Salz-Test**  
*Chlorid-Nachweis*  
*Salz-Test*

Satellit  
**Vermessung über Satellit**

**Sauerstoff-Sensor**

Schallaufnehmer  
**Impuls-Prüfhammer**  
**Pfahlprüfung**

**Schallemissionsanalyse**

Schallgeschwindigkeit  
**Dickenmeßverfahren mit Ultraschall**  
**Impuls-Prüfhammer**  
**Pfahlprüfung**  
**Ultraschall-Echo**  
**Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen**

Schichtdicke  
**Dickenmessung von dünnen Beschichtungen**  
**Dickenmeßverfahren mit Ultraschall**  
**Mikrowellen-Reflexion**  
**Neutronensonde**  
**Radar**  
**Wirbelstromverfahren**

Schlagprüfung  
**Kugelschlag-Versuch**  
**Rückprallhammer**

Schmidt-Hammer  
**Rückprallhammer**

*Kursiv gedruckt:* Geräte (sekundär)

- Schrauben  
**Impuls-Prüfhammer**  
**Ultraschall-Echo**  
**Ultraschall-Laufzeit und -Intensität**
- Schwingsaitenaufnehmer  
**Neigungssensor**
- Schwingungsanalyse am Bauwerk
- Schwingungsmessung  
**Elastizitätskenngrößen durch Frequenzanalyse**  
**Holographische Interferometrie**  
**Laservibrometer**  
**Schwingungsanalyse am Bauwerk**
- Setz-Dehnungsmessung
- Sichtprüfung  
**Endoskop (flexible Ausführung)**  
**Endoskop (starre Ausführung)**  
**Videoskop**
- Spaltweitenänderung  
**Lichtwellenleiter**  
**Rißvermessungsgeräte, optische**  
**Setz-Dehnungsmessung**
- Spannglieder, Lage der  
**Computer-Tomographie**  
**Induktions-Thermographie**  
**Mikrowellen-Reflexion**  
**Radiographie mit Gammastrahlen**  
**Radiographie mit Neutronen**  
**Radiographie mit Röntgenstrahlen**
- Spannkanal  
**Bohrmaschine mit automatischer Abschaltung**
- Spannstahlbruch  
**Lichtwellenleiter**  
**Magnetische Rißortung in Spannstählen**  
**Ultraschall-Echo**
- Spannstahlzustand  
**Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden**
- Spektroskopie  
**Atomabsorptions-Spektroskopie**  
**Energiedispersive Analyse (EDX)**  
**Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse**  
**Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)**
- Stahlart  
**Fluoreszenzspektroskopie zur Element-Analyse**
- Stahlkonstruktion  
**Dickenmessung von dünnen Beschichtungen**  
**Dickenmeßverfahren mit Ultraschall**  
**Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben**  
**Impuls-Prüfhammer**  
**Magnetpulverprüfung**  
**Schwingungsanalyse am Bauwerk**  
**Ultraschall-Echo**
- Kursiv gedruckt: Geräte (sekundär)*
- Wirbelstromverfahren**
- Steinzerfall  
*Chlorid-Nachweis*
- Streckversuch  
**Festigkeitsuntersuchungen an metallischen Proben**
- Sulfatgehalt  
**Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA)**  
**Salz-Test**
- Tausalz  
**Chlorid-Nachweis**
- Temperaturmessung  
**Infrarot-Strahlungsthermometer**  
**Infrarot-Thermographie**  
*Rauhtiefenbestimmung*
- Thermogramm  
**Induktions-Thermographie**  
**Infrarot-Reflektographie**  
**Infrarot-Thermographie**
- Thermogravimetrische Analyse (TGA)  
*Differential-Thermo-Analyse (DTA)*
- Tracergas  
**Gaspermeabilitäts-Verfahren**
- Troxlersonde  
**Neutronensonde**
- Ultraschall  
**Dickenmeßverfahren mit Ultraschall**  
**Ultraschall-Echo**  
**Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen**  
**Ultraschall-Laufzeit und -Intensität**
- Ultraschall-Echo  
**Dickenmeßverfahren mit Ultraschall**
- Ultraschall-Geschwindigkeit in Nichtmetallen
- Ultraschall-Laufzeit und -Intensität
- Umwelteinflüsse  
**Anemometer**  
**Chlorid-Nachweis**  
**Feuchtemessung durch elektrischen Widerstand**  
**Feuchtemeßgerät, dielektrisches**  
**Mikroklima-Bestimmung**  
**Salz-Test**
- Vakuum-Verfahren
- Verbund  
**Laser-Speckle-Photographie**
- Verdichtungsmangel  
**Computer-Tomographie**  
**Gaspermeabilitäts-Verfahren**  
**Infrarot-Thermographie**  
*Neutronensonde*
- Fett gedruckt: Geräte (primär)**

- Ultraschall-Laufzeit und -Intensität*
- Verformung  
**Holographische Interferometrie**  
**Laser-Speckle-Photographie**
- Verformungsmessung  
**Lichtwellenleiter**  
**Neigungssensor**  
**Rißmarken**  
**Schwingsaitenaufnehmer**  
**Setz-Dehnungsmessung**
- Vermessung über Satellit
- Verpressungsgrad  
**Computer-Tomographie**  
**Radiographie mit Gammastrahlen**  
**Radiographie mit Neutronen**  
**Radiographie mit Röntgenstrahlen**
- Vibrations-Thermographie  
*Induktions-Thermographie*  
*Infrarot-Thermographie*
- Videomikroskop  
**Mikroskopie, optische**
- Videoskop  
*Endoskop (flexible Ausführung)*  
*Endoskop (starre Ausführung)*
- Vorspannungsmessung mit mikromagnetischen Methoden
- Wassereindringtiefe  
**Flüssigkeits-Eindringtest**  
**Kernspinresonanz zur Feuchtemessung**
- Wegaufnehmer, induktiv  
*Verformungsmessung*
- Windsor-Verfahren  
**Bolzenseitzgerät**
- Wirbelstromverfahren
- Wärmebrücken  
**Infrarot-Thermographie**  
**Lambda-Nadelsonde**
- Wärmeleitfähigkeit  
**Lambda-Nadelsonde**
- Zementzusammensetzung  
**Energiedispersive Analyse (EDX)**  
**Röntgen-Diffraktometrie (XRD)**  
*Potentialverfahren, elektrochemisches*

**Fett gedruckt** Geräte (primär)

*Kursiv gedruckt:* Geräte (sekundär)



## Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

- Nr. 1/1968  
**Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)**  
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft
- Nr. 2/1970 (vergriffen)  
G. Andreae  
**Zum Problem des Feuchtigkeitsschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern**
- Nr. 3/1970  
J. Ziebs  
**Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungseisen als Beispiel für Verbundbauteile**
- Nr. 4/1970 (vergriffen)  
A. Burmester  
**Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit – Grundlagen und Vergütungsverfahren**
- Nr. 5/1971  
N. Steiner  
**Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken**
- Nr. 6/1971  
P. Schneider  
**Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen**
- Nr. 7/1971  
H.-J. Petrowitz  
**Chromatographie und chemische Konstitution – Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie**
- Nr. 8/1971  
H. Veith  
**Zum Spannungs-Drehungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung**
- Nr. 9/1971  
K.-H. Möller  
**Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen**
- Nr. 10/1972  
D. Aurich, E. Martin  
**Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode**
- Nr. 11/1972  
H.-J. Krause  
**Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden**
- Nr. 12/1972  
H. Feuerberg  
**Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren**
- Nr. 13/1972  
K.-H. Habig, K. Kirschke, W.-W. Maennig, H. Tischer  
**Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen  $760$  und  $2 \cdot 10^{-7}$  Torr**
- Nr. 14/1972  
E. Fischer  
**Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz**
- Nr. 15/1972  
H. Pohl  
**Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse**
- Nr. 16/1972  
E. Knublauch  
**Über Ausführung und Assagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer**
- Nr. 17/1972  
P. Reimers  
**Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen**
- Nr. 18/1973  
W. Struck  
**Das Spröbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**
- Nr. 19/1973  
K. Kaffanke, H. Czichos  
**Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen**
- Nr. 20/1973  
R. Rudolphi  
**Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden**
- Nr. 21/1973  
D. Klaffke, W. Maennig  
**Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung**
- Nr. 22/1973  
R. Rudolphi, E. Knublauch  
**Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen**
- Nr. 23/1973  
W. Ruske  
**Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen**
- Nr. 24/1973  
J. Stanke, E. Klement, R. Rudolphi  
**Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung**
- Nr. 25/1973  
E. Knublauch  
**Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen**
- Nr. 26/1974  
P. Jost, P. Reimers, P. Weise  
**Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM – Eigenschaften und erste Anwendungen**
- Nr. 27/1974  
H. Wüstenberg  
**Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall**
- Nr. 28/1974  
H. Heinrich  
**Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern**
- Nr. 29/1974  
P. Schneider  
**Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelet für senkrechten, schrägen und allseitigen Schallenfall**
- Nr. 30/1974 (vergriffen)  
H. Czichos, G. Salomon  
**The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology**
- Nr. 31/1975  
G. Fuhrmann  
**Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung**
- Nr. 32/1975  
R. Rudolphi, B. Böttcher  
**Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen**
- Nr. 33/1975  
A. Wagner, G. Kieper, R. Rudolphi  
**Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens**
- Nr. 34/1976 (vergriffen)  
H.-J. Deppe  
**Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoff Nr. 35/1976**  
E. Limberger  
**Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper – Vorschlag für ein Prüfverfahren –**
- Nr. 36/1976 (vergriffen)  
J. Hundt  
**Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles**
- Nr. 37/1976  
W. Struck  
**Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen – Vorschlag für ein Prüfverfahren –**
- Nr. 38/1976  
K.-H. Habig  
**Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4**
- Nr. 39/1976  
K. Kirschke, G. Kempf  
**Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newtonschem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung**
- Nr. 40/1976  
H. Hantsche  
**Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren**
- Nr. 41/1976  
B. Böttcher  
**Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten**
- Nr. 42/1976  
S. Dietlen  
**Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft**
- Nr. 43/1976  
W. Struck  
**Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**
- Nr. 44/1976  
W. Matthees  
**Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“**
- Nr. 45/1976  
W. Paatsch  
**Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten**
- Nr. 46/1977 (vergriffen)  
G. Schickert, H. Winkler  
**Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung**  
**Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses**
- Nr. 47/1977  
A. Plank  
**Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen**
- Nr. 48/1977  
U. Holzlöhner  
**Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewandt auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn**
- Nr. 49/1977  
G. Wittig  
**Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung**
- Nr. 50/1978 (vergriffen)  
N. Czaika, N. Mayer, C. Amberg, G. Magiera, G. Andreae, W. Markowski  
**Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern**
- Nr. 51/1978  
J. Sickfeld  
**Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen**
- Nr. 52/1978  
A. Tomov  
**Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung**
- Nr. 53/1978  
R.-G. Rohrmann, R. Rudolphi  
**Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge**
- Nr. 54/1978  
H. Sander  
**Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung**
- Nr. 55/1978  
D. Klaffke  
**Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung**
- Nr. 56/1979  
W. Brünner, C. Langlie  
**Stabilität von Sandwichbauteilen**
- Nr. 57/1979  
M. Stadthaus  
**Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetspulverprüfung**

- Investigations on Inspection-Media for Magnetic Particle-Testing**  
 Nr. 58/1979  
 W. Struck  
**Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau**
- Nr. 59/1979  
 G. Plauk  
**Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl**
- Nr. 60/1979  
 H. Spreckelmeyer, R. Helms, J. Ziebs  
**Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken**
- Nr. 61/1979  
 K. Richter  
**Beschreibung von Problemen der höheren Farbmetrik mit Hilfe des Gegenfarbensystems**
- Nr. 62/1979  
 W. Gerisch, G. Becker  
**Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle**
- Nr. 63/1979  
 E. Behrend, J. Ludwig  
**Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase**
- Nr. 64/1980  
 W. Rücker  
**Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung**
- Nr. 65/1980  
 P. Schmidt, D. Aurich, R. Helms, H. Veith, J. Ziebs  
**Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte**
- Nr. 66/1980  
 M. Hattwig  
**Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung**
- Nr. 67/1980  
 W. Matthees  
**Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung**
- Nr. 68/1980  
 D. Petersohn  
**Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik. Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers**
- Nr. 69/1980  
 F. Buchardt, P. Brandl  
**Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitschillen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise**
- Nr. 70/1980 (vergriffen)  
 G. Schickert  
**Schwellenwerte beim Betondruckversuch**
- Nr. 71/1980  
 W. Matthees, G. Magiera  
**Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen**
- Nr. 72/1980  
 R. Rudolphi  
**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen**
- Nr. 73/1980  
 P. Wegener  
**Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen**
- Nr. 74/1980  
 R. Rudolphi, R. Müller  
**ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler stationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz**
- Nr. 75/1980  
 H.-J. Heinrich  
**Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen**
- Nr. 76/1980  
 D. Klafke, W.-W. Maennig  
**Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop**
- Nr. 77/1981  
 M. Gierloff, M. Maulzsch  
**Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen**
- Nr. 78/1981  
 W. Rücker  
**Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwelensystems mit dem Untergrund**
- Nr. 79/1981  
 V. Neumann  
**Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflußten Kaltrifneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch**
- Nr. 80/1981  
 A. Plank, W. Struck, M. Tzschätzsch  
**Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten**
- Nr. 81/1981  
 J. Schmidt  
**Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik**
- Nr. 82/1982  
 R. Helms, H.-J. Kühn, S. Ledworuski  
**Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches**  
**Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test**
- Nr. 83/1982  
 H. Czichos, P. Feinle  
**Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen**  
**- Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen -**
- Nr. 84/1982  
 R. Müller, R. Rudolphi  
**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)**
- Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/1982  
 H. Czichos  
**Technische Materialforschung und -prüfung**  
**- Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ - Materials Research and Testing**  
**- Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme “Basic Technological Research“ -**
- Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/1982  
 K. Niesel, P. Schimelwitz  
**Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale**
- Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/1982  
 B. Isecke, W. Stichel  
**Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren**
- Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/1983  
 A. Erhard  
**Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall**
- Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/1983  
 D. Conrad, S. Dietlen  
**Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid**
- Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/1983  
 K. Brandes, E. Limberger, J. Herter  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**
- Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/1983  
 M. Weber  
**Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz**
- Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/1983  
 L. Auersch  
**Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden**
- Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/1983  
 P. Studt  
**Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen**
- Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/1983  
 Xian-Quan Dong  
**Untersuchungen der Störschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen**
- Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/1983  
 M. Römer  
**Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten**
- Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/1983  
 H. Eifler  
**Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken**
- Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/1983  
 G. Fuhrmann, W. Schwarz  
**Typische Bruchflächenausbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung**
- Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/1983  
 E. Schnabel  
**Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschinenwägen**  
**- Stretch- und Erholungsvermögen -**
- Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/1983  
 K. Brandes, E. Limberger, J. Herter  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von Stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**
- Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/1984  
 G. Klamrowski, P. Neustupny  
**Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand**
- Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/1984  
 P. Reimers, J. Goebbels, H. Heidt, P. Weise, K. Wilding  
**Röntgen- und Gammastrahlen Computer-Tomographie**
- Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/1984  
 G. Magiera  
**Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens zur Druckspannungsmessung in Beton**
- Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/1984  
 D. Schnitger  
**Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien**
- Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/1984  
 M. Gierloff  
**Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen**
- Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/1984  
 B. Schulz-Forberg  
**Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen**
- Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/1984  
 J. Lehnert  
**Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last**
- Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/1984  
 W. Stichel, J. Ehreke  
**Korrosion von Stahlradiatoren**
- Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/1984  
 L. Auersch  
**Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen - Ergebnisse von Modellrechnungen**
- Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/1985  
 M. Omar  
**Zur Wirkung der Schrumpfbegrenzung auf den Schweißspannungszustand und das Spröbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N**
- Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/1985  
 H. Walde, B. Kropp  
**Wasserstoff als Energieträger**
- Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/1985  
 K. Ziegler  
**Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Anhydrid-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte**
- Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/1985  
 W. Lützwow  
**Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen**
- Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/1985  
 R. Helms, H. Henke, G. Oelrich, T. Saito  
**Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungskorrosion von Offshore-Konstruktionen**

- Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/1985  
P. Rose, P. Raabe, W. Daum, A. Szameit  
**Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen**
- Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/1985  
K. Richter  
**Farbempfindungsmerkmal Elementaruntunnt und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld**
- Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/1985  
F.-J. Kasper, R. Müller, R. Rudolphi, A. Wagner  
**Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik**
- Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/1985  
H. Czichos, G. Sievers  
**Materials Technologies and Techno-Economic Development  
A Study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)**
- Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/1985  
H. Treumann, H. Andre, E. Blossfeld, N. Pfeil, M.-M. Zindler  
**Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung. Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen**
- Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/1985  
J. Herter, K. Brandes, E. Limberger  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen  
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I  
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members  
Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I**
- Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/1986  
A. Hecht  
**Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung**
- Nr. 121/ISBN 3-88314-530-0/1986  
P. Feinle, K.-H. Habig  
**Versagungskriterien von Stahlgleitpaarungen unter Mischreibungsbedingungen: Einflüsse von Stahlzusammensetzung und Wärmebehandlung**
- Nr. 122/ISBN 3-88314-521-1/1986  
J. Mischke  
**Entsorgung kerntechnischer Anlagen**
- Sonderkolloquium der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) am 10. 12. 1985 mit Beiträgen von B. Schulz-Forberg, K.E. Wieser und B. Droste
- Nr. 123/ISBN 3-88314-531-9/1986  
D. Rennoch  
**Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase**
- Nr. 124/ISBN 3-88314-538-6/1986  
H.-M. Thomas  
**Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung**
- Nr. 125/ISBN 3-88314-540-8/1986 (vergriffen)  
B. Droste, U. Probst  
**Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolation von Flüssiggas-Lagertanks**
- Nr. 126/ISBN 3-88314-547-5/1986  
W. Stichel  
**Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmbädern**
- Nr. 127/ISBN 3-88314-564-5/1986 (vergriffen)  
E. Limberger, K. Brandes, J. Herter, K. Berner  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen  
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members  
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I  
Tests on Reinforced Concrete Beams, Part I**
- Nr. 128/ISBN 3-88314-568-8/1986 (vergriffen)  
E. Limberger, K. Brandes, J. Herter, K. Berner  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen  
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members  
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II  
Tests on Reinforced Concrete Beams, Part II**
- Nr. 129/ISBN 3-88314-569-6/1980 (vergriffen)  
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter, K. Berner  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen  
Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load**
- Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit  
Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates**
- Nr. 130/ISBN 3-88314-570-X/1986  
W. Struck  
**Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material bei Belastung durch eine Einzelkraft**
- Nr. 131/ISBN 3-88314-585-8/1986  
E. Limberger, K. Brandes, J. Herter  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen  
Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load  
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II  
Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part II**
- Nr. 132/ISBN 3-88314-595-5/1987  
Chr. Herold, F.-U. Vogdt  
**Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen**
- Nr. 133/ISBN 3-88314-609-9/1987 (vergriffen)  
M. Woydt, K.-H. Habig  
**Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe**
- Nr. 134/ISBN 3-88314-615-3/1987  
G. Andreae, G. Niessen  
**Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen**
- Nr. 135/ISBN 3-88314-618-8/1987  
J. Ludwig, W.-D. Mischke, A. Ulrich  
**Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen**
- Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/1987  
H.-J. Deppe, K. Schmidt  
**Untersuchung zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzbau**
- Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/1987  
D. Aurich  
**Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiete der Komponentensicherheit**
- Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/1987  
M. Dogunke, F. Buchhardt  
**Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben.**
- Nr. 139/ISBN 3-88314-658-7/1987  
J. Olschewski, S.-P. Scholz  
**Numerische Untersuchung zum Verhalten des Hochtemperaturwerkstoffes Nimonic PE 16 unter monotoner und zyklischer Belastung bei Verwendung verschiedener plastischer und viskoplastischer Materialmodelle**
- Nr. 140/ISBN 3-88314-643-9/1987  
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen  
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**
- Nr. 141/ISBN 3-88314-694-3/1987  
F. Buchhardt, W. Matthees, G. Magiera, F. Mathiak  
**Zum Einfluß des Sicherheits- und Auslegungserdbebens auf die Bemessung von Kernkraftwerken**
- Nr. 142/ISBN 3-88314-695-1/1987  
H. Treumann, G. Krüger, N. Pfeil, S. von Zahn-Ullmann  
**Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefährzahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen**
- Nr. 143/ISBN 3-88314-701-X/1987  
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen  
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members  
Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen bei Stoßbelastung  
Experimental and numerical Investigations concerning Load Bearing Behaviour of Reinforced Concrete Members under Impact Load**
- Nr. 144/ISBN 3-88314-702-8/1987  
F. Buchhardt, G. Magiera, W. Matthees, M. Weber, J. Altes  
**Nichtlineare dynamische Berechnungen zum Penetrationsverhalten des AVR-Reaktorgebäudes**
- Nr. 145/ISBN 3-88314-711-7/1987  
U. Holzlhöner  
**Untersuchung selbstähnlicher Systeme zur Bestimmung von Materialeigenschaften von Reibungsböden**
- Nr. 146/ISBN 3-88314-714-1/1987  
W. Schön, M. Mallon  
**Untersuchungen zur Wirksamkeit von Wasserberieselungseinrichtungen als Brandschutzmaßnahme für Flüssiggas-Lagertanks**
- Nr. 147/ISBN 3-88314-720-6/1987  
H.-D. Kleinschrodt  
**Lösung dynamischer Biege- und Torsionsprobleme von Stabsystemen aus dünnwandigen elastischen Stäben mit offenem Querschnitt mittels frequenzabhängiger Ansatzfunktionen**
- Nr. 148/ISBN 3-88314-774-5/1988  
W. Müller  
**Theoretische Untersuchung von Variationsprinzipien für elastoplastisches Materialverhalten sowie Entwicklung und numerische Erprobung von Finite-Element-Verfahren für den ebenen Spannungszustand**
- Nr. 149/ISBN 3-88314-775-3/1988  
U. Holzlhöner  
**Bestimmung baugruddynamischer Kenngrößen aus der Untersuchung von Bodenproben**
- Nr. 150/ISBN 3-88314-776-1/1988  
M. Weber  
**VG3D Zeichenprogramm für Vektorgraphische Darstellung dreidimensionaler Strukturen**
- Nr. 151/ISBN 3-88314-785-0/1988  
L. Auersch-Saworski  
**Wechselwirkung starrer und flexibler Strukturen mit dem Baugrund insbesondere bei Anregung durch Bodenerschütterungen**
- Nr. 152/ISBN 3-88314-796-6/1988  
G. Plauk, G. Kretschmann, R.-G. Rohrmann  
**Untersuchung des baulichen Zustandes und der Tragfähigkeit vorgespannter Riegel von Verkehrszeichenbrücken der Berliner Stadtautobahn**
- Nr. 153/ISBN 3-88314-797-4/1988  
H. Sander, W.-W. Maennig  
**Magnetisches Verhalten von Eisenproben bei mechanischer Wechselbeanspruchung**
- Nr. 154/ISBN 3-88314-822-9/1988  
K. Breitzkreutz, R. Uttech, K. Haedecke  
**Druckgesinterte Stähle als zertifiziertes Referenzmaterial für die Spektrometrie**
- Nr. 155/ISBN 3-88314-825-3/1988  
L. Auersch  
**Zur Entstehung und Ausbreitung von Schienenverkehrserschütterungen: Theoretische Untersuchungen und Messung am Hochgeschwindigkeitszug Intercity Experimental**
- Nr. 156/ISBN 3-88314-887-3/1989  
G. Klamrowski, P. Neustupny, H.-J. Deppe, K. Schmidt, J. Hundt  
**Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von Faserzementen**
- Nr. 157/ISBN 3-88314-888-1/1989  
E. Limberger, K. Brandes  
**Versuche zum Verhalten von Stahlbetonbalken mit Übergreifungsstößen der Zugbewehrung unter stoßartiger Belastung**
- Nr. 158/ISBN 3-88314-889-X/1989  
R. Wäsche, K.-H. Habig  
**Physikalisch-chemische Grundlagen der Feststoffschmierung – Literaturübersicht –**
- Nr. 159/ISBN 3-88314-890-3/1989  
R. Müller, R. Rudolphi  
**Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Temperaturverteilung im Querschnitt von Haus-schornsteinen nach DIN 18160 Teil 6**
- Nr. 160/ISBN 3-88314-917-9/1989  
W. Matthees  
**Entwicklung eines Makroelementes durch Kondensation am Beispiel der Lastfälle Flugzeugabsturz und Erdbeben bei Boden-Bauwerk-Wechselwirkung mit biegeweichen Fundamenten**
- Nr. 161/ISBN 3-88314-920-9/1989  
G. Mellmann, M. Maultzsch  
**Untersuchung zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Flachglas für bauliche Anlagen**
- Nr. 162/ISBN 3-88314-921-7/1989  
W. Brünner  
**Untersuchungen zur Tragfähigkeit großer Glasscheiben**
- Nr. 163/ISBN 3-88314-922-5/1989  
W. Brünner, G. Mellmann, W. Struck  
**Biegefestigkeit und Tragfähigkeit von Scheiben aus Flachglas für bauliche Anlagen**
- Nr. 164/ISBN 3-88314-934-9/1989  
R. Helms, B. Jaenicke, H. Wolter, C.-P. Bork  
**Zur Schwingfestigkeit großer geschweißter Stahlträger**

- Nr. 165/ISBN 3-88314-935-7/1989  
P. Göbel, L. Meckel, W. Schiller  
**Untersuchung zur Erarbeitung von Kennwerten bei  
Einrichtungsmaterialien (Holzwerkstoffen, Möbeln  
und Textilien) hinsichtlich der Formaldehyd-  
Emission.**  
Teil B: Textilien
- Nr. 166/ISBN 3-88314-936-5/1989  
K. Breitzkreutz  
**Modelle für Stereologische Analysen**
- Nr. 167/ISBN 3-88314-937-3/1989  
A. Mitakidis, W. Rücker  
**Erschütterungsausbreitung im elastischen Halbraum  
bei transienten Belastungsvorgängen**
- Nr. 168/ISBN 3-88314-958-6/1990  
F.-J. Kasper, R. Müller, R. Rudolphi  
**Numerische Untersuchung geometriebedingter Wär-  
mebrücken (Winkel und Ecken) unter Einsatz hoch-  
auflösender Farbgraphik bei Berücksichtigung der  
Tauwasserproblematik und des Mindestluftwechsels**
- Nr. 169/ISBN 3-88314-959-4/1990  
Chr. Kohl, W. Rücker  
**Integration der Untergrunddynamik in das Programm-  
system MEDYNA, dargestellt am Beispiel des Intercity  
Experimental (ICE)**
- Nr. 170/ISBN 3-88314-960-8/1990  
P. Studt, W. Kerner, Tin Win  
**Untersuchung der mikrobiologischen Schädigung  
wassergemischter Kühlschmierstoffe mit dem Ziel  
der Verbesserung der Arbeitshygiene, der Minderung  
der Geruchsbelastung und der Menge zu entsorgen-  
der Emulsionen**
- Nr. 171/ISBN 3-88314-997-7/1990  
F. Buchhardt  
**Ein Operator zur Koppelung beliebig benachbarter dy-  
namischer Systeme am Beispiel der Boden-Bauwerk-  
Wechselwirkung**
- Nr. 172/ISBN 3-88314-998-5/1990  
J. Vielhaber, G. Plauk  
**Grenztragfähigkeit großer Verbundprofilstützen**
- Nr. 173/ISBN 3-88314-999-3/1990  
B. Droste, J. Ludwig, B. Schulz-Forberg  
**Höherwertige Transporttechnik und ihre Konsequen-  
zen für die Beförderung gefährlicher Güter**
- Nr. 174/ISBN 3-88429-021-8/1990  
D. Aurich  
**Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer  
Versagenskonzepte**
- Nr. 175/ISBN 3-88429-022-6/1990  
W. Brocks, D. Klingbeil, J. Olschewski  
**Lösung der HRR-Feld-Gleichungen der elastisch-pla-  
stischen Bruchmechanik**
- Nr. 176/ISBN 3-88429-035-6/1990  
W. Matthees, G. Magiera  
**Iterative Dekonvulation der seismischen Basiser-  
regung für den Zeitraum**
- Nr. 177/ISBN 3-89429-090-0/1991  
G. Schickert, H. Krause, H. Wiggenhauser  
**Studie zur Anwendung zerstörungsfreier Prüfver-  
fahren bei Ingenieurbauwerken**
- Nr. 178/ISBN 3-89429-429-9/1991  
G. Andrae, J. Knapp, G. Niessen  
**Entwicklung und Untersuchung eines kapazitiven  
Hochtemperatur-Dehnungsaufnehmers für Einsatz-  
temperaturen bis ca. 1000 °C**
- Nr. 179 / ISBN 3-89429-100-1/1991  
H. Eifler  
**Die Drehfähigkeit plastischer Gelenke in Stahlbeton-  
Plattenbalken, bewehrt mit naturhartem Betonstahl  
BSt 500 S im Bereich negativer Biegemomente**
- Nr. 180 / ISBN 3-89429-101-X / 1991  
E. Klement, G. Wieser  
**Zur numerischen Übertragbarkeit von Prüfungser-  
gebnissen an Hausschornsteinen auf Schornsteine  
mit anderen lichten Querschnitten**
- Nr. 181/ISBN 3-89429-105-2/1991  
H. Czichos, R. Helms, J. Lexow  
**Industrial and Materials Technologies: Research and  
Development Trends and Needs**

**Bundesanstalt  
für Materialforschung  
und -prüfung (BAM)**

**Federal Institute  
for Materials  
Research and Testing**

**Institut Fédéral pour la  
Recherche et l'Essai des  
Materiaux**

Unter den Eichen 87  
D-1000 Berlin 45

Telefon (030) 8104-1  
Telex 183 261 bamb d  
Telegramme BAM BERLIN

Telefax (030) 8 112 029  
Teletex 2627-308 372=bamb

- **Berichte**
- **Gutachten**
- **Zulassungen**
- **Zertifikate**
- **Tagungspapiere**
- **Prüfungszeugnisse**
- **Prüfstellenanerkennungen**

