



DGZfP-Berichtsband 66-CD
Vortrag 1

Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen - Ein Überblick

H. Wiggerhauser, Berlin

Zusammenfassung

Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen ist ein Bereich mit zunehmender Bedeutung bei der Erhaltung der Infrastruktur und der Qualitätssicherung des Baugeschehens. Die Information über die schon heute zur Verfügung stehenden leistungsfähigen Prüfverfahren erreicht nur langsam die Baupraxis. Ein wichtiges Instrument zur Verbesserung der Situation sind hierbei Regelwerke.

Einleitung

Das Bauwesen ist der größte Wirtschaftszweig der Bundesrepublik Deutschland mit einer großen Zahl von Beschäftigten (1998: > 1 Mio). Das Nettoanlagevermögen der Bundesrepublik beträgt ca. 5000 Mrd. DM, zum großen Teil investiert in Infrastrukturbauten. Für Instandsetzung und Erhalt gibt der Staat jährlich ca. 120 Mrd. DM aus. Qualitätssicherung durch eine objektive Prüfung während der Bauwerkserstellung ist eine Maßnahme zur Reduzierung der Erhaltungskosten. Rechtzeitige Schadenserkenkung durch geeignete Prüfverfahren ist ein Mittel zur Verminderung von Instandsetzungskosten. Sicherheitsrisiken bei bestehenden Bauwerken können auf der Grundlage aussagekräftiger Prüfverfahren besser eingeschätzt werden. Zu beachten ist auch, daß die Fähigkeit zur Prüfung Rechtsfrieden schafft, da Streitfälle bei der Vorlage zuverlässiger Untersuchungsergebnisse eher außergerichtlich geregelt werden.

Die Entwicklung neuer Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau) wird von vielen Arbeitsgruppen in der Industrie, an den Hochschulen sowie in privaten und öffentlichen Einrichtungen intensiv betrieben und kann in drei gleichberechtigte Bereiche gegliedert werden:

- A: Die Entwicklung neuer Prüfverfahren, die neben der Untersuchung bestehender Bauten auch zur Qualitätssicherung beim Bau eingesetzt werden können.
- B: Die Überwachung bestehender Bauwerke durch Prüfverfahren, die ständig Daten über deren Zustand erfassen und auf Abruf - z. B. über Fernabfrage - bereithalten (Monitoring).
- C: Die Berücksichtigung der späteren Prüfbarkeit schon bei der Konstruktion (prüfbares Konstruieren).

Die Beiträge auf dieser Tagung sind überwiegend dem erstgenannten Punkt zuzuordnen, weshalb sich dieser Beitrag im wesentlichen mit diesem Bereich beschäftigt.

Monitoring benötigt wegen der Installation der Sensoren vor Ort eine andere Methodik und widmet sich eher Problemstellungen im Bereich der Dauerüberwachung.

Der letztgenannte Bereich wird im Bauwesen bisher nur wenig beachtet, jedoch wurde z. B. vom BMV kürzlich eine „Richtlinie für Betonbrücken mit externen Spanngliedern [1] erlassen, die unter Bezug auf die „Prüfung“ fordert, daß neue Brücken mit externer Vorspannung konstruiert werden sollen.

Zerstörungsfreie Prüfungen im Bauwesen und die Praxis

Die Verfahren der ZfPBau haben leider noch nicht den wünschenswerten Eingang in die Prüfpraxis auf der Baustelle gefunden. Die Gründe hierfür sind vielfältig:

Mangelnde Information

Tradition (Einsatz zerstörender Prüfverfahren)

Es gibt die notwendigen flexiblen Verfahren für viele Problemfälle noch nicht

ZfP ist zu kompliziert und zeitaufwendig

Schlechte Erfahrungen

Mißtrauen gegen moderne Technik

Mangelnde Ausbildung

Kosten

Keine Normen oder Vorschriften

.....

Insbesondere der Kostendruck bei Bauvorhaben verhindert eine breitere Anwendung der ZfPBau-Verfahren. Qualitätssichernde Maßnahmen durch objektive Prüfverfahren in der Bauphase sollten sich aber bei der Kostenbetrachtung eines Bauwerks über dessen Gesamtlebensdauer auszahlen. Leider werden bei öffentlichen Bauvorhaben die Kosten für Unterhalt und Instandsetzung im Normfall aus anderen Kassen bezahlt, als jene für die Erstellung. Dadurch kann es zu einer Verlagerung der Kosten aus der Bau- in die Nutzungsphase kommen, die durch entsprechende qualitätssichernde Prüftechniken hätte verhindert werden können. Auf lange Sicht steigen die Gesamtkosten des Bauwerks durch die unterlassenen qualitätserzwingenden Maßnahmen. Eine Änderung dieser Situation - die auch in anderen Ländern immer wieder bedauert wird - kann nur politisch erfolgen, ist bisher aber leider noch nicht in Sicht.

Zum Teil werden die in der Praxis bestehenden Vorbehalte aber auch durch unrealistische Erwartungswirkung seitens der Anbieter von ZfPBau-Verfahren verursacht. Durch bessere Informationen, die Entwicklung von Regelwerken und technische Weiterentwicklung können solche Mißstände abgebaut werden. Viele nationale und internationale Institute oder Organisationen arbeiten an diesen Fragestellungen, erste Merkblätter wurden bereits veröffentlicht [2].

Obwohl auf den Baustellen sehr aufwendige und komplizierte Techniken im Bauprozess zum Einsatz kommen, besteht doch verbreitet ein Vorbehalt gegenüber zerstörungsfreien Methoden, da das Ergebnis mit den menschlichen Sinnen i. d. R. nicht erfassbar ist. Diese Bedenken können wahrscheinlich nur mit Geduld und überzeugenden Prüfergebnissen überwunden werden.

Viele Anfragen nach Hilfestellungen bei Prüfaufgaben vermitteln das Bild, daß die zerstörungsfreie Prüfung nicht routinemäßig eingesetzt wird, sondern immer dann besonders gefragt ist, wenn akute Probleme nicht mit den gewohnten Mitteln gelöst werden können. Häufig sind Meßprobleme mit dem Baufortschritt verbunden, wodurch bei Verzögerungen hohe Kosten entstehen. Deshalb ist für lange Vorbereitungszeiten oft keine Zeit und dadurch muß bei solchen Meßeinsätzen häufig improvisiert werden. Eigentlich notwendige sorgfältige Entwicklungsarbeiten sind unter diesen Randbedingungen nur schwer möglich.

Es muß jedoch auch deutlich gemacht werden, daß für viele Fragestellungen heute noch keine zuverlässige zerstörungsfreie Verfahren existieren.

Information, Regelwerke

Die DGZfP startete 1985 in Zusammenarbeit mit der BAM die Konferenzserie „Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen“ [3], die 1991 [4], 1993 [5], 1995 [6] sowie 1997 [7] mit internationaler Beteiligung fortgeführt wurde. Die Berichtsbände zu diesen Konferenzen geben einen guten Überblick über die jeweils aktuellen Themen und Forschungseinrichtungen. Die Serie wird im Jahr 2000 mit einer Konferenz in Japan fortgesetzt, bevor im Jahr 2003 die Tagung nach Berlin zurückkehrt.

Jenseits des Atlantiks gibt es neben den ZfP-Konferenzen der ASNT [8] und das Center for NDE [9] in Idaho eine Konferenzreihe der State Departments of Transportation [10] zum Thema.

Natürlich gibt es sehr viele Veranstaltungen, z. B. über IR-Thermografie [11], Radar [12] oder Feuchtemessung [13], bei denen auch über ZfPBau Methoden berichtet wird und allgemeine Themen der Bauwerkserhaltung im Mittelpunkt stehen [14].

Die Tagungsbände sind sehr gute Quellen für Informationen zu Verfahren oder Problemstellungen, leider aber i. d. R. nicht unmittelbar zugänglich.

Unter dem Stichwort „Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen“ gibt es verschiedene Zusammenfassungen, die über Verfahren und deren Anwendung informieren [15 – 19]. Eine Fakten-Datenbank SCHADIS über Bauschäden [20] enthält wertvolle Hinweise (u. a. das kompl. ZfPBau-Kompendium [21]). Eine ausführliche Literatursichtung zur ihrer ZfPBau-Anwendung an Betonbrücken wurde von der BAST veröffentlicht [22].

Das ZfPBau-Kompendium der BAM [21] wurde als Loseblatt-Sammlung konzipiert und versucht eine Beschreibung und Bewertung der Verfahren für potentielle Anwender. Weiterführende Literatur und Herstellerangaben sollen helfen, das für die jeweilige Problemstellung geeignete Verfahren zu finden. Eine über das Internet allgemein zugängliche Online-Version ist jetzt unter folgender URL erreichbar:

http://www.bam.de/a_vii/vii_3/kompendium/welcome.html

Eine CD-Version für lokale Anwendungen kann von der BAM bezogen werden. Die WWW-Ausgabe des Kompendiums wird in Zukunft aktualisiert, wenn Änderungen in den Geräteblättern erfolgen oder neue Verfahren aufgenommen werden (siehe hierzu auch den Beitrag „Das ZfPBau-Kompendium in World Wide Web“ zu dieser Veranstaltung).

Normen, Richtlinien oder auf einem unverbindlicheren Niveau Merkblätter, haben eine besondere Wichtigkeit für die Anwendungsbreite von Prüfverfahren. Sie beschreiben den Stand der Technik und können eine Grundlage für den Leistungsumfang bei Vertragsverhandlungen geben. Ohne die Regelwerke kann es für den Bauherrn wesentlich schwieriger sein, Prüfleistungen zu definieren und in Ausschreibungen aufzunehmen.

Im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen gibt es bisher nur zwei DIN-Normen und eine TGL [23]. Im angelsächsischen Raum gibt es mehr Normen [24, 25], auch einige ISO-Normen werden bearbeitet [26].

Die Bedeutung der Regelwerke lässt sich mit dem Kreis in Abbildung 1 veranschaulichen:

Ohne Normen gibt es für den anwendungswilligen Bauherren die Notwendigkeit, Leistungen selbst zu beschreiben bzw. unscharf zu formulieren. Schon allein deshalb gibt es weniger Aufträge für solche Prüfungen und folgerichtig weniger Bedarf. Die beschränkte Anwendung ihrerseits führt dazu, daß weniger F+E-Vorhaben unterstützt werden, mit der Folge, daß es weniger Verfahren gibt, die

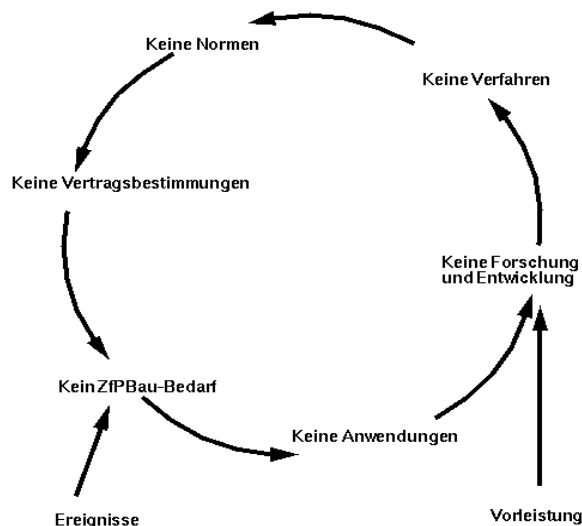


Abbildung 1: Die Normung im Wirkkreis von Bedarf, Anwendung und Forschung

einen technischen Stand erreichen der zur Normung führt. Damit schließt sich der Kreis, der an zwei Stellen durchbrochen werden kann: durch „Ereignisse“, z. B.: Einsturz von Bauwerken, oder durch Vorleistungen interessierter Kreise im F+E-Bereich. Die Bundesrepublik hat z. B. Mittel für die Entwicklung zerstörungsfreier

Prüfverfahren im Bauwesen u. a. in den Aufbau eines solchen Bereichs in der BAM investiert.

Von den weltweit tätigen ZfP-Gesellschaften hat die DGZfP (Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung) einen speziellen Ausschuß für ZfPBau, der seit 1985 regelmäßig zusammentrifft und in Unterausschüssen zu einzelnen Themen Pionierarbeit in Richtung der Standardisierung durch die Erstellung von Merkblättern leistet.

Bisher wurden acht Merkblätter veröffentlicht [2], die von der DGZfP vertrieben werden, weitere sind zur Zeit in Bearbeitung.

Zukunftsaufgaben

Die zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen gewinnt vor dem Hintergrund der Alterung unserer Infrastruktur weiter an Bedeutung. Wie in den USA schon sehr viel deutlicher erkennbar - dort wurde die Infrastruktur nicht nach Kriegszerstörungen erneuert - ist die angemessene Wartung und Erneuerung von Ingenieurbauten eine Hypothek an nachfolgende Generationen. Die Nutzungsdauer dieser Bauten zu verlängern ist eine Herausforderung für die Zukunft. Damit unabdingbar verknüpft ist eine zerstörungsfreie Beurteilung des Ist-Zustandes eines Bauwerkes.

Die Verfahrensentwicklungen werden ganz wesentlich von den rasanten Entwicklungen im Computerbereich unterstützt. Eine andere Quelle für Innovationsschübe ist die Suche nach neuen Märkten für Produkte des industriell-militärischen Bereichs in der Zeit nach dem Kalten Krieg.

Noch fehlen für viele Aufgaben ausgereifte ZfPBau-Verfahren, selbst alltägliche Messungen, wie die Bestimmung des w/z-Wertes von Frischbeton, des Zementgehaltes, der Druckfestigkeit etc., lassen sich bisher nur eingeschränkt vor Ort zerstörungsfrei mit der gewünschten hohen Genauigkeit durchführen. Diese Herausforderung muß von den Verfahrensentwicklern aufgegriffen werden. Dazu ist es nicht nur notwendig, mit langem Atem an diesen Problemen zu arbeiten, es müssen auch Anstrengungen unternommen werden, die Prüfung sicherheitsrelevanter Teile eines Bauwerkes schon bei der Planung zu berücksichtigen und entsprechende konstruktive Vorkehrungen zu treffen.

Zwei ständig wiederholte Anforderungen an ZfPBau-Verfahren sind, daß diese billig und einfach in der Anwendung sein müssen. So sehr im Interesse der Nutzer von Bauwerken die Kosten gering gehalten werden müssen, führt eine nur auf den unmittelbaren Nutzen beschränkte Forschungspolitik und -förderung nicht etwa zu einer intensiven, konzentrierten Beschäftigung mit den Problemen, vielmehr werden Ansätze für neue Ideen leider manchmal schon im Keim erstickt. ZfPBau-Verfahren müssen aber ihre Rentabilität in Bezug auf die Gesamtlebensdauer eines Bauwerkes unter Beweis stellen. Dann werden auch komplizierte Verfahren mit entsprechend geschultem Personal zum Einsatz kommen.

Die Bauwerke aus Stahlbeton, von denen heute Sicherheitsprobleme ausgehen (z. B. die Spannbetonwerke der ersten Generation oder die Wohnbauten der ehemaligen DDR) wurden ohne Berücksichtigung einer späteren Prüfung der

Funktionssicherheit wichtiger Teile gebaut. Dadurch ergaben sich große Probleme bei der Entwicklung von Prüfverfahren. Ein besseres Verständnis für die Bedürfnisse in den verschiedenen Phasen der Gesamtlebensdauer eines Bauwerkes bei allen Beteiligten wird auch dazu beitragen, die zerstörungsfreie Prüfung einfacher und besser zu machen.

Die wichtigste Forderung geht natürlich an die Entwickler. Sie müssen zuverlässige Verfahren bereitstellen und für deren Anwendung Regeln ausarbeiten. Dann wird auch die Anwendung zunehmen, da sowohl Bauträger als auch die bauausführenden Firmen eine Handhabe zur Vertragsgestaltung haben. In diesem Zusammenhang sind die pränormativen Arbeiten in den verschiedenen Ausschüssen, z. B. der DGZfP oder des DAfStb, von hervorgehobener Bedeutung.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
Richtlinie für Betonbrücken mit externen Spanngliedern
in: Verkehrsblatt-Dokument Nr. B5258 – Vers. 07/98, Ausgabe 1998

- [2] Merkblätter der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP):

Merkblatt für die Durchstrahlungsprüfung von Stahlbeton und Spannbeton (B1)

Merkblatt für Bewehrungsnachweis und Überdeckungsmessung bei Stahl- und Spannbeton (B2)

Merkblatt für elektrochemische Potentialmessungen zur Ermittlung von Bewehrungsstahlkorrosion in Stahlbetonbauwerken (B3)

Merkblatt für das Ultraschall-Impuls-Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung mineralischer Baustoffe und Bauteile (B4)

Merkblatt über thermografische Untersuchungen an Bauteilen und Bauwerken (B5)

Merkblatt über die Sichtprüfung und Endoskopie als optische Verfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (B6)

Merkblatt über die Anwendung der digitalen Bildverarbeitung in der Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (B7)

Merkblatt über die seismischen Verfahren zur Untergrunderkundung und Ermittlung von Materialkennwerten des Bodens (B8)

Automatisierte Dauerüberwachung im Ingenieurbau (in Vorbereitung)

- [3] G. Schickert, D. Schnitger (Hrsg.)

Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen; Tagungsbericht ZfPBau-Symposium
2. und 3. Oktober 1985, Berlin
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V., Berlin 1986

- [4] G. Schickert (Hrsg.)
Internationales Symposium zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, 27. Feb. -
1. März 1991, Berlin
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V., Berlin 1991, Teil 1
und 2
- [5] J. H. Bungey (Hrsg.)
Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Volume 1 u. 2
14. - 16. April 1993, Liverpool
The British Institute of NDT, Northampton, 1993
- [6] G. Schickert, H. Wiggenhauser (Hrsg.)
International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-
CE)
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V., Berlin 1995, Teil 1
und 2
- [7] J. H. Bungey (Hrsg.)
Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Volume 1 u. 2, 08. - 11. April
1997, Liverpool
The British Institute of NDT, Northampton, 1997
- [8] NDT - Keystone of Quality
ASNT Fall Conference and Quality Testing Show, Pittsburgh, PA, 20. - 24.
Oktober 1997
- [9] D. O. Thompson, D. E. Chimenti (Hrsg.)
Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation July 28 - August
2, 1996
Plenum Press, New York 1997, Volume 16 A + B
- [10] P. E. Hartbower, P. J. Stolarski (Hrsg.)
Structurals Materials Technology And NDT Conference
February 20-23, 1996, San Diego, CA
Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, 1996
- [11] D. Balageas, G. Busse, C. M. Carlomagno (Hrsg.)
Proceedings of Quantitative Infrared Thermography QIRT'96
September 2-5, 1996, Stuttgart,
Pisa: Edizioni ETS 1997
- [12] Proceedings of the 6th International Conference on Ground Penetrating
Radar
30.09. - 03.10.96, Sendai/Japan
Dep. of Geoscience and Technology, Tohoku Univ. Sendai, Japan, 1996

- [13] H. Wiggenhauser, H. S. Müller, N. Girlich (Hrsg.)
Feuchtetag 21.09.1993, Berlin
DGZfP Berichtsband 40
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V., Berlin 1993
- H. Wiggenhauser, H. S. Müller (Hrsg.)
Feuchtetag 95
29.09.1995, Berlin
Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin 1995
- K. Kupfer (Hrsg.)
9. Feuchtetag 1997
MFPA an der Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, 1997
- [14] M. C. Forde (Hrsg.)
Structural Faults & Repair - 97
8th-10th July, Edinburgh
Engineering Technics Press, Edinburgh, 1997, Volume 1-3
- [15] P. Diem
Zerstörungsfreie Prüfmethode für das Bauwesen
Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1982
- [16] D. Jungwirth, E. Beyer, P. Grübl
Dauerhafte Betonbauwerke; Substanzerhaltung und Schadensvermeidung in
Forschung und Praxis
Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf 1986
- [17] R. G. Mathey, J. Clifton
Review of Nondestructive Evaluation Methods; Applicable to Construction
Materials and Structures
U. S. Government Printing Office, Washington 1988
- [18] 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)
- [19] IP Bau
Bundesamt für Konjunkturfragen Untersuchungstechniken im Tief- und
Ingenieurbau, Bern, 1991
- [20] Schadis
CD-ROM-Datenbank
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart, 1996

- [21] G. Schickert, M. Krause, H. Wiggerhauser
Forschungsbericht 177 Studie zur Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren
bei Ingenieurbauwerken - ZfPBau-Kompodium
Verlag für Neue Wissenschaften GmbH, Bremerhaven, 1991
Im Internet veröffentlicht:
http://www.bam.de/a_vii/vii_3/kompodium/welcome.html
- [22] J. Krieger
Literatursichtung zu zerstörungsfreien Prüfmethoden hinsichtlich ihrer
Anwendung bei Betonbrücken
Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach,
1995
- [23] Deutsche ZfPBau-Normen:
- TGL 21 100/01 Zerstörungsfreie Prüfung von Bauwerken und Bauteilen aus
Beton – Richtlinie zur Bestimmung der Rohdichte mit Gammastrahlen
- E DIN EN 12398 (Juli 1996) Prüfung von Beton – Zerstörungsfreie Prüfung –
Bestimmung der Rückprallzahl; Deutsche Fassung prEN 12398: 1996
- E DIN EN 12399 (Juli 1996) Prüfung von Beton – Bestimmung der
Ausziehenkraft; Deutsche Fassung prEN 12399: 1996
- [24] Britische Normen:
- BS 4408: pt. 4, “Non-destructive methods of test for concrete – surface
hardness methods” British Standards Institution, London.
- BS 1881: pt. 4, “Methods of testing concrete for strength”, British Standards
Institution, London.
- BS 4408: pt. 5, “Non-destructive methods of test for concrete – Measurement
of the velocity of ultrasonic pulses in concrete”, British Standards Institution,
London.
- BS 4408: pt. 2, “Recommendations for non-destructive methods of test for
concrete – strain gauges for concrete investigation”, British Standards,
London 1969 (83)
- BS 4408: pt. 1, “Non-destructive methods of test for concrete –
electromagnetic cover measuring devices”, British Standards Institution,
London.
- BS 4408: pt. 3, 1970 “Non-destructive methods of test for concrete – gamma
radiography of concrete”, British Standards Institution, London.
- BS 1881: pt. 6, “Methods of testing concrete: analysis of hardened concrete”,
British Standards Institution, London.

BS 4551, "Methods of testing mortars, screeds and plasters " British Standards Institution, London.

BS 812: pt. 1, "Methods for sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers", British Standards Institution, London.

[25] ASTM Normen

ASTM C597-71, „Standard test method for pulse velocity through concrete“, American Society for Testing and Materials Standards, Philadelphia, 1978.

ASTM C803-79, „Penetration resistance of hardened concrete“, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, U.S.A.

ASTM C900-78T, „Pull-out strength of hardened concrete“, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1978.

ASTM C42-77, „Standard method of obtaining and testing drilled cores and sawn beams of concrete“, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

ASTM C85-66, „Cement content of hardened Portland cement concrete“, A.S.T.M., Philadelphia, U.S.A.

ASTM C457-80, „Air void content in hardened concrete“, A.S.T.M., Philadelphia U.S.A.

ASTM C823-75, „Examining and sampling of hardened concrete in constructions“.

ASTM C805-79, „Rebound number of Hardened concrete“.

ASTM C779-76, „Abrasion resistance of horizontal concrete surfaces“

ASTM C944-80, „Abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating cutter method“.

ASTM C856-77, „Petrographic examination of hardened concrete“.

[26] ISO-Normen

ISO/CD 1920 Teil 7 – Testing concrete: Non destructive tests of hardened concrete

ISO/DIS 8045 Concrete, hardened – Determination of rebound number using rebound hammer

ISO/DIS 8046 Concrete, hardened – Determination of pull-out strength

ISO/DIS 8047 Concrete, hardened – Determination of ultrasonic pulse velocity