

## Vergleich verschiedener ZfP - Verfahren zur Bewehrungsortung

Gerd Kapphahn

**Zusammenfassung:** Die Wahl eines geeigneten zerstörungsfreien Prüfverfahrens für den Bewehrungsnachweis im Beton ist von der Aufgabenstellung abhängig. Drei auf unterschiedlichen physikalischen Grundprinzipien basierende Verfahren haben zur Entwicklung kommerziell verfügbarer Gerätetechnik geführt und kommen in der Praxis zum Einsatz. Dies sind neben den klassischen Betondeckungsmessgeräten, die Durchstrahlungsprüfung mit Röntgen- und Gammastrahlung sowie das Impulsradarverfahren. Die Anwendungsbereiche für typische Prüfaufgaben im Bauwesen werden diskutiert. Dabei lassen sich im Wesentlichen folgende Aufgabenstellungen unterscheiden:

- Lokalisierung von Eisen, z. Bsp. für Bohrungen,
- Messung der Betonüberdeckung zur Qualitätskontrolle,
- Diagnose des statischen Systems für die ingenieurmäßige Bewertung alter Bausubstanz,
- Ermittlung der Ursachen äußerlich sichtbarer Fehler,
- Soll / Ist Vergleiche bei zweifelhafter Bauausführung,
- Nachweis versteckter Mängel.

**Summary:** The choice of an adequate NDT- method for the detection of re-bars in concrete depends on the technical problem to be solved. Three methods based on different physical principles have led to the development of commercially available devices and are used in construction industry. These are, in addition to classical covermeters, radiography with X or  $\gamma$  – rays and radar. The advantages and disadvantages for typical applications in civil engineering are discussed. The following basic problems may be identified:

- localisation of rebars, for example for drilling holes,
- measurement of concrete cover for quality control,
- assessment of existing structures,

<sup>1</sup>Dr. rer. nat., Fachbereich Bauwesen, HTWK Leipzig

- investigation of causes of visible faults
- comparison of nominal and actual conditions of problematic constructions,
- detection of hidden structural faults

## 1 Einleitung

Beim Bewehrungsnachweis in Massivbauwerken können zwei Ausgangssituationen unterschieden werden. Diese sind zum einen das Bauwerk mit bekanntem statischen System und bekannten Materialien und das Bauwerk quasi als black box dessen statisches System noch zu erkunden ist. Im ersten Fall liegen die Aufgabenstellungen meist im Bereich der Qualitätskontrolle, wie Einhaltung der Betonüberdeckung, oder Nachweis verdeckter Mängel und Überprüfung der Bauausführung. Im zweiten Fall steht meist die ingenieurmäßige Bewertung und die Diagnose des statischen Systems im Vordergrund. Ausgehend von ihren physikalischen Grundprinzipien ist die Leistungsfähigkeit der einzelnen Prüfverfahren hinsichtlich spezieller Fragestellungen recht unterschiedlich. Im praktischen Einsatz spielen außerdem noch der Zeit- und Kostenaufwand sowie diverse Randbedingungen, wie Zugangsmöglichkeiten, notwendige Absperrmaßnahmen etc. eine Rolle. Oft können Verfahrenskombinationen sowie gezieltes Freilegen die Qualität und Aussagesicherheit der zerstörungsfreien Untersuchung erheblich verbessern.

## 2 Prüfverfahren

### 2.1 Durchstrahlungsprüfung

Durchstrahlungsprüfungen können mit Röntgen- oder Gammastrahlung durchgeführt werden. Dabei befindet sich das Untersuchungsobjekt zwischen der Strahlenquelle und einem Röntgenfilm. Es ist also ein Zugang von zwei Seiten erforderlich. Die Strahlungsintensität  $I$ , die zur Schwärzung des Röntgenfilms führt, beträgt:

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1)$$

mit  $I_0$  Ausgangswert der Strahlungsintensität

$\mu$  linearer Schwächungskoeffizient



mit dem Abstand und der Betondicke exponentiell. Bei sehr langen Bestrahlzeiten können Streustrahlungseffekte dominieren, so dass die Versuchsanordnung sorgfältig zu planen ist.

Bei Röntgenröhren und Beschleunigern (Linearbeschleuniger, Betatron) werden die Strahlungsintensität und –energie über die Spannung und Stromstärke geregelt. In der Regel können Streustrahlungseffekte bei Belichtungszeiten <30min vernachlässigt werden. Die Wahl der Filmempfindlichkeit und der Zwischenfolien hat sowohl auf die Belichtungszeit als auch auf die Detailerkennbarkeit einen Einfluss. Bei Massivbauwerken kann man in vielen Fällen auf hochempfindliche D8 Filme und Verstärkerfolien zurückgreifen und so die Belichtungszeiten reduzieren.

**Tabelle 1** Vergleich verschiedener Strahlenquellen für die Betondurchstrahlung

**Table 1** Comparison of different X- and  $\gamma$ - ray sources for concrete radiography

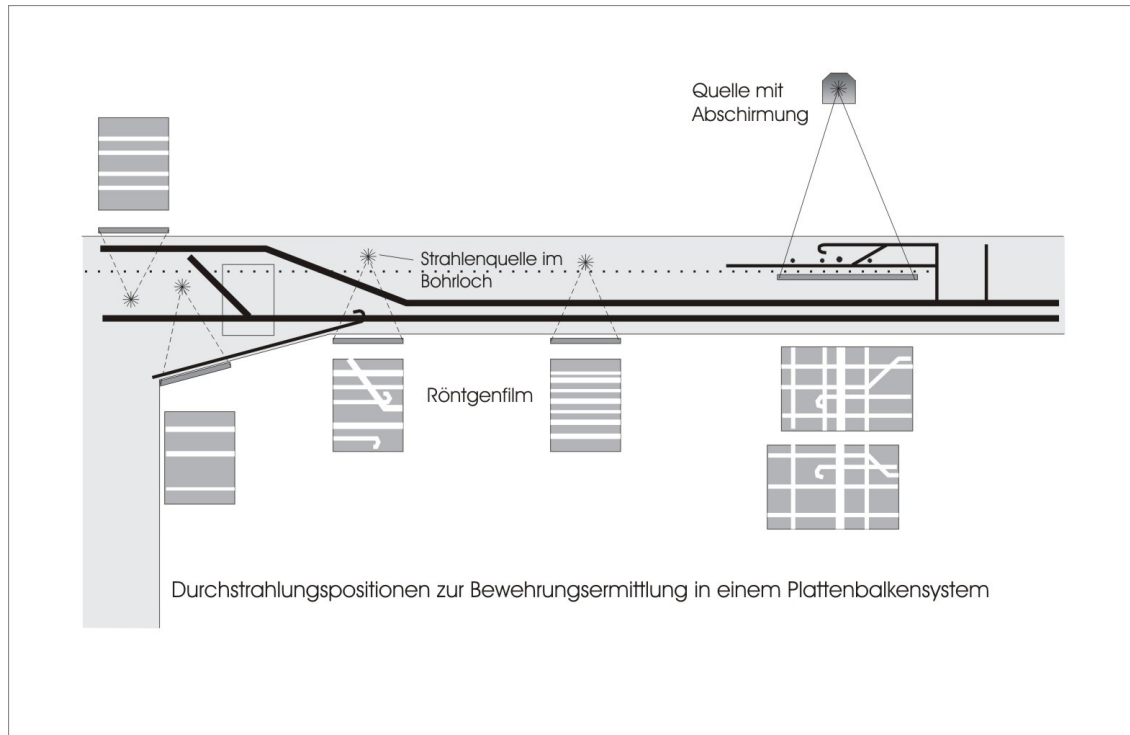
Prüfgerät /Strahlungsenergie	Maximale Betondicke [cm]	Expositionszeit für 30cm Beton, 1m Abstand D8 Film
Röntgenröhre 200keV	25-30	ca. 30 min
Kobalt 60 1,2 MeV	45-50	ca. 5 min
Megascan <sup>TM</sup> 7,5MeV [1]	150	ca. 0,3 min

Hinsichtlich der Handhabung spielt das Gewicht der Geräte eine Rolle. Bei Isotopenprüfgeräten ist eine Abschirmung der radioaktiven Strahlung im Ruhe- und Transportzustand erforderlich. Die Quelle wird über einen Ausfahrtschlauch in Arbeitsposition gebracht, so dass der ca. 130kg schwere Behälter auch in einem Abstand von 5-10m von der Arbeitsposition angeordnet werden kann. Durch die Anwendung der Bohrlochradiografie erhöht sich die Flexibilität bei der Wahl der geometrischen Anordnung deutlich und ermöglicht einen sehr effektiven Bewehrungsnachweis. (siehe Bild 2 und [2]). Röntgenröhre und Beschleuniger (ca. 115kg) müssen unmittelbar vor Ort gebracht werden. Letztere haben den Vorteil, dass Strahlung nur beim Anlegen einer Spannung entsteht und damit kein Gefahrguttransport erforderlich ist. Wegen der meist größeren Betondicken muss mit energiereicher Strahlung gearbeitet werden. Dies hat eine höhere Masse der Prüfgeräte und größere Kontrollbereichsgrenzen zur Folge. Die Entwicklung kompakter und leichter Beschleuniger erweitert die Anwendungsmöglichkeiten, z. Bsp. im Brückenbau [1].

### 2.1.1 Besonderheiten

Beim ortsveränderlichen Umgang mit radioaktiven Quellen zur Durchstrahlungsprüfung sind die Vorschriften des ADR /GGVSE für den Transport zu beachten. Außerdem ist ein Strahlenschutzmanagement erforderlich und ein Kontrollbereich

einzurichten, der während der Strahlenexposition nicht betreten werden darf. Dies ist durch Kontrollpersonal, das entsprechend sach- und fachkundig ist, abzusichern. Diesbezügliche Regelungen finden sich in Normen (z. Bsp. [5]).



**Bild 2** Bewehrungsermittlung an ausgewählten Punkten für statische Berechnungen

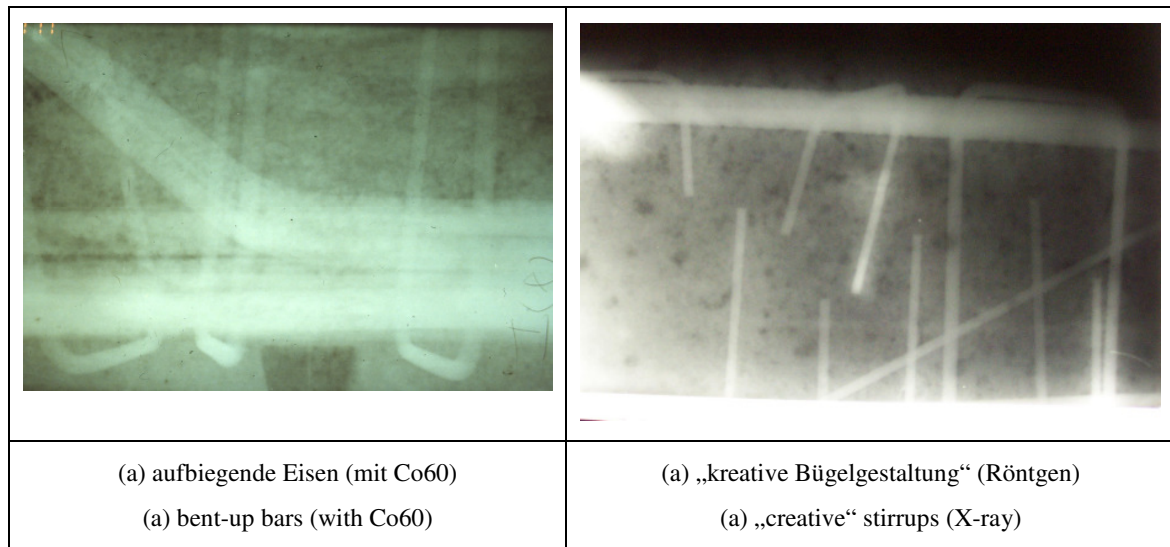
**Fig 2** Evaluation of reinforcement at selected locations for the purpose of structural analysis

### 2.1.2 Bevorzugte Anwendungsgebiete

Die Durchstrahlungsprüfung liefert zweifellos die genauesten Ergebnisse und kann auch bei engmaschiger und mehrlagiger Anordnung eingesetzt werden. Außerdem können besondere Eisenanordnungen und Eisensonderformen erkannt werden. Bild 3 zeigt, wie durch die gezielte Anordnung von Durchstrahlungsaufnahmen die für eine statische Nachrechnung relevanten Bereiche erfasst werden. Einschränkungen ergeben sich durch die maximale Betondicke bei tief liegenden Bewehrungen. So muss z. Bsp. zum Nachweis von Stützbewehrungen meist der Fußbodenaufbau entfernt werden.

Bevorzugte Anwendungen sind deshalb die Bewehrungsermittlung für statische Berechnungen, das Auffinden verdeckter Mängel sowie die Ursachenermittlung von Schäden durch falsche Eisenanordnungen. Die Durchmesserbestimmung gelingt meist, auch bei mehrlagiger, dichter Anordnung mit einer Genauigkeit von  $\pm 1\text{mm}$ .

Untersuchungen bei fließendem Verkehr sind meist mit Einschränkungen, wie halbseitigen Sperrungen, ggf. auch zusätzlichen Abschirmungen verbunden.



**Bild 3:** Beispiele von Durchstrahlungsaufnahmen

**Fig. 3:** Examples of radiographic images

## 2.2 Induktive Verfahren

Kommerzielle Bewehrungssuchgeräte arbeiten entweder nach dem Transformatorprinzip als magnetisches Wechselfeldverfahren oder als Wirbelstromverfahren mit Pulsinduktion. Letztere sind auch zum Nachweis von Edelstahl geeignet.

Bei beiden Messprinzipien ist das Messsignal stark vom Bewehrungsdurchmesser abhängig. Einen Vergleich der Leistungsfähigkeit verschiedener Geräte findet man in [3]. Hauptanwendungsgebiet ist zweifellos die Betonüberdeckungsmessung. Bei bekanntem Bewehrungsdurchmesser werden im für den Korrosions- und Brandschutz interessanten Bereich bis ca. 50mm hohe Genauigkeiten erzielt. Eine Durchmesserermittlung ist nur bei großen Bewehrungsabständen möglich und mit Unsicherheiten verbunden. Die Tiefenreichweite liegt bei 10cm teilweise bis 18cm. Benachbarte Eisen können aufgelöst werden, wenn ihr gegenseitiger Abstand  $\geq$  der Betondeckung ist.

Kritische Bewehrungsanordnungen, die zu Fehlinterpretationen führen können sind Mattenstöße, Bewehrungen in Unterzügen, aber auch Bindedrahtreste an der Betonoberfläche, deren Messsignal entsprechend dem gewählten Durchmesser eine Betondeckung zugeordnet wird und Randbereiche von Bauteilen. Untersuchungen an

Testkörpern mit relativ großen Maschenweiten in [4] haben ergeben, dass die Betonüberdeckung im Mittel mit einer Genauigkeit von  $\pm 1\text{mm}$ , die Lage mit  $\pm 7\text{mm}$  und der Durchmesser mit  $\pm 4\text{mm}$  ermittelt wird. Es treten große Unterschiede zwischen erfahrenem und angelerntem Personal auf.

Bei modernen Geräten hat sich, ähnlich wie beim Radarverfahren, die Kombination der Messsonde mit einer Wegmessung, die sowohl Linien- als auch Flächendarstellungen ermöglicht, kombiniert mit einer Datenerfassung und statistischen Auswertung der Betondeckung, etwa nach DBV Merkblatt [6], durchgesetzt.

Haupteinsatzgebiete sind neben Betonüberdeckungsmessungen die Ortung der oberen Bewehrungslagen zur Vermeidung von Eisentreffern beim Bohren.

### 2.3 Impuls-Radarverfahren

Beim Impulsradarverfahren werden hochfrequente elektromagnetische Wellen von einer Antenne ausgesendet und an Grenzflächen reflektiert. Bei Reflexionsmessungen sind Sender und Empfänger meist in einer Antenne angeordnet, es sind aber auch Transmissionsmessungen mit Sender und Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten möglich. Die Signallaufzeit liefert eine Information über die Tiefe des Reflektors. Auch hier werden die Antennen mit einer Wegmessung kombiniert. Es sind Linien- und Flächenmessungen möglich. Für Bewehrungs- und Spannglieduntersuchungen kommen Antennen im Frequenzbereich von 1-2 GHz zum Einsatz mit denen eine Tiefenreichweite von ca. 0,5 m erzielt wird (siehe [8]).

Die Ausbreitung der Radarwellen wird durch die Materialparameter elektrische Leitfähigkeit und die relative Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$  beeinflusst. Hohe Leitfähigkeiten erhöhen die Signaldämpfung und verringern die Tiefenreichweite.

Die Tiefe  $s$  eines Reflektors ergibt sich mit der Laufzeit  $t$  nach:

$$s = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \frac{t}{2} \quad (2)$$

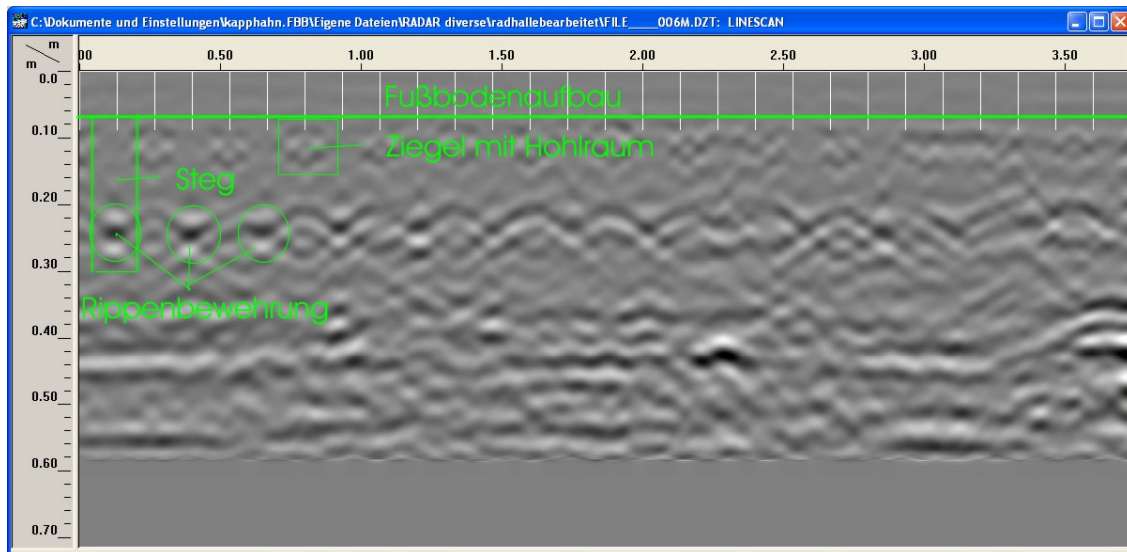
mit  $c_0$  Lichtgeschwindigkeit

Reflexionen finden an Grenzflächen mit sich ändernder Dielektrizität statt. Deshalb können neben Bewehrungen auch Hohlräume im Beton erkannt werden. Während bei der Lagebestimmung und Auflösung benachbarter Eisen die Genauigkeiten von Radar und Bewehrungssucher etwa vergleichbar sind, ist die Betonüberdeckungsmessung mit

Radar wegen der Unsicherheiten bei der Ermittlung von  $\epsilon_r$  den Bewehrungssuchern unterlegen. Eine Ermittlung von Bewehrungsdurchmessern ist nicht möglich.

Die Vorteile des Verfahrens gegenüber den induktiven Verfahren liegen in der größeren Tiefenreichweite, dem besseren Nachweis von Edelstählen und der Möglichkeit auch nichtmetallische Reflektoren nachweisen zu können. Dichte Eisenanordnungen führen allerdings zur Abschirmung dahinter liegender Eisen, haben aber, im Unterschied zum Bewehrungssucher, kaum Einfluss auf die ermittelte Betondeckung.

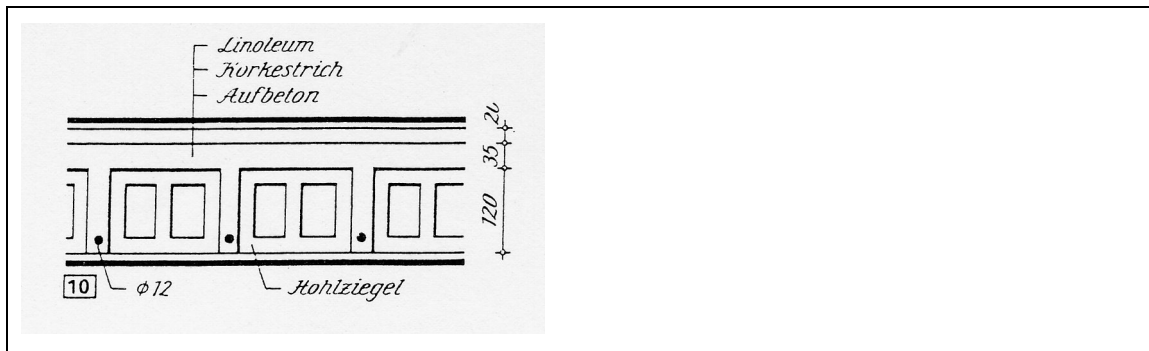
Vorteilhafte Anwendungen sind die Ortung tiefer liegender Spannglieder, Homogenitätskontrollen an tragenden Bauteilen, wie historischen Säulen [7] und die Erkundung alter Bausubstanz. Übersichtsmessungen mit hohem Informationsgehalt sind hier schnell zu erzielen (Bild 4,5). So sind Bereiche mit wechselnder Spannrichtung, variierende Bewehrungsabstände und veränderte Deckenausbildungen relativ schnell zu erkennen. Durch Flächenscans sind Schrägeisen in Unterzügen teilweise schneller nachweisbar als mit der Durchstrahlungsprüfung (Bild 6). Ähnliches gilt für die Überlappungslängen von Stützbewehrungen, wobei eine Ermittlung der Anzahl der Eisen allerdings nicht möglich ist.



**Bild 4:** Radarlinienscan über eine Stahlbetonrippendecke

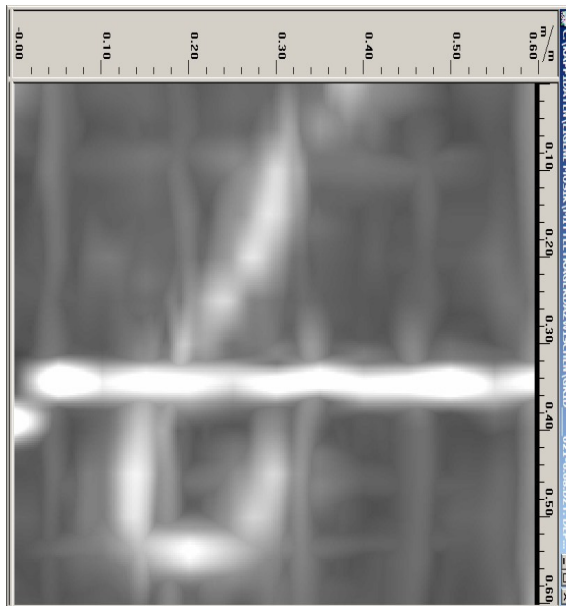
**Fig. 3:** Radar scan across a ribbed slab





**Bild 5:** Rippendecke mit Füllkörpern

**Fig. 5:** Ribbed slab with hollow bricks



**Bild 6:** Schrägeisen mit Endhaken im Radarscan

**Fig. 6:** Radar scan with bent-up bar and end hook

### 3 Zusammenfassung

Für die zerstörungsfreie Bewehrungsuntersuchung stehen leistungsfähige, praxistaugliche Prüfverfahren zur Verfügung. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, ist es notwendig, die Prüfaufgabe genau zu definieren, um das am besten geeignete Verfahren auswählen zu können. Die Kombination mehrerer Verfahren ist meist sinnvoll, weil dadurch nicht nur die Genauigkeit und Aussagesicherheit steigen, sondern auch der

Untersuchungsaufwand reduziert werden kann. Zur Interpretation der Messergebnisse sind neben der Erfahrung des Ausführenden auch Grundinformationen über das Untersuchungsobjekt, wie Bauweise und die verwendeten Materialien erforderlich. Diese können durch gezieltes Freilegen in lokal begrenzten Bereichen gewonnen werden. An diesen Stellen kann dann auch eine Kalibrierung der Verfahren am Bauwerk erfolgen, wodurch die Genauigkeit und Aussagesicherheit deutlich verbessert werden können.

#### 4 Literatur

- [1] BROWN, K.; ST LEGER, J.: Use of the Megascan<sup>TM</sup> Imaging Process in inspection Systems for post-tensioned bridges and other major structures. In: DGZfP Proceedings BB85-CD: *International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, September 16-19, 2003 Berlin
- [2] KASCHMIERZECK, K-D.; KAPPAHN, G.: Durchstrahlungsprüfung im Bauwesen – Erfahrungen aus der Praxis. In: DGZfP- Berichtsband 66CD, *Fachtagung Bauwerksdiagnose- Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen*. Januar 21-22, 1999, München
- [3] FLOHRER, C.: A Messung der Betondeckung und Ortung der Bewehrung. In: DGZfP- Berichtsband 66CD, *Fachtagung Bauwerksdiagnose- Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen*. Januar 21-22, 1999, München
- [4] HAMASAKI, H.; UOMOTO, T.; OHTSU, M.; IKENAGA, H.; KISHI, K.; YOSHIMURA, Y.: Identification of Reinforced in Concrete by Electro-Magnetic Methodes. In: DGZfP Proceedings BB85-CD: *International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, September 16-19, 2003 Berlin
- [5] DIN 54115 -3: Zerstörungsfreie Prüfung - Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe - Teil 3: Organisation des Strahlenschutzes bei Umgang und Beförderung in der Gammadiagnostik , Ausgabe 06/2006
- [6] DBV-Merkblatt Betondeckung und Bewehrung. Fassung Juli 2002 (Hrsg.): Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. -dbv-, Berlin
- [7] KÖHLER, W.: Zerstörungsfreie Rissuntersuchungen an Natursteindenkmalen, Tagungsband Natursteinsanierung 2005, Stuttgart: *Fraunhofer IRB-Verlag*, 2006, ISBN 3-8176-6718-4, S. 105-116

- [8] Merkblatt über das Radarverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen.  
B10: DGZfP, 2001