



DGZfP-Berichtsband 66 CD
Plakat 11

Durchstrahlungsprüfung im Bauwesen- Erfahrungen aus der Praxis

K.-D. Kaschmierzeck, G. Kapphahn, R. Liesaus, Leipzig

Zusammenfassung

Die Durchstrahlungsprüfung mit Röntgen- und Gammastrahlung ist ein praktisch ausgereiftes, leistungsfähiges ZfP-Verfahren für den Stahl- und Spannbetonbau. Viele Prüfaufgaben, wie z.B. Ermittlung mehrlageriger Bewehrungsanordnungen in Unterzügen oder von Einspannbewehrung sind zerstörungsfrei mit anderen Verfahren nicht lösbar. Die bildhafte Ergebnisdarstellung verbessert die Aussagesicherheit besonders bei diagnostischen Untersuchungen an "unbekannten" Tragwerken.

Gegenüber anderen Prüfverfahren treten einige Besonderheiten, wie die Einrichtung von Kontrollbereichen oder der Transport des Strahlers nach der Gefahrgutverordnung auf. Die Anwendung des Verfahrens bleibt sach- und fachkundigen Personen hinsichtlich des Transports und Umgangs mit radioaktiven Stoffen vorbehalten.

1. Einleitung

Die Durchstrahlungsprüfung mit Röntgen- oder γ -Strahlung gehört zu den ältesten zerstörungsfreien Prüfverfahren und besitzt ein breites Anwendungsspektrum und Akzeptanz in den Ingenieurwissenschaften.

Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens liegt im bildhaften Ergebnis bei der Verwendung von Röntgenfilmen.

Obwohl die Grundlagen für die praktische Anwendung der Durchstrahlungsprüfung im Bauwesen bereits in den 60iger Jahren durch Pohl /1/ geschaffen wurden, ist eine breitere Anwendung in Deutschland bisher ausgeblieben.

Als Hindernisse für den Einsatz werden häufig hohe Kosten, lange Bestrahlungszeiten sowie Strahlenschutzprobleme genannt.

Diese Argumente werden einer kritischen Betrachtung unterzogen und Anwendungsbeispiele genannt, bei denen die Durchstrahlungsprüfung anderen Verfahren überlegen ist.

2. Meßprinzip

Die Strahlungsintensität der Primärstrahlung I_0 verringert sich beim Durchgang durch Materie nach einem Exponentialgesetz. Die Strahlungsintensität I beträgt nach Durchdringen der Schichtdicke x

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

Der lineare Schwächungskoeffizient μ charakterisiert das durchstrahlte Material und ist von den Größen Dichte, Ordnungszahl, Atomgewicht und Strahlungsenergie abhängig. In Abhängigkeit von der Strahlungsintensität am Röntgenfilm ergeben sich unterschiedliche Filmschwärzungen.

Die physikalischen Randbedingungen führen zu folgenden baupraktischen Anwendungen der Radiografie mit lichtempfindlichem Film :

- ⇒ Nachweis von schlaffer und Spannstahlbewehrung
- ⇒ Nachweis des Verpreßzustandes von Hüllrohren
- ⇒ Nachweis von Rissen im Stahl oder Beton
- ⇒ Nachweis von Fehlstellen, Verdichtungsmängeln im Beton
- ⇒ Schadensdiagnose

3. Anwendungsbeispiele

Bei komplexen baudiagnostischen Aufgabenstellungen werden in der Praxis optimale Resultate oft nur erzielt, wenn unterschiedliche Prüfverfahren sinnvoll kombiniert werden. Je nach Aufgabenstellung haben sich Kombinationen von Durchstrahlung, Bewehrungsortung, Ultraschall- oder Impact-Echo Verfahren sowie Endoskopie bewährt (siehe z.B. P18).

3.1 Bewehrungsnachweis

Eine wichtige Prüfaufgabe für die zerstörungsfreie Prüfung ist der Nachweis der Bewehrung in Stahl- und Spannbetonkonstruktionen. Zu ermitteln sind Lage, Anzahl, Durchmesser und Betonüberdeckung der Bewehrung.

Dabei liegt meist eine von folgenden Problemstellungen vor:

Variante I: Der Bewehrungsgrad ist im Prinzip bekannt. Es interessiert im wesentlichen die Betonüberdeckung.

Variante II: Es liegen keinerlei Informationen zur Bewehrung vor.

Bei Variante I sind meist Betonüberdeckungsmessungen im Rahmen von Qualitätskontrollen erforderlich. Die Aufgabe kann fast immer mit elektromagnetischen Bewehrungssuchgeräten gelöst werden.

Variante II erfordert eine komplexere Vorgehensweise und den kombinierten Einsatz von Prüfverfahren.

Prüfaufgaben ergeben sich oft im Zusammenhang mit dem Tragfähigkeitsnachweis von in Nutzung befindlichen Bauwerken mit mangelhaften Bauunterlagen oder bei Schadensfällen.

Besonders in diesen Fällen werden für einen rechnerischen Tragfähigkeitsnachweis gezielte Informationen über den Bewehrungsverlauf an exponierten Stellen in der Konstruktion benötigt. Diese Aufgabe ist in der Regel quasizerstörungsfrei ohne Durchstrahlungsprüfung nicht lösbar. Durch die bildhafte Information auf dem Röntgenfilm werden auch Besonderheiten in der Bauweise, wie z. B. die Verwendung spezieller Stahlformen (I-Stegeisen, Bändeisen als Bügel, geteilte Bügelanordnung usw.) sichtbar.

Die Auswahl der Meßstellen erfordert Kenntnisse über beanspruchungs- und bauzeittypische Besonderheiten und sollte in Absprache mit dem Statiker erfolgen.

Abbildung 1 zeigt als Beispiel typische Untersuchungsbereiche für ein Plattenbalkensystem mit Voute. Durch örtlich gezielte Durchstrahlungsuntersuchungen in Kombination mit Bewehrungssuchern kann der Bewehrungsverlauf und damit das ursprüngliche statische System nachvollzogen werden. Ein zerstörungsfreier Nachweis der zweiten Bewehrungslage in Unterzügen, von Einspannungen oder bei komplizierten Bewehrungsanordnungen ist nur mit Hilfe der Durchstrahlungsprüfung möglich.

Abbildung 2 zeigt am Beispiel eines Gebäudes im Bauhaus Dessau die gezielte Verteilung der Meßpositionen, so daß ein Rückschluß auf das gesamte Tragsystem möglich wird.

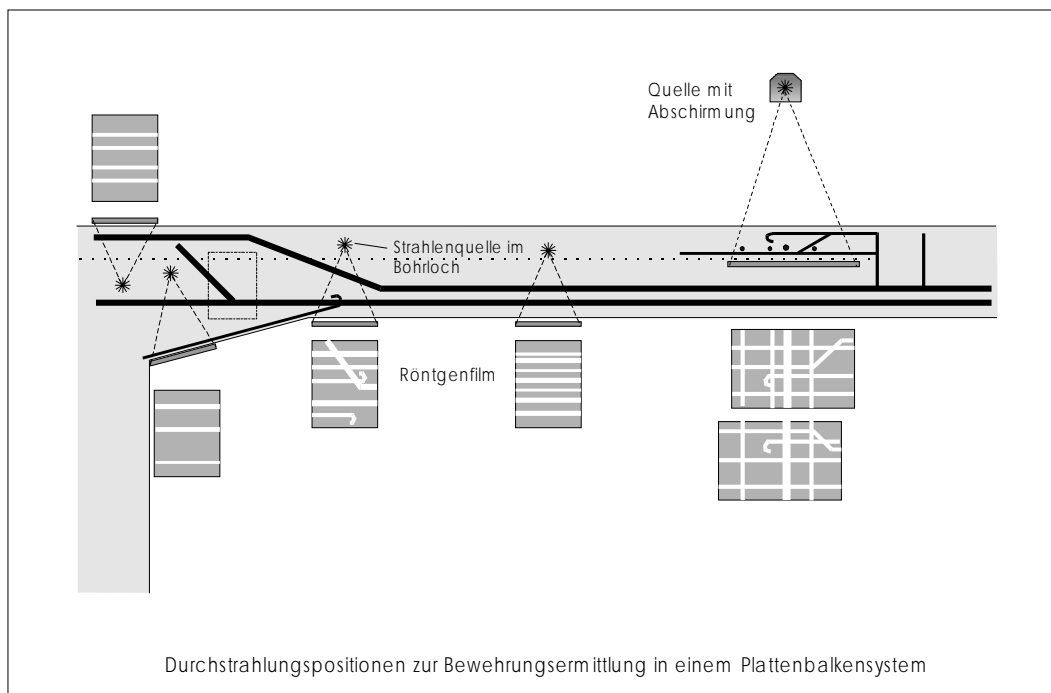


Abbildung 1 Typische Meßpunkte für die Durchstrahlungsprüfung an einem Plattenbalkensystem

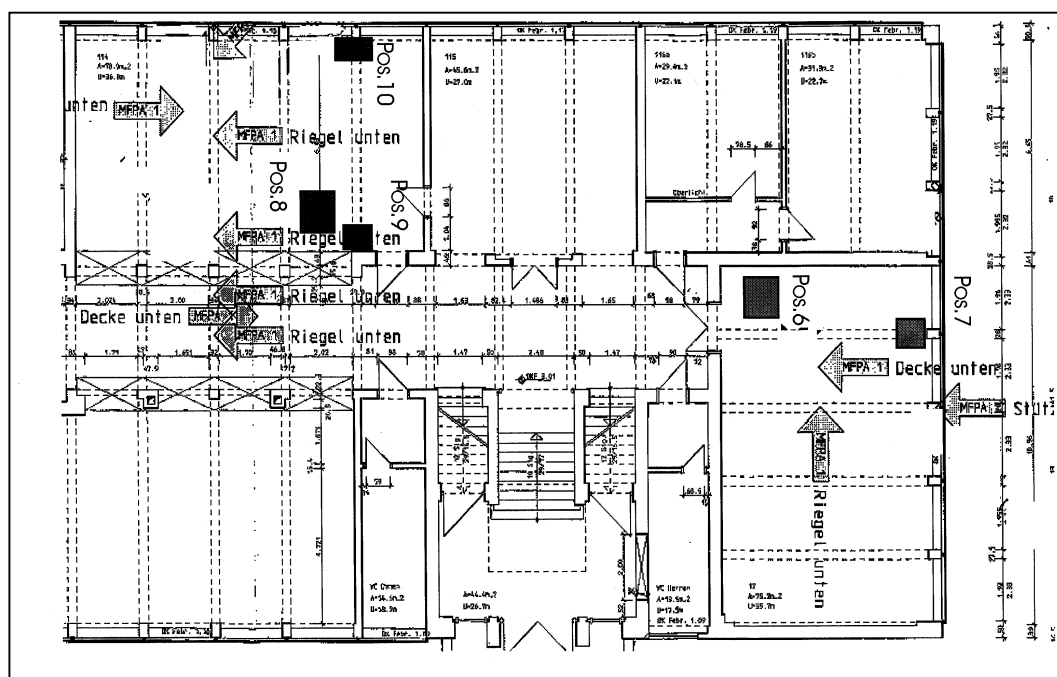


Abbildung 2 Auswahl von Positionen für Durchstrahlungsuntersuchungen am Beispiel des Fachhochschulgebäudes im Bauhaus Dessau

In Abbildung 3 ist das Prinzip der Durchmesserbestimmung und Betonüberdeckungsmessung dargestellt. Ein großer Abstand zwischen Strahlenquelle und Film reduziert die geometrischen Verzerrungen, vergrößert aber auch die Belichtungszeit (s. Glg.1). Häufig kann auf eine Doppelbelichtung zur Betonüberdeckungsmessung verzichtet werden, weil diese Information mit elektromagnetischen Verfahren schneller gewonnen werden kann.

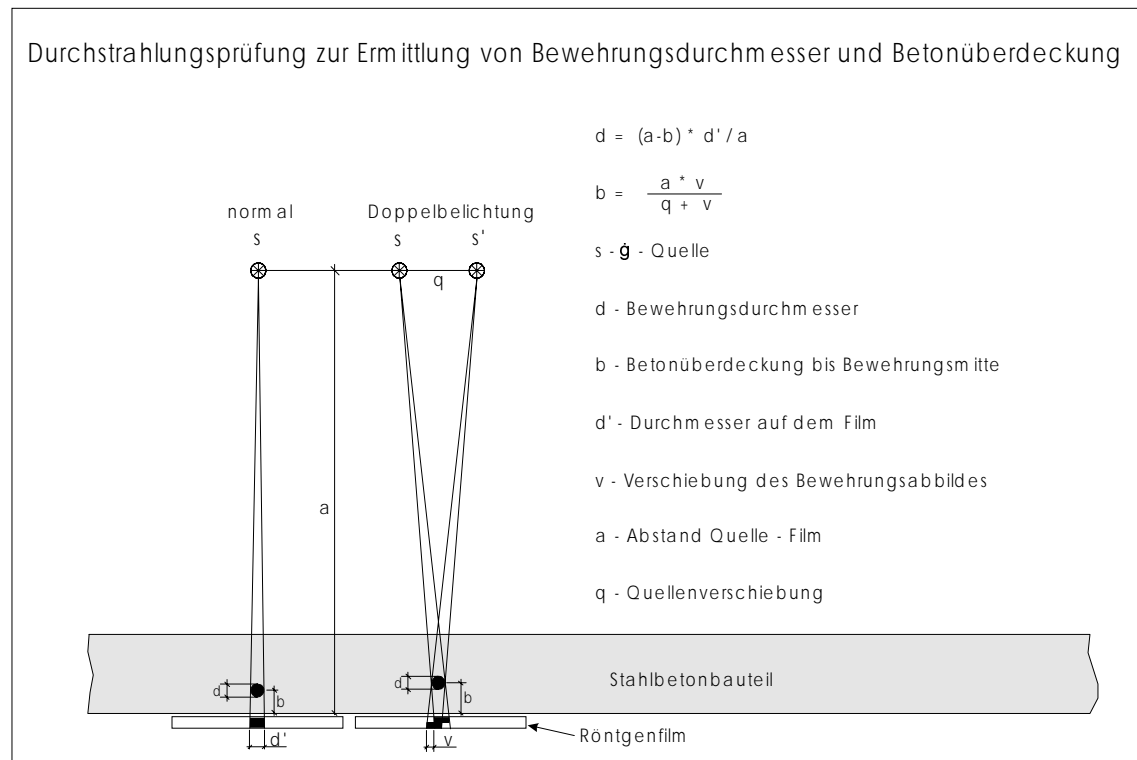


Abbildung 3 Ermittlung von Durchmesser und Betonüberdeckung der Bewehrung mittels Durchstrahlungsprüfung

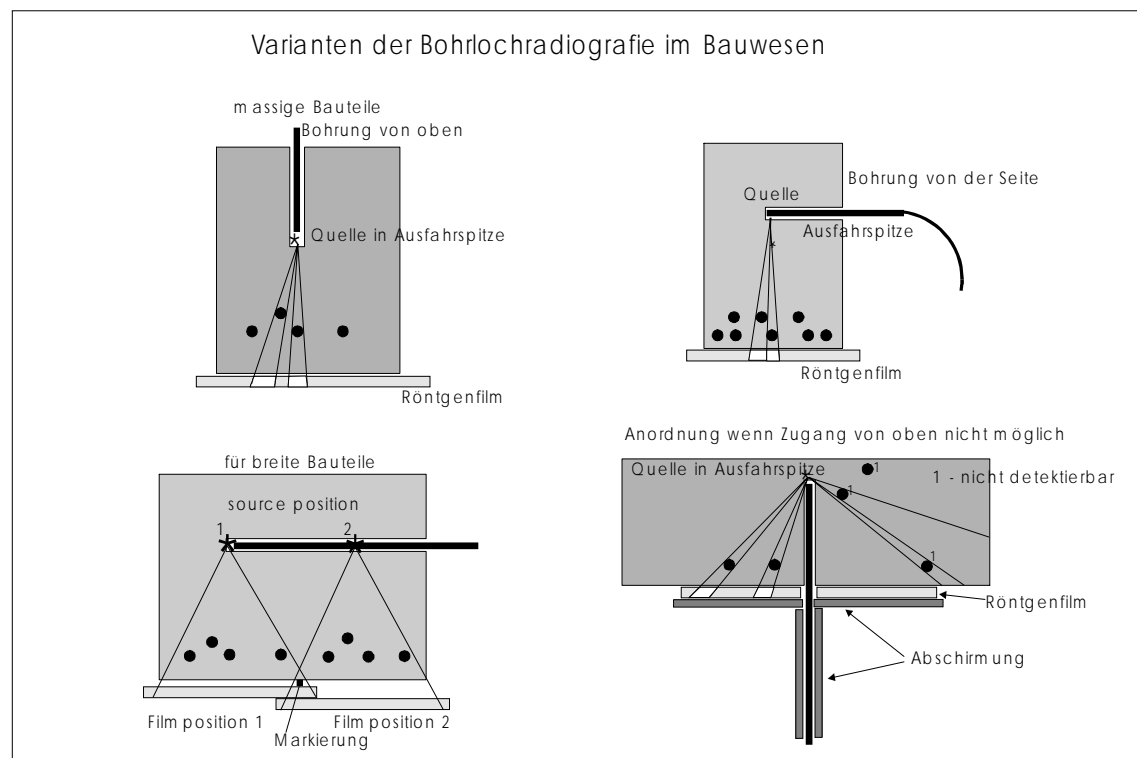


Abbildung 4 Möglichkeiten der Bohrlochradiografie

Da die maximal durchstrahlbare Betonstärke für Co-60 γ -Strahlung bei 50-60cm liegt, ist die Bohrlochradiografie eine Möglichkeit, den praktischen Anwendungsbereich der Durchstrahlungsprüfung erheblich zu erweitern. Als positiver Nebeneffekt verbessert die Abschirmwirkung des Betons die Strahlenschutzsituation.

Mit Kobalt-60 γ -Strahlung und hochempfindlichen Filmen (z.B. AGFA D8 + Structurix-Verstärkerfolien) werden Belichtungszeiten im Bereich von 5-15 min bei für die meisten Aufgaben ausreichenden Kontrasten erzielt.

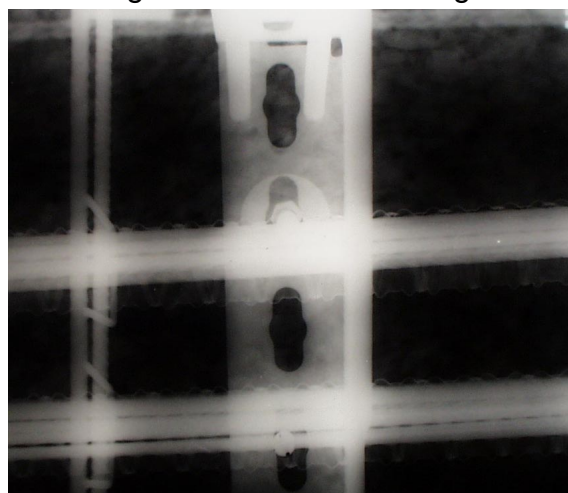
Der Einsatz von Röntgenstrahlung ergibt deutliche Kontrastverbesserungen, ist aber auf einen Betondickenbereich bis ca. 20cm begrenzt.

Neben dem Bewehrungsnachweis ergeben sich noch eine Reihe von anderen Anwendungen für die Durchstrahlungsprüfung. Es handelt sich dabei meist um Sonderprüfungen in Einzelfällen, für die jeweils angepasste Untersuchungskonzepte erarbeitet werden müssen. Als Beispiele seien die Untersuchung von Hüllrohren und Stahlbetonkonsolen genannt.

3.2 Verpreßzustand von Hüllrohren

Trotz großer Bemühungen in der Forschung muß noch generell festgestellt werden, daß diese Aufgabe zerstörungsfrei für die meisten praktischen Prüfsituationen nicht befriedigend lösbar ist.

Der Erfolg eines Verfahrens hängt stark von den geometrischen Randbedingungen ab.



Bei Betonstärken bis 20cm kann die Röntgendurchstrahlung mit gutem Erfolg zum Einsatz kommen. Für größere Betondicken wird das Verhältnis aus Primär- zu Streustrahlung sowie Materialdicke zu Fehlergröße zunehmend ungünstiger, so daß die Erfolgsaussichten meist gering sind. Abbildung 5 zeigt eine Röntgenaufnahme von einem Spannglied in einem 10 cm breiten Betonsteg. Die Aufgabe war hier weniger der Verpreßzustand, sondern der Nachweis einer möglichen Verletzung von Spanndrähten durch unsachgemäß angebrachte Metalldübel.

Abbildung 5 Röntgenaufnahme von zwei Spanngliedern

3.3 Schadensdiagnose

Bei der Diagnose offener oder möglicher verdeckter Mängel am Bauwerk sind die Prüfmethode stark von der Problemstellung im Einzelfall abhängig. Gute Dienste leistet die Durchstrahlungsprüfung z.B. bei der Kontrolle von Stahleinbauteilen, der Untersuchung von Konsolen z.B. bei unvorhergesehenen Ribbildungen. Bei der Ursachenforschung oder der Klärung von Haftungsansprüchen erweist sich die bildhafte Ergebnisdokumentation oft als Vorteil.

4. Strahlenschutz

Eine Besonderheit bei der Durchstrahlungsprüfung ist die Notwendigkeit der Beachtung des Strahlenschutzes mit der Einrichtung von Kontrollbereichen.

Grundsätzlich ist dabei von dem allgemeinen Strahlenschutzgrundsatz auszugehen, die Strahlenbelastung der Prüfer und der Bevölkerung so gering wie möglich zu halten.

Diese hängt von der Ortsdosisleistung und der Dauer der Exposition ab. Die Größe des Kontrollbereiches hängt von der Strahlerart, seiner Aktivität, der Strahlerposition und der Abschirmung ab. In DIN 54115 wird die Abschätzung von Kontrollbereichen geregelt. Bei einer Aktivität einer Co-60 γ -Strahlenquelle von 1100 GBq (30Ci) hat der

Kontrollbereich in Luft einen Radius von 100m. Bei der Bohrlochradiografie oder der Verwendung eines Kollimators (z.B. aus Wolfram) kann der Kontrollbereich im Hochbau meist auf die unmittelbar benachbarten Räume beschränkt werden.

Das Einrichten von Kontrollbereichen stellt in der Praxis bei der Verwendung von Co-60 γ -Strahlung manchmal ein organisatorisches Problem aber kein grundsätzliches Einsatzhindernis dar.

Einen Sonderfall stellen Durchstrahlungsuntersuchungen an öffentlichen Verkehrswegen dar, wo die Einhaltung der Kontrollbereichsgrenzen oft mit einer praktisch schwer realisierbaren Sperrung einer Fahrtrichtung verbunden ist. In derartigen Fällen kann in Rücksprache mit der Aufsichtsbehörde eine Passagedosis abgeschätzt werden. Diese Regelung trägt dem Umstand Rechnung, daß bei einem kurzzeitigen Aufenthalt in einem Bereich mit höherer Dosisleistung die aufgenommene Strahlendosis sehr gering bleibt.

Bei praktischen Prüfsituationen z. B. an Brücken liegen die Passagedosen auch in ungünstigen Fällen unter $10\mu\text{Sv}$. Zum Vergleich wird bei einer Toraxdurchstrahlung eine Dosis von ca. $1500\mu\text{Sv}$ aufgenommen.

Literatur

- /1/ E. Pohl
Kerntechnik im Bauwesen, Verlag für Bauwesen, Berlin 1970
- /2/ Merkblatt für die Durchstrahlungsprüfung von Stahlbeton und Spannbeton B1,
DGZfP 1990
- /7/ DIN 54115 Teil 1, Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung
umschlossener radioaktiver Stoffe