

Gütebewertung qualitativer Prüfaufgaben in der ZfPBau am Beispiel des Impulsradars

Sascha FEISTKORN, BAM Bundesanstalt für
Materialforschung und -prüfung, Berlin

Kurzfassung. Die zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen (ZfPBau) hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen, da die Möglichkeiten der ZfPBau mittlerweile Zugang in alltägliche praktische Fragestellungen gefunden haben.

Generell werden zerstörungsfreie Prüfverfahren hierbei in quantitative und qualitative Prüfaufgaben unterteilt. Um die zerstörungsfreien Prüfverfahren im Bauwesen sicher anwenden zu können, sind Angaben zur Genauigkeit bei quantitativen Prüfaufgaben und zur Leistungsfähigkeit bei qualitativen Prüfaufgaben unabdingbar.

Um die Leistungsfähigkeit von qualitativen Prüfaufgaben zu ermitteln, wird die Vorgehensweise der Probability of Detection (POD) auf die ZfPBau-Verfahren übertragen, so dass erstmals qualitative Prüfverfahren objektiv charakterisiert und bewertet werden können. Dies geschieht an der Prüfaufgabe „Ortung metallischer Reflektoren in Abhängigkeit ihrer Tiefenlage mit dem Impulsradar“.

Dazu wird im ersten Schritt mithilfe der statistischen Testtheorie nachgewiesen, dass eine Übertragung und Anwendung der POD für die objektive Bewertung dieser Prüfaufgabe zulässig ist.

Nach der Konzipierung und Fertigung von Testkörpern werden die Ergebnisse der POD(a)-Analyse dargestellt, die eine Charakterisierung und einen Vergleich unterschiedlicher Radarprüfsysteme anhand eines objektiv ermittelten Kennwerts ermöglichen. Dieser Kennwert wird als zuverlässige Detektionstiefe $a_{90/95}$ bezeichnet und kennzeichnet die Tiefenlage eines Reflektors, in der dieser mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% in 95 von 100 Untersuchungen zuverlässig detektiert werden kann.

Außerdem wird u.a. die Auswirkung der Änderung der Einflussgrößen Betonalter und Reflektordurchmesser auf die zuverlässige Detektionstiefe eines metallischen Reflektors quantifiziert und im Rahmen des Posterbeitrags vorgestellt.

S. Feistkorn

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

1. Aufgabenstellung

Gütekriterien werden in der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) benötigt, um die Kernaufgabe der ZfP - die Vermeidung von Schäden für Mensch und Umwelt - sicher und zuverlässig zu realisieren. In der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau) gibt es zur Zeit jedoch keine Methodik, um die Güte von qualitativen Prüfaufgaben objektiv bewerten zu können. Darum wird

die Vorgehensweise der POD (probability of detection) am Beispiel des Impulsradars zur Detektion metallischer Reflektoren in unterschiedlichen Tiefenlagen angewendet, um unterschiedliche Radarsysteme charakterisieren und miteinander vergleichen zu können sowie die Auswirkung verschiedener Randbedingungen auf die Lösbarkeit einer Prüfaufgabe zu erfassen.

2. POD(a)-Berechnung - „ \hat{a} vs. a“ Modell

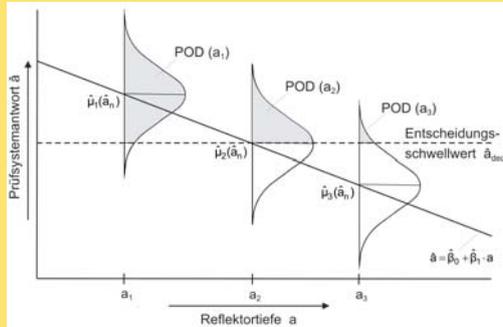


Abb. 1: POD(a)-Berechnung auf Basis des „ \hat{a} vs. a“ Modells; in Anlehnung an Berens: NDE Reliability Analysis

3. Übertragung der POD auf die ZfPBau

Die korrekte Anwendung der POD in der ZfPBau erfordert die Erfüllung von vier Kriterien im „ \hat{a} vs. a“ Modell, da eine Nichteinhaltung dieser zu falschen Ergebnissen führt. In Abb. 2 und 3 sind die Folgen der Verletzungen zweier Kriterien beispielhaft dargestellt. Deshalb wurden statistische Nachweise entwickelt, die die Gültigkeit der vier Kriterien belegen und zeigen, dass die Übertragung der POD auf die ZfPBau (Impulsradar) zulässig ist.

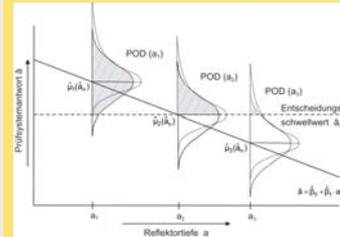


Abb. 2: nicht normalverteilte \hat{a} führen zu falschen Ergebnissen

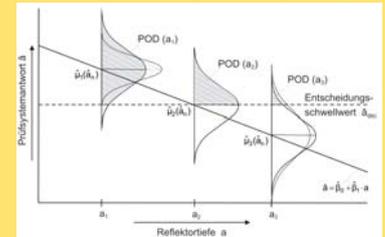


Abb. 3: nicht homogene Varianzen von \hat{a} führen zu falschen Ergebnissen

4. Konzeption von Testkörpern für die POD(a)-Analyse

Die vier konzipierten Testkörperpaare (s. Abb. 4 und 5) genügen vielfältigen Randbedingungen. Darum kann neben der Charakterisierung und dem Vergleich unterschiedlicher Radarsysteme die Auswirkung der Faktoren Hydratation, Stabdurchmesser, oberflächennahe Bewehrung und Größtkorn auf die zuverlässige Detektionstiefe $a_{90/95}$ metallischer Reflektoren untersucht werden.



Abb. 4: vier Testkörperpaare für die Anwendung der POD(a)-Analyse am Beispiel des Impulsradarverfahrens

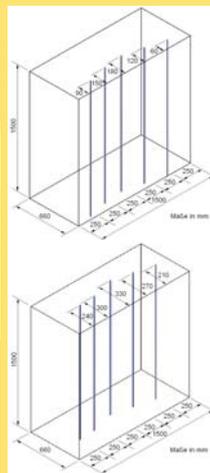


Abb. 5: Aufbau der Testkörperpaare

5. Charakterisierung eines Radarsystems

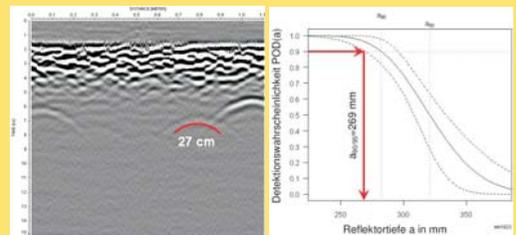


Abb. 6: Radargramm und POD(a)-Kurve des Systems C1; Betonalter 203 Tage; Reflektordurchmesser 28 mm

Die Charakterisierung eines Radarsystems wird anhand des Kennwerts $a_{90/95}$ der POD(a)-Kurve vorgenommen. Dieser Wert gibt die Tiefe an, in der ein metallischer Reflektor mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% in 95 von 100 Untersuchungen zuverlässig detektiert werden kann. Dieser Wert stellt sich auf Grundlage des gewählten Entscheidungsschwellwerts \hat{a}_{dec} als sinnvoll heraus, da er mit der visuell ermittelten Detektionstiefe übereinstimmt und diese weder unter- noch überschätzt. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der POD(a)-Analyse die Form der Hyperbel nicht zur Verfügung steht, die die subjektive Wahrnehmung maßgeblich beeinflusst.

6. Vergleich unterschiedlicher Radarsysteme

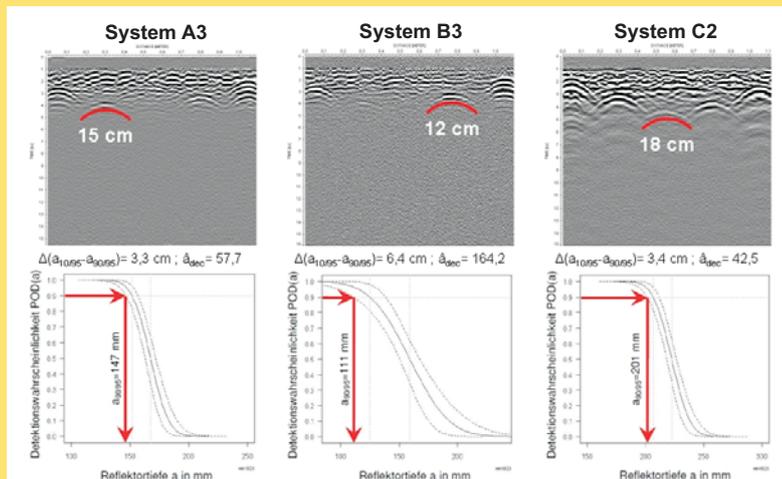


Abb. 7: Vergleich der Radarprüfsysteme A3, B3 und C2; Betonalter 203 Tage; Reflektordurchmesser 28 mm

Ein objektiver Vergleich unterschiedlicher Radarsysteme mit näherungsweise gleicher Antennenmittelfrequenz setzt voraus, dass sowohl der Zeitpunkt der Messdatenaufnahme als auch der untersuchte Testkörper identisch sind. Dann werden die Radarsysteme anhand des Kennwerts $a_{90/95}$, dem Entscheidungsschwellwert \hat{a}_{dec} sowie des Verlaufs der POD(a)-Kurve $\Delta(a_{10/95}-a_{90/95})$ miteinander verglichen. Diese drei Parameter beschreiben ein Radarsystem bezüglich seiner zuverlässigen Detektionstiefe ($a_{90/95}$), seines elektronischen Rauschens (\hat{a}_{dec}) sowie seiner Signal- zu Rauschverteilung $\Delta(a_{10/95}-a_{90/95})$ in einer bestimmten Reflektortiefe a . Hierbei kann der Kennwert $a_{90/95}$ der POD(a)-Kurve direkt, die Signal- zu Rauschverteilung $\Delta(a_{10/95}-a_{90/95})$ der POD(a)-Kurve indirekt (Steilheit der Kurve) entnommen werden.

7. Quantifizierung von Einflussgrößen

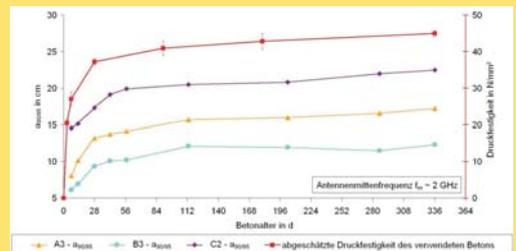


Abb. 8: Vergleich der Entwicklung der Hydratation mit der zuverlässigen Detektionstiefe $a_{90/95}$

Mit zunehmendem Betonalter nimmt aufgrund der chemischen Bindung freien Wassers die Dämpfung der elektromagnetischen Wellen ab, so dass die zuverlässige Detektionstiefe $a_{90/95}$ zunimmt.

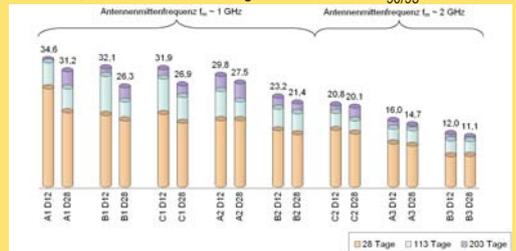


Abb. 9: Einfluss des Reflektordurchmessers auf die zuverlässige Detektionstiefe $a_{90/95}$

Unabhängig vom Radarsystem und dem Betonalter wird relativ unerwartet ein Reflektor mit einem Durchmesser von 12 mm in größeren Tiefen detektiert als ein Reflektor mit einem Durchmesser von 28 mm.