

Zuverlässigkeit radiografischer Prüfungen und Simulation

Carsten BELLON*, Andreas DERESCH*, Uwe EWERT*

* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin; Carsten.Bellon@bam.de

Kurzfassung

Im Rahmen des EU-Projektes PICASSO [1] wurde das von der BAM entwickelte Simulationsprogramm aRTist [2] für Zuverlässigkeitsuntersuchungen bei der Durchstrahlungsprüfung eingesetzt. Die zerstörungsfreie Prüfung sicherheitsrelevanter Komponenten in der Luftfahrt erfordert den Nachweis der Detektionswahrscheinlichkeit (POD) einer Prüfmethode für relevante Fehler. Simulationswerkzeuge können den Aufwand für entsprechend umfangreiche und zeitaufwendige Prüfserien durch Verringerung der Zahl notwendiger Experimente verringern. Neben der Entwicklung eines Konzepts für simulationsbasierte Zuverlässigkeitsbetrachtungen in der Durchstrahlungsprüfung wurde auch die Simulationssoftware entsprechend erweitert [3, 4]. aRTist bietet damit eine Benutzeroberfläche zur Planung und automatischen Durchführung wiederholter Durchstrahlungssimulationen mit veränderlichen Parametern und Fehlergrößen. Weiterhin wurde eine automatische Bewertung der Sichtbarkeit von Fehlern integriert. Anhand eines Fallbeispiels aus der Luftfahrtindustrie wird die Anwendung der Softwarewerkzeuge gezeigt.

Bei dem in aRTist umgesetzten Konzept für Ermittlung simulationsbasierter POD-Kurven reduziert sich der experimentelle Aufwand auf die Bestimmung der Bildqualität am betrachteten Durchstrahlungsaufbau mit intaktem Bauteil. Die Bereitstellung fehlerbehafteter Bauteile entfällt gänzlich. Die experimentell ermittelte Bildqualität wird im Simulationsprogramm für die entsprechende virtuelle Szene eingestellt.

Neben der Größenvariation virtueller Fehler besteht eine wesentliche Aufgabe bei der Planung der Simulationen in der Definition weiterer Parametervariationen, z.B. statistischer Natur, zur realistischen Berücksichtigung realer Unsicherheiten.

Die hier vorgestellte automatische Bewertung der Fehleranzeigen ist auf kleine, voluminöse Fehler beschränkt. Andere Anwendungen erfordern eine visuelle Bewertung der synthetischen Durchstrahlungsbilder. Insgesamt kann dieses Konzept zur Abschätzung der immanenten physikalischen Fähigkeiten eines Durchstrahlungssystems genutzt werden, andere die Zuverlässigkeit beeinflussende Aspekte, wie Umgebungsbedingungen oder menschliche Faktoren, bleiben unberücksichtigt.

[1] <http://www.picasso-ndt.eu>

[2] <http://artist.bam.de>

[3] C. Gollwitzer, C. Bellon, A. Deresch, U. Ewert, G.-R. Jaenisch, U. Zscherpel, Q. Mistral, 'Simulation supported POD for RT test case – concept and modelling', Review of progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Volume 31, AIP Conf. Proc. 1430, 605 (2012), DOI:10.1063/1.4716283

[3] C. Gollwitzer, C. Bellon, A. Deresch, G.-R. Jaenisch, H.-U. Baron, U. Ewert, 'Reliability Investigations of Radiographic Testing Using aRTist as a Simulation Tool', Proc. of 18th World Conference on Nondestructive Testing, Durban, South Africa, April 2012



Zuverlässigkeit radiografischer Prüfungen und Simulation

C. Bellon, A. Deresch, U. Ewert

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Durchstrahlungssimulation

aRTist ist ein praktisches Simulationswerkzeug zur Erzeugung realistischer Radiographien von virtuellen Durchstrahlungsaufbauten. Die physikalischen Modelle der Strahlungserzeugung und -detektion ermöglichen quantitative Simulationsergebnisse. Mit der optimierten Raytracing-Einheit werden interaktive Bildraten erzielt, die eine Live-Vorschau ermöglichen. Die Einbindung des Monte-Carlo-Programms McRay komplettiert das Streustrahlenmodell.

Weitere Stichworte: Multi-Core-/GPU-Processing, Multisampling, 64-Bit, intuitive Benutzeroberfläche mit 3D-Visualisierung, Maus-Interaktion, Undo-/Redo-Funktionalität.

Zuverlässigkeitsuntersuchungen

Das Modul SimuPOD unterstützt die Simulation von POD-Daten (probability of detection). Erforderlich dafür ist eine Durchstrahlungsszene mit Modellfehlern. Diese werden markiert und Variationen von Parametern definiert. Die Variationen reichen von geometrischen Transformationen der Fehlergröße bis zu zufallsbedingten Parameteränderungen. Entsprechend können somit reale Unwägbarkeiten bei der Simulation berücksichtigt werden. Nach Ausführung der entsprechenden Serie von Simulationen wird die Sichtbarkeit der Modellfehler in den Bildern automatisch bewertet. Ein interaktives Analysemodul übernimmt dann die $\hat{a}$ -über- α -Berechnung und stellt die resultierende $POD(\hat{a})$ -Kurve dar.

Simulation Supported Probability of Detection (POD)

Im Rahmen des EU-Projektes PICASSO (2009-2012) wurden Konzepte für simulationsbasierte POD-Kurven entwickelt. Die Computersimulation von ZfP-Systemen übernimmt hierbei, neben der notwendigen experimentellen Basis, eine wesentliche Rolle.



<http://www.picasso-ndt.eu>

Konzept einer „Simulation Supported POD“ für die Durchstrahlungsprüfung

Experiment

- Bestimmung der Bildqualität für das (fehlerfreie) Prüfobjekt (SNR, μ_{eff}, SR_b)

- Manuelle Bestimmung der Sichtbarkeitsgrenze im synthetischen Bild

- Berechnung der POD

Simulation

- Anpassung der Simulation zur Einstellung der gleichen Bildqualität

- Simulationen mit Modellfehlern

- Automatische Bewertung der Anzeigen (Model Observer)



Simulationsserien

- Simulation von Fehlern unterschiedlicher Größe
- zusätzliche Variationen bilden reale Unsicherheiten ab
- Automatische Simulationsläufe

Beispiel-Fehlervariation:



Modell-Observer

fehlerfreies Bild

Fehlerkarte

Durchstrahlungsbild

$$\alpha \cdot \text{fehlerfreies Bild} + \beta \cdot \text{Fehlerkarte} = \text{Durchstrahlungsbild}$$

- Berechnung von α und β mittels linearer Regression

- Z-Test gibt Signifikanz der Fehlerabbildung an: $\hat{a} = \frac{\beta}{\sigma_{\beta}}$

Bildqualität

- Unschärfe
- Bildrauschen
- Durchmesser
- Kontrast
- ...

detektorspezifisch

bauteilspezifisch

Nachweis der Bildqualität

essentielle Parameter

SNR Signal-Rausch-Verhältnis
 μ_{eff} spezifischer Kontrast, effektiver Schwächungskoeffizient
 SR_b effektive Pixelgröße im Bild, Basic Spatial Resolution

Fallbeispiel: Turbinenschaufel (PICASSO)

- Radiografie an einkristallinen Turbinenschaufeln
- Nachweis von Poren ab 0,25 mm $\varnothing$ im Fußbereich; Wanddicken: 4 - 8 mm Nickel-Basis-Legierung
- Durchstrahlung: Röntgenspannung 220kV, Film D4
- Variationen:
 - Porengrößen von 0,15 bis 0,75 mm
 - zufällige Lageänderungen der Pore ± 2 mm

