

Bewertung Zerstörungsfreier Prüfsysteme auf der Basis realer Materialfehler durch Einsatz der Bayes'schen Statistik

Daniel KANZLER*, Uwe EWERT*, Christina MÜLLER*, Jorma PITKÄNEN**

* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

** Posiva Oy

Kurzfassung

Zum jetzigen Zeitpunkt werden die Bewertungen der Zuverlässigkeit für zerstörungsfreie Prüfsysteme hauptsächlich mit künstlichen oder Referenzfehlern durchgeführt. Es ist allgemein bekannt, dass künstliche Fehler eine Aussage über die grundsätzliche Zuverlässigkeit des Prüfsystems für die Prüfaufgabe zulassen, jedoch das wahre Verhalten bei realen Fehlern nicht genau damit übereinstimmt. Trotz oft geringer realer Datenmengen soll eine statistisch korrekte Bewertung mit Hilfe der POD unter Berücksichtigung der vorhergegangenen Bewertung mit künstlichen oder Referenzfehlern ermöglicht werden. Als mathematisches Werkzeug soll dafür die Bayes'sche Statistik dienen, die realen und künstlichen Datenmengen korrekt miteinander kombiniert. Als Datengrundlage liegen Radiographiedaten vor. Dabei bilden die künstlichen Referenzfehler ein Vorwissen, während die realistischen Fehler die eigentliche Grundlage der POD-Bewertung sind. Praktisch angewandt und erprobt wird diese Vorgehensweise mit der Firma POSIVA, die sich mit dem Bau eines Endlagers für hoch radioaktiven Abfall in Finnland und Schweden beschäftigt. Hierbei wird als eine der technischen Barrieren ein Kupferbehälter für die Aufbewahrung der verbrauchten Brennstäbe genutzt, der den Inhalt vor Korrosion schützt. Dieser Kupferbehälter wird mit mehreren zerstörungsfreien Prüfmethoden geprüft. Die radiographische Prüfung ist dabei ein wichtiges Mittel kritische voluminöse Fehler innerhalb der Schweißnaht zu finden.



POD auf Basis von realen Fehlern durch die Bayessche Statistik

D. Kanzler, C. Müller, U. Ewert (BAM, Berlin) und J. Pitkänen (Posiva, Eurajoki, Finnland)

Ist eine POD mit realen Fehlern möglich?

Die Anforderungen einer Signal-Antwort POD sind:

- mind. 40 Datenwerte
=> Fehlergrößenverteilung zw. 5% und 95% POD
- vernachlässigbare Messfehler bei der wahren Fehlerdimension
=> reale Fehler: Metallographie

Die Bewertung einer POD bei der Produktionsprüfung mit realen Fehlern ist nach dem konventionellen Verfahren von Berens nicht sinnvoll!

Lösung: POD-Ansatz mit Bayes

Bayessche Aktualisierung kombiniert zwei Quellen von Informationen:

$$\text{Posterior} \propto \text{Likelihood} \times \text{Prior}$$

In unserem Fall der Parameterschätzung für die POD ergibt sich folgende Gleichung:

$$\text{POD-Parameter} \propto \begin{matrix} \text{Schätzung durch} \\ \text{Experimente mit} \\ \text{realen Fehlern} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{Schätzung durch} \\ \text{Vorwissen} \end{matrix}$$

Arten von Vorwissen:

- vorherige Experimente (z.B. mit künstl. Fehlern)
- Expertenmeinungen und Wissen
- Laboregebnisse
- Modellierung

Das Resultat ist eine Schätzung von Parametern der POD im 3-D Raum.

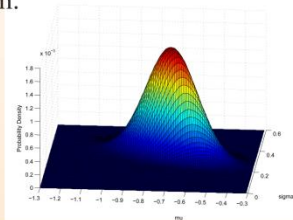


Bild 1: Die bivariate Verteilung der POD-Parameter μ und σ

Ergebnisse bei der radiographischen Prüfung von Schweißnähten in Kupferbehältern für die Endlagerung radioaktiver Abfälle

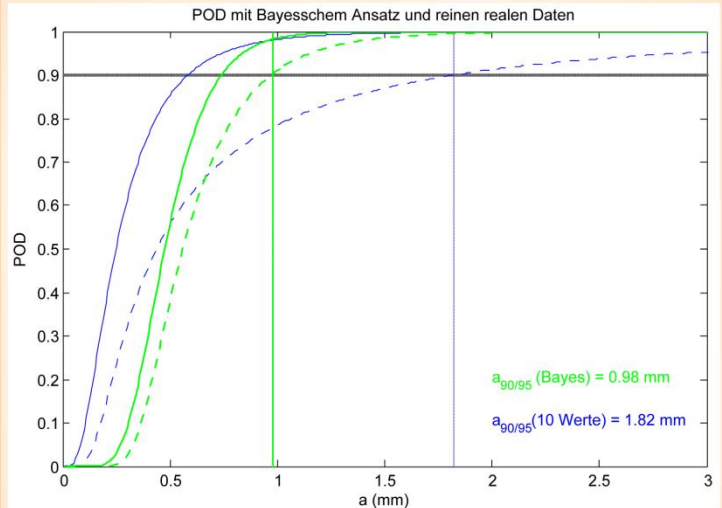


Bild 2: Die blaue Kurve bezieht sich auf 10 einzelne reale Fehler. Das ist eine sehr zweifelhafte Grundmenge für die POD. Die grüne Kurve ist das Gesamtergebnis aus dem Bayesschen Ansatz.

Hinweis: In der grünen Kurve wurden die Verteilungsparameter für die POD-Funktion mit Hilfe der Bayesschen Aktualisierung abgeschätzt. Durch die zwei Informationsquellen aus Prüfungen mit realen und künstlichen Fehlern erhöhte sich die Datenmenge. Dies hat zur Folge, dass ein kleineres Vertrauensband entsteht.

Ergebnis: Obwohl die blaue POD-Kurve besser liegt, ist der aussagekräftige $a_{90/95}$ des Bayesansatzes deutlich besser (schmaleres Vertrauensband).

Schlussfolgerung:

Eine Bewertung mit Hilfe der POD auf Basis von realen Fehlern in der zerstörungsfreien Produktionsprüfung ist mit komplexeren mathematischen Ansätzen wie der Bayesschen Aktualisierung möglich.

Die Bewertung von Prüfsystemen mit dem Bayesschen Ansatz ist [Press1989]:

- „konzeptionell einfach“
- „intuitiv und plausibel“
- „mathematisch elegant“.

Jedoch bedarf die numerische Umsetzung besonderer Sorgfalt.

Eine unabhängige Bewertung mit einer Vielzahl von Fehlern unterstützt das Ergebnis des Bayesschen Ansatzes.

Literatur:

Berens, A.P.: *NDE reliability data analysis*. Metals Handbook (9th edn), ASM Int, Vol. 17, 1989, 689–701.

Press, S. J.: *Bayesian statistics: principles, models, and applications*. New York: Wiley, 1989.

Kanzler, D.; Müller, C; Ewert, U; Pitkänen J.: *Einsatz der Bayes'schen Statistik in der Zuverlässigkeitsbestimmung von zerstörungsfreien Prüfsystemen*. Materials Testing, Vol. 55, 2013, 254-260.

