

Zukünftige Möglichkeiten und Pflichten der zerstörungsfreien Prüfung

Daniel KANZLER¹, Mato PAVLOVIC², Marija BERTOVIĆ²

¹ Applied Validation of NDT, Berlin

² BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Kontakt E-Mail: KanzlerD@av-ndt.com

Kurzfassung. In unserer heutigen Zeit werden die Zwischenräume innerhalb der einzelnen Abteilungen eines Betriebs und zwischen einzelnen nationalen oder globalen Akteuren immer wichtiger: Produzierbarkeit vs. Wirtschaftlichkeit, Fortschritt vs. Nachhaltigkeit. Auch die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) – bisher hauptsächlich als Endkontrolle oder Wartungselement wahrgenommen – kann und sollte im Wandel der Digitalisierung und Industrie 4.0 einen neuen Stellenwert erhalten.

Die ZfP kann schon während der Konstruktion helfen, sichere und zuverlässige Produkte zu erstellen. Jedoch müssen dafür eine adäquate Informationskultur und die notwendigen Kennzahlen vorhanden sein. Objektive, probabilistische Kennzahlen (wie die POD - Auffindwahrscheinlichkeit) sind hierbei der Schlüssel. Diese müssen jedoch unbedingt an Prüfverfahren, Prüfgegenstand und Prüfbedingung angepasst werden, da sonst die gesamte Aussage in Frage zu stellen ist.

Im Vortrag werden Beispiele aus der Anwendung gezeigt, die die Aussagekraft der Kennzahl aber auch die Sorgfalt, mit denen die einzelnen Aussagen genutzt werden, unterstrichen werden soll. Bewertung von Daten von realen Fehler, Anpassung an die Bruchfestigkeit und die Betrachtung von mehreren Prüfparametern am Beispiel der Bewertung von radiographischen, Ultraschall- und Wirbelstromprüfung werden in dem Vortrag gezeigt.

Einführung

Der moderne Mensch hängt, wie nie zu vor, an seiner Mobilität. Flugzeug, Automobil, Eisenbahnverkehr erleben fast jedes Jahr einen neuen Höhepunkt in der Anzahl von bewegten Passagieren oder zurückgelegten Kilometer. Gleichzeitig dazu gibt es den positiven Gegentrend bei Verschmutzung der Luft und bei Unfallopfern und Verletzten [1]. Die Verkehrsmittel werden leistungsfähiger während sie gleichzeitig sicherer und umweltschonender sind.

Neue Materialien und Herstellungsverfahren aber auch den Einsatz von Prüfsystemen gewährleisten diesen Trend. Gleichzeitig stellen neuere leichtere und leistungsfähigere Materialien und deren Einsatz größere Anforderungen an die zerstörungsfreie Prüfung im Vergleich zum bisher Bekannten. „Know-How“ geht verloren durch Ausscheiden erfahrener Kollegen und neue Materialien und Herstellungsverfahren begrenzen die Nutzung bekannten Erfahrungswissen (z.B. die im Vergleich Metall vs. glasfaserverstärkte Kunststoffe). Gleichzeitig ist durch die Digitalisierung und der Wandel der Technik in den nächsten Jahrzehnten ganz neue Produktionsprozesse denkbar. Doch hierfür sind Werkzeuge notwendig, die von den betroffenen Personen verstanden werden können und die objektiv



die Nutzbarkeit und Fähigkeit der Prüfsysteme bewerten kann und anderen Interessierten zur Verfügung stellen kann (z.B. Konstruktion). Dieser Trend ist nicht nur begrenzt auf die Mobilität, sondern spiegelt sich in vielen Bereichen der Technik wider. Dieser Artikel beschäftigt sich mit den Möglichkeiten intensiver und zeigt Ansätze auf, die in der Zukunft noch wichtiger werden.

1. Einfluss moderner Trends auf die ZfP

Nachhaltigkeit: ein Begriff, der immer im Zusammenhang mit zukünftigen Zielen und Ausrichtungen steht. Doch was steht hinter dem Begriff? Hoher wirtschaftlicher Nutzen bei gegebenen Gütern (Effizienz), Erhaltung der Natur und soziale Gerechtigkeit sind alles Dimensionen der Nachhaltigkeit [2]. Für den Verkehr bedeuten die ersten zwei Punkte besonders, dass leichteres, leistungsfähigeres Material eingesetzt werden muss. Der Trend in der Luftfahrt zu Glasfaser verstärkten Kunststoffen ist ein Beispiel.

Doch dieser Trend muss auch von den Prüfverfahren unterstützt werden. Nur wenn zugesichert werden kann, dass die Materialien die Anforderungen des täglichen Einsatzes standhalten können, kann auch die Sicherheit der Passagiere gewährleistet werden. Der Hersteller möchte eine objektive Einschätzung der Fähigkeit vor ihrem Einsatz vorliegen haben, um auf diesen Fakten entscheiden zu können, welche Verfahren ihm die optimale ökonomische Balance zwischen Kosten, Prüfzeit und Prüfqualität bieten kann. Besonders unterstützt durch die vorliegenden Daten des Trends zur Digitalisierung ist es theoretisch möglich. Doch leider gibt es noch an vielen Stellen Aufholbedarf. Während die probabilistischen Verfahren für die Fähigkeitsbewertung zwar schon in der Wissenschaft entwickelt und verifiziert wurden, gibt es nur wenige Bereiche (z.B. Luft- Raumfahrt, Petroindustrie, Eisenbahnverkehr) in dem die Verfahren eingesetzt werden.

Doch woran liegt das? Ein Grund hierfür ist, dass die Aussagekraft der Bewertung teilweise noch nicht überall durchgedrungen ist. Selten sind Beteiligte betraut mit den Informationen, die die jeweilige Bewertung zu bietet hat. POD (Probability of Detection) und ROC (Receiver Operating Characteristic)-Graphen, die ZfP-Verfahren bewerten sind ohne Vorkenntnisse kaum zu deuten. Selbst die zahlreichen Alternativen von Bewertungsverfahren und ihre Komplexität geben kaum die Möglichkeit sich einen Überblick über alle Verfahren zu verschaffen, bevor eines davon ausgewählt werden kann, während man noch im Nebenbei den Alltagsjob meistert. Einige Dienstleistungsanbieter offerieren die komplexe, vollständige Bewertung von Prüfsystemen. Diese sind jedoch meist tätig in Anwendung, die besonders kritisch sind oder die einen hohen politischen Einfluss haben. Eine einfache Lösung für den Großteil der Anwendungen ist meist nicht zu finden. Dies soll in naher Zukunft geändert werden.

2. Einfluss moderner Trends auf die ZfP

Für den Einsatz einer aussagekräftigen Bewertung muss jedoch klarwerden, welche Vorteile die Nutzung der Verfahren mit sich bringt. Wesentliche Gründe für die Umsetzung von Bewertungsverfahren sind folgende:

- Objektive Bewertung von Verfahren in Gebieten mit wenig Erfahrung
- Sachliche Diskussion zur Optimierung der eingesetzten Kosten
- Vergleichbare Fähigkeitsbewertung für unterschiedliche Verfahren, zugeschnitten auf die jeweilige Prüfaufgabe
- Juristische Absicherung mit Verfahren, die jenseits der Normen und somit des Stands der Technik liegen

Beispielhaft, soll auf einzelne Vorteile näher eingegangen werden.

Objektive Bewertung von Verfahren

Besonders bei der Prüfung von neuen Herstellungsverfahren oder modernen Materialien sind häufig nicht die benötigte Erfahrung für eine Fähigkeitsbewertung zugänglich. Während bei der üblichen Schweißnahtprüfung von Stahlrohren oder bei der Gußteileprüfung, die Verfahren schon in der Ausbildung vertieft werden. Stellen neuen Verfahren oder Materialien alle Beteiligte der Prüfung von neue Aufgaben. Wie kann ein Verfahren objektiv gewählt werden, wenn bisher keine Erfahrung in der Firma gesammelt worden ist. Kann man sich auf den Leistungskatalog des Prüfgeräteherstellers verlassen, oder muss erst eine Vielzahl von wissenschaftlichen Abhandlungen gegengelesen werden, bis eine Erfahrung entsteht, die jedoch nicht exakt zur Prüfsituation passt? Relative kurze optimierte Versuchsplanungen zur Erstellung der adäquaten Bewertung helfen für den vorliegen Fall, die gewollte Antwort finden zu können.

Optimierung der eingesetzten Kosten

Jedes Prüfverfahren besitzt die Eigenschaft eine Fehlalarmentscheidung zu unterstützen. Zusätzlich zu den sowieso anfallenden Prüfkosten, können Fehlalarmentscheidungen zu einem Vertrauensverlust in das Verfahren oder zu erhöhten Entsorgungskosten führen. Gleichzeitig können kritische Defekte, die im Prüfprozess nicht gefunden wurden, zum Ausfall des Bauteils im späteren Einsatz führen. Je nach der Prüfung können jedoch Prüfparameter Einfluss auf die Anzahl der Fehlalarme oder der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit haben. Gleichzeitig kann dies jedoch Einfluss auf die Kosten haben. Man befindet sich damit in dem magischen Dreieck des ZfP-Managements (Abb. 1).

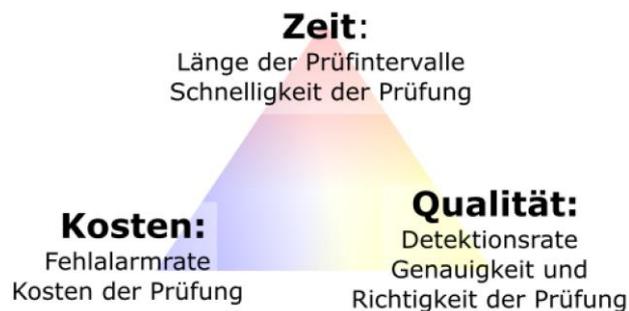


Abb. 1. Magisches Dreieck des ZfP-Managements: Zusammenhang zwischen Zeit, Kosten und Qualität

Der optimierte Arbeitspunkt ist abhängig vom Verfahren, Material, zu findender Fehler und weiteren Einflussgrößen. Eine konkrete Aussage über den optimierten Punkt kann nur innerhalb einer Versuchsreihe mit Hilfe von probabilistischen Bewertungswerkzeugen erzielt werden.

Optimierung der eingesetzten Kosten

Immer mehr staatliche [2] und private Organe (z.B. Versicherungen [3]) nutzen probabilistische Bewertung, um den Einsatz von Prüfverfahren objektiv abschätzen zu können. Mit Hilfe der Digitalisierung ist es weiterhin möglich ganze Rohrleitungssysteme oder große Flächen mit prognostizierten Ausfallwahrscheinlichkeiten zu versehen, um die Gewährleistung des Betriebs von ganzen Betriebsstätten sicher zu stellen. Da es im Moment auch noch kein standardisiertes Vorgehen für probabilistische Bewertung gibt, werden die

Verfahren nicht als Stand der Technik angesehen. Dadurch ist der Schritt zu diesen Verfahren eine zusätzliche Absicherung, die sogar noch über die bekannten Normen hinausgeht, und somit besonders für den Einsatz der ZfP in kritischen Anwendungen wichtig sein kann.

Die Vorteile scheinen vorlockend, jedoch müssen hierfür grundlegende Fähigkeit und Informationen eingeholt werden und diese auf wissenschaftlich korrekte Weise zu einem Ergebnis zusammengeführt werden. Wird von dem wissenschaftlich fundierten Vorgehen abgerückt, so droht im schlechtesten Fall eine komplette Fehlaussage (Unter- oder Überbewertung des Systems) und die Mühe und Kosten sind hinfällig. Hierbei ein weiterer Aufruf die Analyse in die Hände von externen, objektiven Begutachter zu geben, die die Rolle eines Auditors übernehmen können und sollen. Die wichtigsten Punkte, auf die eine Fokus innerhalb der Bewertung gelegt werden muss, sind wie folgt:

- Korrekte Auswahl des Bewertungsansatzes zur Lösung der interessierten Fragestellung
- Korrekt geplant und durchgeführte Versuchsplanung
- Passende Auswahl und Verifikation von statischen Modellen
- Richtige Berechnung der probabilistischen Kennzahlen
- Adäquate Diskussion und objektive Beurteilung der Ergebnisse
- Professionelle Zusammenfassung und Dokumentation

3. Konkrete Durchführung der Bewertung

Die Konkretisierung der Fragestellung und die darauffolgende Auswahl des Bewertungsansatzes sind wesentliche Bestandteile der eigentlichen Versuchsplanung für die Bewertung. Sie sollen dennoch ganz implizit hier angesprochen werden. Da es verschiedene Aussagen gibt, die eine Bewertungsanalyse erzielen kann. Liegt der Fokus auf der Detektierbarkeit von Defekten und es soll eine Abschätzung von Defektgrößen erzielt werden, so soll die Probability of Detection (POD [4]) zu Rate gezogen werden. Stehen jedoch auch ökonomische Ziele, wie die Optimierung hinsichtlich der Fehlalarmrate im Zentrum der Bewertung so, gibt die häufig vernachlässigte Receiver Operating Charakteristik (ROC [5]) eine sinnvolle Aussage. Auch die Arten von Daten (bisherige Erfahrung, vorhandene Computersimulationen, Referenzprüfungsergebnisse, usw.) helfen die Bewertungen weitergehend zu unterstützen. Hier stellt sich eher die Frage, inwieweit alle Informationen in die Bewertung eingeführt werden können. Ein typisches Problem der Digitalisierung, dass häufig auch mit dem Begriff „*Big Data*“ umrissen wird.

Die korrekte Versuchsplanung ist häufig eine Fragestellung, die einiges an Erfahrung fordert. Häufig führen Bewertung zu unzureichenden Ergebnissen, da zu viele Einflussgrößen aus den Augen verloren wurden (siehe modulares Modell). Obwohl dies mit erfahrenen Experten nicht ausgeschlossen ist, da es kein standardisiertes Vorgehen gibt, so ist der Wissensgewinn mit einer gut-geplanten Versuchsplanung dennoch deutlich größer.

Auch die statistischen Modelle stellen immer wieder eine Herausforderung für Ingenieure dar. Häufig reichen das grundlegende Wissen aus der Schulzeit und Universitätszeit nicht mehr aus, passende Modelle zu finden und diese anhand der Daten zu erfassen. Da der Bereich der Statistik sehr umfangreich ist und komplex sein kann, ist teilweise notwendig die Hilfe eines Statistikers einzuholen.

Sind diese Schritte getan, braucht es für die richtige Berechnung nur wenig. Viele Softwareprogramme bieten Möglichkeiten probabilistische Bewertung durchführen zu können und handelsübliche Programme existieren, die direkt auf die Bewertung von zerstörungsfreien Prüfsystemen zugeschnitten sind.¹

¹ Bei Fragen, bitte direkt den Autor kontaktieren.

4. Weitere Nutzung der vorhandenen Daten

Liegen nun direkt Ergebnisse, beispielsweise mit Hilfe der ROC-Analyse (Abb. 2) vor. So können müssen diese Daten wiederum an anderer Stelle weitergegeben werden.

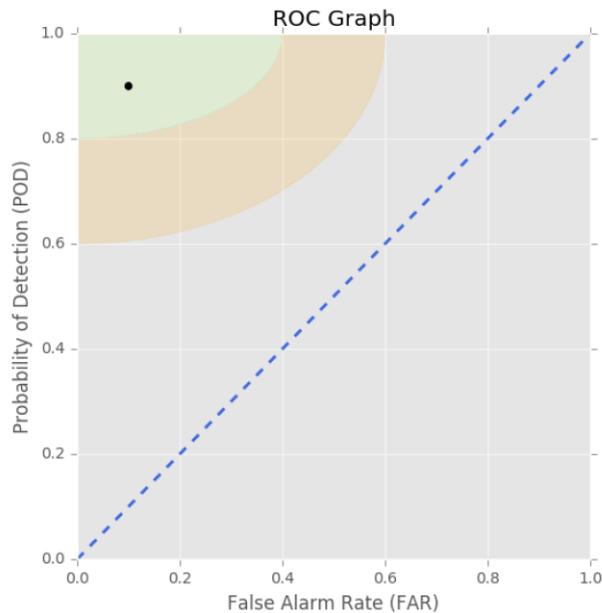


Abb. 2. Beispiel für die Arbeitspunktbestimmung eines ZiP-Systems mit Hilfe der ROC: Beispiel für einen Arbeitspunkt als schwarzer Punkt in eine ROC-Graph innerhalb des festgelegten OK (grün) Bereichs

Vergleiche von Prüfsystemen sollen in der Dokumentation abgelegt werden, um die Auswahl von Prüfverfahren transparenter zu gestalten und zukünftigen Bewertungen den Weg zu erleichtern. So kann beispielsweise mit der Volumen-POD verschiedene Prüfsysteme und Bauteile visuell zu Bereichen zusammengeführt werden, die zeigen ob das Bauteil vollständig ausreichend geprüft wird (Abb. 3).

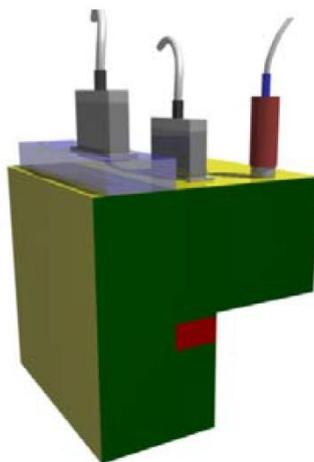


Abb. 3. Volumenhafte POD-Bewertung von verschiedenen Verfahren zur Bestimmung kritischer Stellen im Bauteil [6]

Detektionsgrenzen und bauteilspezifische Prüfbarkeitsanalysen müssen den Weg zurück zur Konstruktion finden, um hier ein prüfbares und sicheres Bauteil zu erreichen.

Jedoch sind dies nur zwei Beispiele von Vorteilen, die diese Daten im Weiteren erreichen können. Abhängig von der Fragestellung der Bewertungen und der politischen Ziele innerhalb einer Firma sind hier viele Einsatzmöglichkeiten vorhanden.

Ausblick

Neue Anforderungen werden die Zukunft der zerstörungsfreien Prüfung und deren Bewertung stark beeinflussen. Obwohl der Wandel viel Arbeit und Mühe fordert, so ist es auch möglich, dass die ZfP sich vom Sündenbock zu einem wichtigen Entscheidungsmittel entwickeln kann, das die Nachhaltigkeit von Produkten nicht nur steigert, sondern diese überhaupt erst ermöglicht.

Die Werkzeuge, die Daten zu nutzen und auf sinnvoller Art und Weise zu bewerten, sind gegeben. Die eigentliche Aufgabe ist die Einführung der Bewertung in die Betriebe, was auf der Führungsebene aber auch großes Wissen, an verschiedenen Stellen, der Bewertenden fordert. Ein Ziel für die Zukunft ist es eine Dienstleistung anzubieten, die sowohl das Management bzgl. der Aussagekraft der Kennzahlen, aber auch dem technischen Personal mit statistischen Fragen unterstützen kann. An einigen Stellen wurde daher schon der „statistical engineer“ gefordert [7], der sowohl das statistische Wissen als auch die Kenntnisse im Ingenieurwesen miteinander verbindet.

Danksagung

Eine besondere Anerkennung für die vor kurzem verstorbene Dr. Christina Zanotelli (geb. Müller), die starken Einfluss auf den Bereich der Zuverlässigkeit von ZfP-Verfahren hatte.

Referenzen

- [1] W. Streichele, „Zahlen, Fakten, Wissen,“ in *www.adac.de/statistiken*, München, 2016.
- [2] Svensk Kärnbränslehantering AB, „Design, production and initial state of the canister,“ 2016.
- [3] Det Norske Veritas, „DNV_RP-F118: Pipe Girth Weld Aut System Qualification And Project Specific Procedure Validation,“ 2010.
- [4] A. P. Berens und P. W. Hovey, „. "Statistical methods for estimating crack detection probabilities." Probabilistic Fracture Mechanics and Fatigue Methods: Applications for Structural Design and Maintenance,“ 1983.
- [5] T. Wickens, Elementary signal detection theory, Oxford University Press, 2002.
- [6] M. Pavlovic, C. Müller und C. Boller, „The Volume POD as an Optimisation Tool of Multiple NDT Inspections of Complex Geometries,“ in *International Symposium on NDT in Aerospace*, Hamburg, 2010.
- [7] W. Rummel, „A Path Forward for NDE Reliability,“ in *5th European-American Workshop on Reliability of NDE*, Berlin, 2013.
- [8] B. Siebenhüner, Homo sutinens, Marburg, 2001.