

Die deutschen Bestrebungen zur Normierung der Fähigkeits- und Zuverlässigkeitsbewertung der zerstörungsfreien Prüfung

Daniel KANZLER¹, Marija BERTOVIĆ², Florian Dethof³, Thomas HECKEL²,
Anne JÜNGERT⁴, Sylvia KEßLER³, Vamsi Krishna RENTALA¹, Martina Rosenthal²,
Ricada Stolz³, Johannes VRANA⁵

¹ Applied Validation of NDT, Berlin

² Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung, Berlin

³ Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg

⁴ Materialprüfanstalt, Stuttgart

⁵ Vrana GmbH, Rimsting

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

Kurzfassung. Seit 1999 existiert das MIL-HDBK 1823, die us-amerikanische Leitfaden zur Erstellung einer Probability of Detection (POD; Fehlerdetektionswahrscheinlichkeit). Obwohl das Dokument als internationaler Standard der Technik angesehen wird, ist die allgemeine Anwendung in der ZfP-Praxis von einigen Nachteilen begleitet:

1. Die beschriebenen POD's bilden ausschließlich die Grundlagen-POD ab, jeweils mit nur einem Fehlerparameter und einem Signalparameter. Modernere Ansätze werden hier nicht adressiert.
2. Die aktuelle Version verzichtet fast vollständig auf konkrete mathematische Formulierungen.
3. Die Richtlinie richtet sich hauptsächlich an die militärische Luftfahrt.
4. Das Dokument ist nur in englischer Sprache verfügbar.

Mit Hilfe eines BMWi-Förderprojekts wird ein weiterführendes Regelwerk auf Basis der MIL-HDBK 1823 unter deutscher Federführung erarbeitet, welches die Anwendung der POD-Berechnung auf eine breitere Basis stellt und die oben genannten Nachteile der MIL-HDBK 1823 behebt.

Das vorgestellte Projekt „normPOD“ wird eine normative, branchenübergreifend einsetzbare Beschreibung des Vorgehens bei der Berechnung einer POD zur Zuverlässigkeitsbewertung zerstörungsfreier Prüfungen entwickeln. Hierbei wird Klarheit über unterschiedliche POD-Ansätze geschaffen und anhand praktischer Beispiele aus Maschinenbau und Bauwesen ein Leitfaden für den Praxiseinsatz erarbeitet.

Das Poster gibt einen Überblick über die geplanten Arbeiten innerhalb des Projekts und lädt die Beteiligten der DGZfP-Jahrestagung zur Diskussion ein, um eine breite Basis und Akzeptanz für die entwickelten Berechnungsverfahren zu schaffen, insbesondere in Hinblick auf ZfP 4.0 und Digitalisierung.

Einführung

Im Jahr 1969 riss während des Flugs eines Flugzeugs des Typ F-111 ein Stück des Flügels ab. Dies geschah nach weniger als 100 Std. im Betrieb, und das obwohl der Typ für 4000 Std. ausgelegt wurde. Dieses dramatische Erlebnis war eines der prägenden Ereignisse, welche die Welt der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) stark beeinflusst hat.

Jedes Prüfverfahren ist fehlbar. Nach intensiven Untersuchungen wurde der Grundstein für ein Thema gelegt, was heute als *“Zuverlässigkeit von zerstörungsfreien Prüfverfahren“* bekannt ist.

Die Regelwerke der Luftfahrtgesellschaften (z.B. FAA) sowie auch die produzierenden Unternehmen, beschäftigten sich mit der Fehlbarkeit von Verfahren. 1997 wurde das Thema erstmals in den Normenkontext aufgenommen. Relativ zeitgleich wurden hierbei Richtlinien im Bereich Energie im Sektor Öl- und Gasförderung [1] und im Bereich militärische Luftfahrt [2] erstellt. Seither gewinnt das Thema immer weiter an Bedeutung. Jedoch fehlt es in vielen Bereichen, die sich mit dem Thema Zuverlässigkeit beschäftigen wollen und auch sollten, an entsprechenden Richtlinien.

Unlängst hat sich im Rahmen des normPOD-Projekts mit dem Namen „Normung für die probabilistische Bewertung der Zuverlässigkeit für Zerstörungsfreie Prüfverfahren“ eine Gruppe von unterschiedlichen Expert*innen zusammengefunden, um das Thema der Zuverlässigkeitsbewertung von Prüfverfahren einem größeren Teil der ZfP-Community zugänglich zu machen.

1. Aktueller Stand der Literaturrecherche

1.1 Definition des aktuellen Stands der Technik im Bereich Zuverlässigkeitsbewertung

Obwohl seit den 80er Jahren kontinuierlich im Bereich *Zuverlässigkeitsbewertung von Prüfverfahren* geforscht und publiziert wurde, gibt es nur wenige Expert*innen, die einen Überblick über das Thema besitzen.

Dies hat zwei Gründe: Einerseits steht die zerstörungsfreie Prüfung regelmäßig in der Kritik und wird als „nicht-wert-steigernder“ Prozess bezeichnet. Das Aufdecken von Schwachstellen der zerstörungsfreien Prüfung ist darüber hinaus noch unbeliebter. Andererseits liegt der Kern der Auswertung in statistischen Modellen; ein Thema, das das übliche Prüfpersonal dafür gar nicht ausgebildet ist.

Dennoch nimmt die Notwendigkeit der Bewertung von Prüfverfahren stetig zu. Während sich zwischen den 80iger und 90iger Jahren hauptsächlich die militärische Luftfahrt, die Energieerzeugung und die Raumfahrt den Methoden der Zuverlässigkeit bedient haben, so setzen sich heutzutage alle sicherheitskritischen Bereiche mit der Forschung und Entwicklung ihrer Methoden auseinander. Aber es fehlt an allgemein verständlicher Literatur und Richtlinien, die übergreifend verwendet werden können, um so ein breites Verständnis dieser Thematik in Bezug auf die Bewertung der Fähigkeit von Prüfverfahren zu steigern. Die allgemeine Erklärung und Aufbereitung dieser Methoden hat sich das Expertenteam im Projekt „normPOD“ zur Aufgabe gestellt.

1.2 Verfügbare Literatur zur Zuverlässigkeitsbewertung

Ein wesentlicher Schritt innerhalb der Erstellung einer Richtlinie, ist die Bewertung der gegenwärtigen Literatur.

Allein zum Thema „Zuverlässigkeitsbewertung von Prüfverfahren“ wurden aktuell für das Projekt über 650 Literaturstellen (Artikel, Dissertation, Buchkapitel und Reports) ausfindig gemacht und ausgewertet (siehe Abb. 1.). „Ausgewertet“ bedeutet, dass die unterschiedlichen Vorgehensweisen gruppiert und jeweils dem Ziel der Bewertung entgegengestellt wurden.

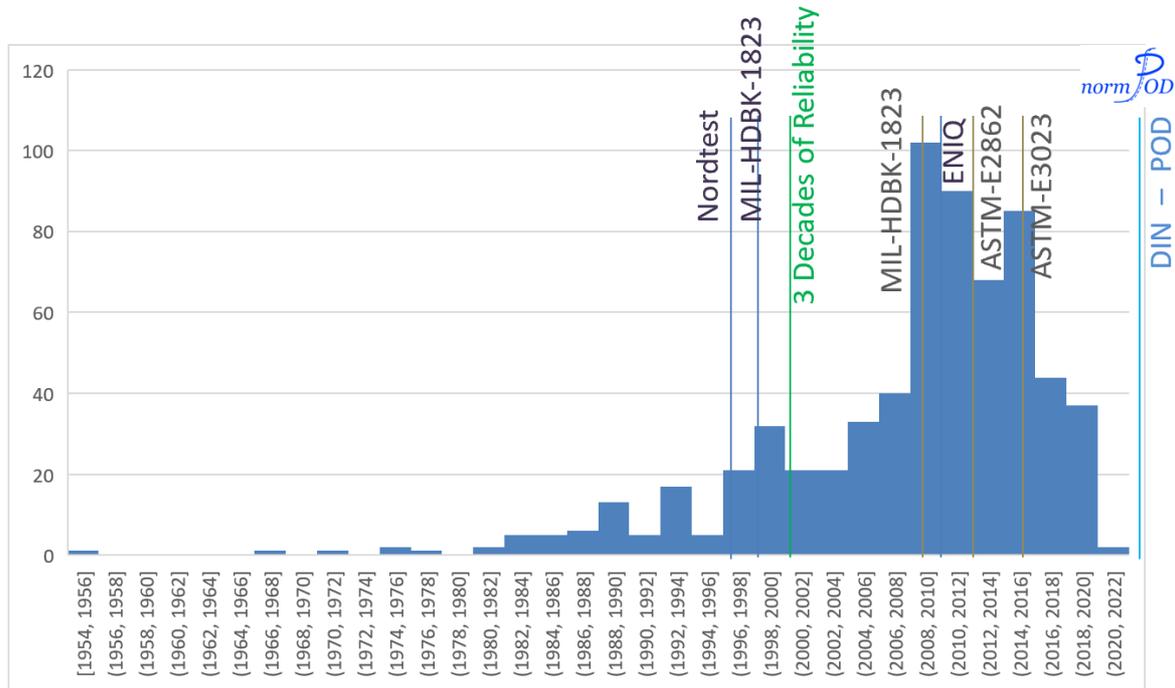


Abb. 1. Literaturrecherche zum Thema Zuverlässigkeitsbewertung im Bereich zerstörungsfreie Prüfung.

Die Tatsache, dass es so viel Spezialliteratur zu einem Thema gibt, zeigt außerdem, dass es kein „Rezept“ für eine Zuverlässigkeitsbewertung gibt. Die Kritikalität der geprüften Komponente, die Eingliederung in das Qualitätskonzept einer Firma und eines Produkts, das Gleichgewicht zwischen verschiedenen ökonomischen Faktoren und der Steigerung der Qualität durch den Einsatz der ZfP, sind Einflüsse, die im Prüfkonzept und somit auch in der Bewertung des Prüfverfahrens einzuschließen sind.

Dennoch bauen viele der Evaluationen auf den gleichen Grundlagen auf: Die systematische Beschreibung der Einflüsse mit Hilfe der Versuchsplanung, die Beschreibung des physikalischen Prüfprozesses durch methodische Modelle und die systematische Durchführung von Versuchen, Simulationen und Erfassung von technischem Wissen sind hierbei die wesentlichen Bauteile. Genau auf diesen Prinzipien wurden im Laufe der Vergangenheit immer wieder Richtlinien in den verschiedenen Bereichen erstellt. Nordtest [1], Mil-Handbook [2] (1999 und 2009), ENIQ-Standard Prozeduren [3] und die ASTM-Reihe (E2862 [4], E3023 [5] in 2012 und 2015). Die meisten dieser Modelle beziehen sich jedoch auf das 1989 von Berens publizierte Modell [6].

Die Entwicklungen der Zuverlässigkeitsbewertung in den letzten Jahren werden hier vernachlässigt. Dies ist ein weiterer Grund dafür, einen Überblick zu schaffen und zu veröffentlichen. Der bisher letzte Überblick wurde 2001 unter dem Titel „Three Decades of Reliability Assessment“ von Ripi Singh [7] veröffentlicht. Das hier vorgestellte Projekt hat sich das Ziel gesetzt, die Entwicklungen der folgenden zwei Jahrzehnte zu erfassen, die wesentliche Information aufzubereiten und daraus eine Vorlage für eine DIN-Norm für das Jahr 2022 zu erarbeiten.

Während die meisten Richtlinien und die überwiegende Literatur im Bereich der Luftfahrt und Energie veröffentlicht wurden, so nehmen die Zweige wie Bauingenieurwesen, Automobilbau und Prüfung im Eisenbahnwesen immer weiter zu.

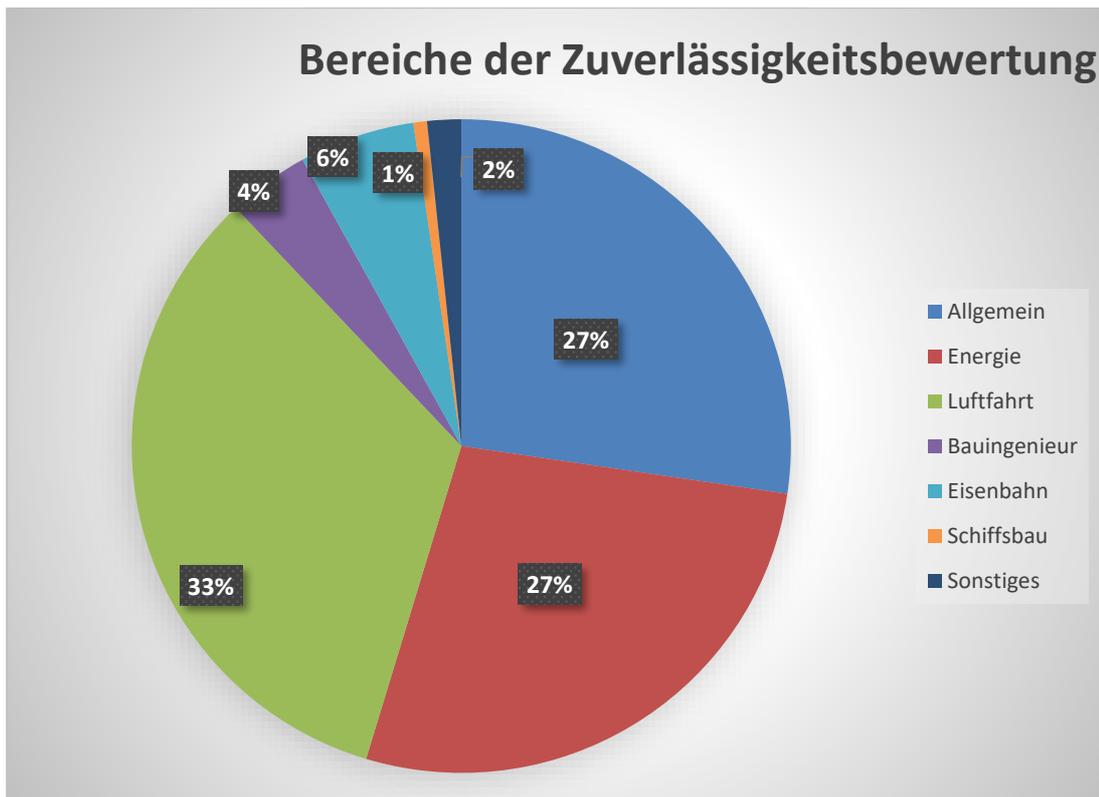


Abb. 2. Branchen, in denen die Zuverlässigkeit von Prüfverfahren aktuell eingesetzt werden.

1.3 Bisherige Arbeiten zur deutschen Richtlinie

Seit dem ersten Workshop zum Thema ZfP-Zuverlässigkeit „1st European-American Workshop Determination of Reliability and Validation Methods on NDE“ in Berlin im Jahre 1997 spielt dieses Thema in der Forschung in Deutschland eine maßgebliche Rolle [8].

In den letzten zwei Jahrzehnten kamen wesentliche Neuerungen im Bereich Zuverlässigkeitsbewertung aus den Reihen der Forschung in Deutschland (siehe Abb.3), so z.B. MaPOD-Ansätze oder multiparametrische Bewertung, die Datenkombination mit verschiedenen Datenquellen oder auch Forschungsarbeiten zu Themen der menschlichen und organisatorischen Faktoren sowie deren Einfluss auf die Prüfung [9][10][11][12].

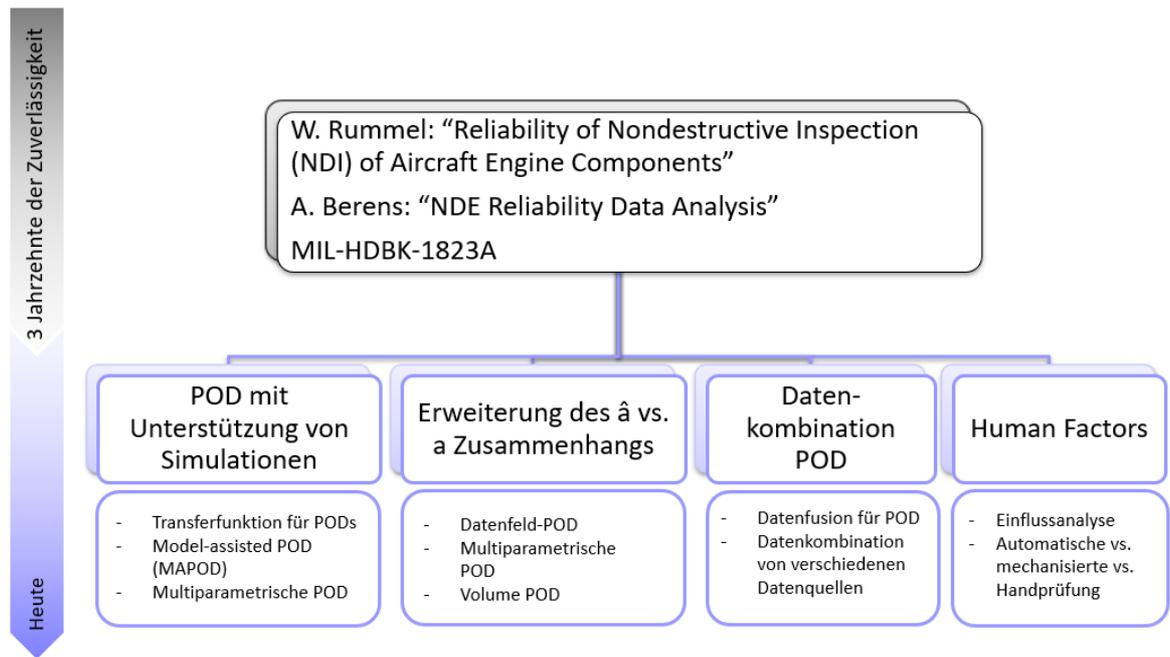


Abb. 3. Ansätze zum Thema Zuverlässigkeitsbewertung von Prüfverfahren

2. Inhalt des Projekts „normPOD“

Die Herausforderung an dieser Stelle wird sein, die grundlegenden Prinzipien der Prüfung zu verschriftlichen und dabei auf die Neuerungen in den letzten Jahrzehnten einzugehen, ohne sich in den Feinheiten jeder einzelnen Evaluation zu verlieren.

Aus diesem Grund hat sich das Projektteam zur Aufgabe gemacht, innerhalb von zwei Jahren zwei unterschiedliche Prüfaufgaben systematisch zu bewerten und diese als Fallstudie der Öffentlichkeit vorzustellen. Hierbei sind beide Studien unterschiedlich voneinander, um verschiedene Aspekte des Bereichs der zerstörungsfreien Prüfung darstellen zu können:

1. Die Schweißnahtprüfung von ferritischen Rohrleitungsschweißnähten mit Hilfe von Ultraschall.
2. Die Tunnelinnenschalenprüfung an Stahlbeton mittels Ultraschall oder Impakt-Echo.

Die Kenntnisse über die Bestimmung des kritischen Defekts für das jeweilige Bauteil, die Auswahl der Prüfung, das Vorwissen innerhalb der Branche, die Materialbeschaffenheit und den Einsatz der Computersimulation für die jeweilige Prüfung sind dabei in hohem Maße unterschiedlich. Im Folgenden ist das jeweilige Vorgehen zu beiden Themen in schematischen Graphiken kurz skizziert:

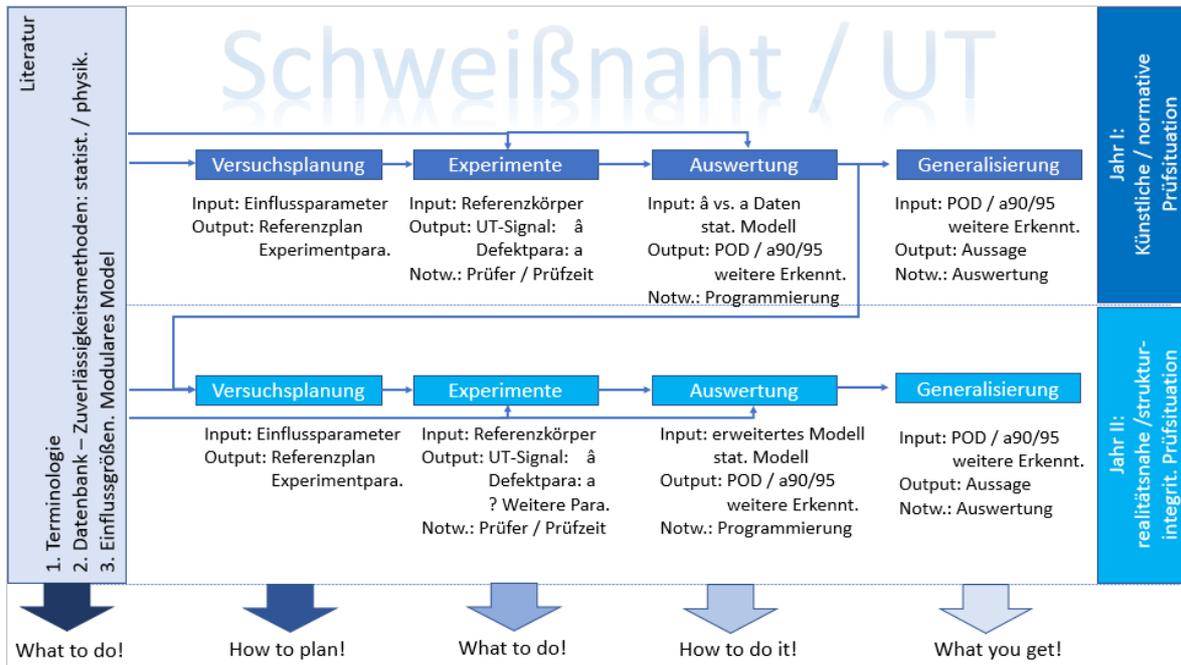


Abb. 4. Ferritische Schweißnahtprüfung im Kraftwerksbereich

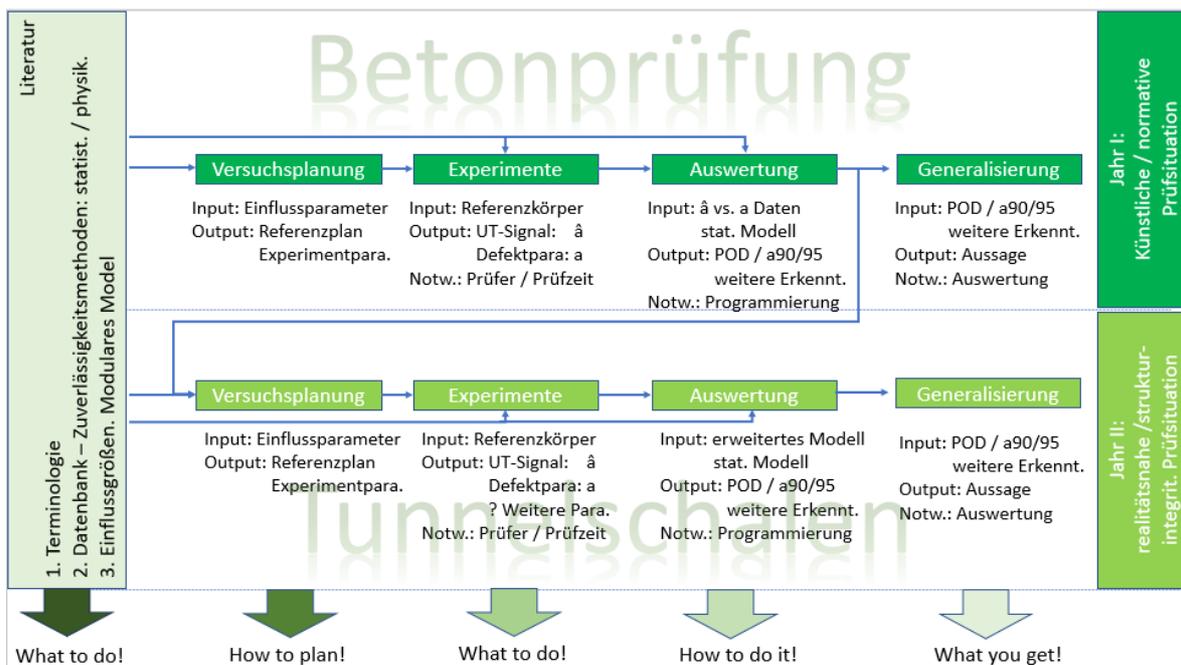


Abb. 5. Prüfung der Tunnelinnenschalen aus Stahlbeton

Menschliche und organisatorische Faktoren wurden, obwohl ihr Einfluss im weithin akzeptierten modularen Zuverlässigkeitsmodell [13] anerkannt wurde, meist als unkontrollierbare Faktoren angesehen, die nicht quantifizierbar sind und daher bei quantifizierbaren Zuverlässigkeitsbewertungen vernachlässigt wurden. In diesem Projekt werden wir die Möglichkeiten von qualitativen und quantitativen Methoden untersuchen, um einige dieser Faktoren in die Zuverlässigkeitsbewertung einzubeziehen.

3. Die nächsten Schritte

Die bisherige Vorarbeit im Projekt hat gezeigt, dass es ein standardisiertes Vorgehen geben muss, welches im zweiten Schritt an die jeweilige Prüfung angepasst werden muss.

Dieses Vorgehen soll in eine standardisierte Richtlinie gefasst werden, wodurch nicht nur zum allgemeinen Verständnis der Bewertung beigetragen, sondern auch eine Plattform geliefert wird, die die Prüfung auf die nächsten Herausforderungen vorbereitet.

Während aktuell noch um die Daseinsberechtigung der Prüfverfahren gestritten wird, sind die Informationen, die ein Prüfverfahren liefert in der Zukunft ein wahrer *Datenschatz*. Dieser Datenschatz ist jedoch nur insoweit wertvoll, sofern er verstanden und bewertet werden kann. Dies ist Aufgabe der Zuverlässigkeitsbewertung und das zu erarbeitende Schriftstück, welches vielseitig in der deutschen Industrie eingesetzt werden kann und dass diese Bewertungen ermöglicht, könnte zukünftig das wichtige Werkzeug sein.

Dies ist die Aufgabe, die sich das Projektteam „normPOD“ gesetzt hat. Das aktuelle Expertenteam würde sich jedoch auf weiteren Input besonders aus der Industrie freuen. Daher zum Abschluss noch ein Anruf an Sie persönlich: Um der hier thematisierten Richtlinie, die Möglichkeit zu geben, eine weitreichende Wirkung zu entfalten, brauchen wir Ihre Unterstützung.

Wie in aktuellen Umfragen zu ZfP 4.0 [14][15] evaluiert wurde, ist das Thema Zuverlässigkeit wichtiger denn je. Helfen Sie uns das Thema zu diskutieren. Richten Sie Ihre Fragestellung an uns, die wir für Sie beantworten. Nur so wird es gelingen eine Richtlinie und einen Standard zu erstellen, der für alle Beteiligte zielführend ist.

4. Förderung durch den BMWi

Das Projekt „normPOD“ wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Namen „Normung für die probabilistische Bewertung der Zuverlässigkeit für zerstörungsfreie Prüfverfahren“ gefördert und verzeichnet das Förderkennzeichen 03TN0006A.

Referenzen

- [1] O. Førlø. “Guidelines for NDE reliability determination and description”, *NT TR 394. Nordtest Technical Report*. Det Norske Veritas AS, 1998
- [2] Department of Defense. “Nondestructive Evaluation System Reliability Assessment”, *MIL-HDBK-1823A*. Departments and Agencies of the Department of Defense, 2009.
- [3] L. Gandossi und C. Annis. „Probability of Detection Curves: Statistical Best-Practices”, *Statistical best-practices 41. scientific report*. ENIQ, 2010.
- [4] ASTM International. “Standard Practice for Probability of Detection Analysis for Hit/Miss Data”, *ASTM E 2862-12*. ASTM International, 2012.
- [5] ASTM International. “Standard Practice for Probability of Detection Analysis for a Data”, *ASTM E 3023-15*. ASTM International, 2015.
- [6] A.P. Berens. “NDE Reliability Data Analysis: Nondestructive Evaluation and Quality Control”, in *Metals Handbook*. 9. Aufl. Bd. 17. Materials Park, Ohio: ASM International, 1989, S. 689–701.
- [7] R. Singh. “Three Decades of Reliability Assessment”, *Karta- 3510-99-01*. San Antonio: Karta, 2000.
- [8] C. Nockemann and C. Fortunko, “Summary of the workshop,” in *Proceedings of the European-American Workshop: Determination of Reliability and Validation Methods on NDE*, 18-20 June 1997, Berlin, Germany, Berlin: DGZfP, 1997, pp. 11–17.
- [9] M. Bertovic, M. Gaal, C. Müller, and B. Fahlbruch, “Investigating human factors in manual ultrasonic testing: testing the human factors model,” *Insight*, Vol. 53, Nr. 12, S. 673–676, 2011.
- [10] M. Bertovic, “A human factors perspective on the use of automated aids in the evaluation of NDT data,” in *42st Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation. AIP Conference Proceedings*, 2016, vol. 1706, p. 020003.
- [11] M. Bertovic, “Human-Related Risks in the Non-Destructive Testing (NDT) of Hollow Railway Axles: Implications for the Education and Training of the NDT Personnel,” in *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference*, 2019, S. 294–300.

- [12] R. Holstein, M. Bertovic, D. Kanzler, and C. Müller, “NDT Reliability in the Organizational Context of Service Inspection Companies,” *Mater. Test.*, Vol. 56, Nr. 7–8, S. 607–610, Jul. 2014.
- [13] C. Mueller et al., “Paradigm Shift in the Holistic Evaluation of the Reliability of NDE Systems,” *Mater. Test.*, Vol. 55, Nr. 4, S. 261–269, Apr. 2013.
- [14] J. Vrana, R. Singh, “NDE 4.0—A Design Thinking Perspective”, *J Nondestruct Eval Vol* 40, 8 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10921-020-00735-9>
- [15] M. Bertovic, S. Feistkorn, D. Kanzler, B. Valeske, J. Vrana, “ZfP 4.0 aus der Sicht der ZfP-Community: Umfrageergebnisse, Herausforderungen und Perspektiven,” *ZfP-Zeitung*, vol. 174, S. 43–49, 2021.