

Einfluss des Zeitdrucks auf die manuelle Ultraschallprüfung. Untersuchung zu menschlichen Faktoren auf die Ergebnisse zerstörungsfreier Prüfungen

Marija BERTOVIĆ*, Mate GAAL*, Christina MÜLLER*,
Babette FAHLBRUCH**, Detlef SCHOMBACH**

*BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Unter den Eichen 87, D-12205 Berlin
**TÜV NORD SysTec, GmbH & Co. KG, Große Bahnstr. 31, D-22525 Hamburg

Kurzfassung. Die übergeordnete Zielsetzung unserer Untersuchung bestand darin, am Beispiel von Prüfungen mit Ultraschall eine belastbare Aussage zum Einfluss der Arbeitsbedingungen des Prüfers auf die Qualität der Ergebnisse von zerstörungsfreien Prüfungen zu ermitteln und Möglichkeiten zur Minimierung ungünstiger Einflussfaktoren aufzuzeigen.

Der Schwerpunkt der Untersuchung wurde auf die manuelle Ultraschallprüfung gelegt und der Faktor „Zeitdruck“ (in drei Stufen variiert) als die zu variiierende physische Einflussgröße gewählt. Die Variation des Faktors Zeitdruck wurde gemäß dem Prozessmodell von der Erhebung psychologischer Faktoren, die das Individuum und die Organisation beschreiben, begleitet.

Die Ultraschallprüfungen erfolgten mit zehn Prüfern am Großbehälter und an Vergleichskörpern mit eingebrachten Testfehlern (Nuten, Risse). Die ausgewählten Fehler waren typisch für Prüfaufgaben, die bei wiederkehrenden Ultraschallprüfungen in Kernkraftwerken von den Prüfern zu lösen sind. Die Prüfaufgabe bestand darin, die in den vorgegebenen Prüfabschnitten vorhandenen Reflektoren aufzufinden und deren Amplituden, Ortskoordinaten und Längenerstreckungen zu ermitteln. Als Bewertungsmaßstab für die Qualität der Prüfaussage und für den Einfluss des menschlichen Faktors diente die Präzision der gemessenen Werte..

Die Ergebnisse zeigen einen hohen Einfluss des menschlichen Faktors auf das Prüfergebnis und eine Einwirkung des Zeitdrucks besonders auf die Präzision der Messwerte. Hierbei war die Wirkung des individuell wahrgenommenen Zeitdrucks zusammen mit der psychischen Arbeitsbeanspruchung signifikant. Es wurde unter anderem herausgearbeitet, dass durch eine gute Vorbereitung auf die Prüfung, z.B. durch die sorgfältige Einweisung und ein vorgeschaltetes Fertigkeitstraining an Vergleichskörpern, die Zuverlässigkeit der Prüfergebnisse verbessert werden kann. Insgesamt hatte der Faktor „Organisation“ neben der „Erfahrung“ einen hohen Einfluss auf das Leistungsvermögen der Prüfer.

Die Projektergebnisse wurden im Abschlussbericht des Forschungsvorhabens SR2514 dargestellt, es wurden drei Empfehlungen zur Vorbereitung und Einweisung der Prüfer, zur Stärkung der Verantwortung der Prüfaufsicht und zum 4-Augen-Prinzip formuliert. Die Empfehlungen wurden in der KTA- Regel 3201.4 „Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung“ (RÄE Fassung 2010-11)“, umgesetzt.

1. Einleitung

Schwankungen in der Prüfleistung bei der ZfP begegnete man bisher üblicherweise durch Verbesserung der Geräte und Veränderung der Prüfanweisungen – nur wenig Ressourcen wurden im Forschungsbereich zum menschlichen Faktor investiert, obwohl dieser die häufigste Ursache für die Leistungsvariation der Prüfer ist. Es ist der Prüfer, der das Signal bewertet, das von den Geräten geliefert wird [1]. Um den Prozess der zerstörungsfreien Prüfung besser zu verstehen und dadurch die Zuverlässigkeit zu erhöhen, sollte der Einfluss und die Bedeutung menschlicher Faktoren untersucht werden.

Für eine zuverlässige Prüfung müssen sowohl das ganze System als auch seine Einzelteile zuverlässig sein (Geräte, Prüfanweisung und Personal). Studien haben gezeigt (z.B. Wheeler et.al. 1986; Taylor et.al. 1989; Swets, 1996; in [1]), dass trotz der Kontrolle der Geräte, der Prüfanweisungen und der formalen Qualifikation des Personals die Qualität der ZfP noch in einem hohen Maße von den persönlichen Qualitäten des Prüfers abhängt, der die Prüfung durchführt. Die Leistung variiert sogar bei mechanisierten Prüfungen. Dies liegt offenbar an unterschiedlichen Interpretationen der Bewertungs- und Entscheidungskriterien durch die jeweiligen Prüfer (Skånberg, 1991 in [1]). Umgebungsbedingungen, Schutzausrüstung, Zeitdruck, Organisationsstruktur, Wissen und Fähigkeiten sowie das Arbeitsverhalten und die Einstellung des Prüfers haben einen nachgewiesenen Einfluss auf die Leistung [4].

Die Ultraschall-Handprüfung stellt eine komplexe Aufgabe dar. Ihre Qualität hängt von den kognitiven und von den motorischen Fähigkeiten des individuellen Prüfers ab. Je komplexer eine Aufgabe wird, umso stärker beeinflussen Umweltfaktoren und Faktoren der Arbeitssituation die Leistung. Wie untersucht wurde, wie diese Faktoren nun die Prüfleistung in Kernkraftwerken in Deutschland beeinflussen, soll im Folgenden dargestellt werden. Das Ziel unserer Untersuchung war, den Einfluss der zur Verfügung stehenden Zeit auf die Qualität der Prüfung zu quantifizieren.

2. Human-Factors-Modell

Als Ergebnis einer Literaturstudie und auf Basis des sozio-technischen Systemansatzes (STSA)[11] wurde ein Untersuchungsmodell konzipiert (Abb. 1). Das Modell beschreibt die hypothetischen Zusammenhänge zur Erklärung der Schwankungen in der Prüfleistung bei zerstörungsfreien Prüfungen – hier der wiederkehrenden Ultraschall-Handprüfung. Die Grundannahme des STSA ist, dass jegliche Organisation und jedes Arbeitssystem sowohl aus einem technischen Subsystem (Technologie und Aufgabe) als auch aus einem sozialen Subsystem (Rollen, Strukturen, Mitglieder) besteht. Optimale Ergebnisse (Leistung, Produktivität, Sicherheit, Output-Qualität, etc.) sind nur bei der gemeinsamen, auf einander abgestimmten Optimierung beider Subsysteme zu erwarten.

In diesem Modell werden vier Variablenarten unterschieden: 1) abhängige Variablen, 2) unabhängige Variablen, 3) abhängig-unabhängige Variablen¹ und 4) Moderatorvariablen².

Die folgenden Variablen sind als unabhängige Variablen konzipiert: *visuelle Wahrnehmung*, *Stressresistenz*, *kognitive Prozesse*, *vorgängige Erfahrung und Qualifizierung* sowie der *soziale Kontext* (z.B. soziales Feedback durch Vorgesetzte oder Kollegen). Es wird erwartet, dass diese Variablen die Vielfalt der Unterschiede zwischen Prüfern bedingen und die Prüfleistung beeinflussen.

¹ Dieser Typ von Variablen spielt sowohl als unabhängige als auch als abhängige Variable eine Rolle.

² Eine Moderatorvariable ist eine qualitative oder quantitative Variable, die die Richtung oder die Stärke der Beziehung zwischen der unabhängigen und einer abhängigen Variable beeinflusst.

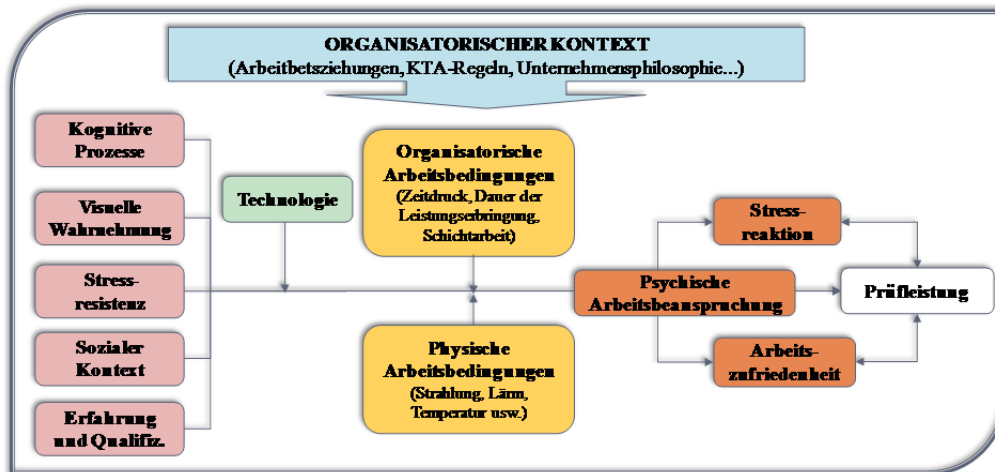


Abb. 1 Einflussmodell auf die Leistung der manuellen Ultraschallprüfung.

Als Moderatorvariablen sind *organisatorische* (z.B. Zeitdruck) und *physische Arbeitsbedingungen* (z.B. Lärm) zusammen mit der *Technologie* (Art der angewendeten Ultraschall-Prüftechnik) konzipiert.

Psychische Arbeitsbeanspruchung ist eine abhängig-unabhängige Variable. Sie wird als die Beanspruchung definiert, die ein Prüfer erlebt, wenn er ein bestimmtes Leistungsniveau erreichen will [5]. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Arbeitsbedingungen als Belastung eine korrespondierende Beanspruchung erzeugen, die dann die Leistung negativ beeinflusst. Bei zufriedenstellenden Arbeitsbedingungen ist die Beanspruchung gering und eine optimale Prüfleistung wird ermöglicht.

Prüfleistung, *individuelle Reaktionen auf Stress* und *Arbeitszufriedenheit* sind die abhängigen Variablen. Die beiden letzten können ebenfalls die Leistung beeinflussen.

Reaktionen auf Stress und *Arbeitszufriedenheit* werden sowohl als unabhängige- als auch als abhängige Variablen betrachtet. Sie können als Ergebnis eines Moderatoreffekts der Arbeitsbedingungen und der Technologie auf die Beziehung von Einfluss- und Ergebnisvariablen auftreten. So können z. B. ungünstige Arbeitsbedingungen direkt die Arbeitszufriedenheit mindern und eine Stressreaktion hervorrufen. Umgekehrt können gute Arbeitsbedingungen direkt zur Arbeitszufriedenheit beitragen und Stressreaktionen mindern. Im letzteren Fall zählen Arbeitsbedingungen und Stressreaktionen zu abhängigen Variablen.

Der Moderatoreffekt der Arbeitsbedingungen und der Technologie kann neben den beschriebenen direkten Einflüssen auch indirekte Wirkungen auf die Prüfleistung haben, indem er diese indirekt über Stressreaktionen und Arbeitszufriedenheit beeinflusst. So können z. B. ungünstige Arbeitsbedingungen Stressreaktionen hervorrufen und die Arbeitszufriedenheit beeinträchtigen, was wiederum die Prüfleistung vermindern kann.

Das gesamte Modell ist zusätzlich stark vom jeweiligen organisatorischen Kontext eines Kernkraftwerks, den dort vorhandenen Prozeduren, seinem Management und den bestehenden Arbeitsbeziehungen abhängig.

In dem vom BfS geförderten Vorhaben SR2514 [3] wurde ein Ausschnitt des theoretischen Modells mit dem Fokus auf Stressfaktoren experimentell überprüft. Abb. 2 zeigt die Variablen, die für dieses Vorhaben ausgewählt wurden sowie deren angenommene Beziehungen zueinander.

Es wurde postuliert, dass unter Zeitdruck sowohl psychische Arbeitsbeanspruchung als auch die Stressreaktion ansteigen und damit die Prüfleistung abnimmt. Zusätzlich wurden der organisatorische Kontext und die Prüferfahrung erhoben.

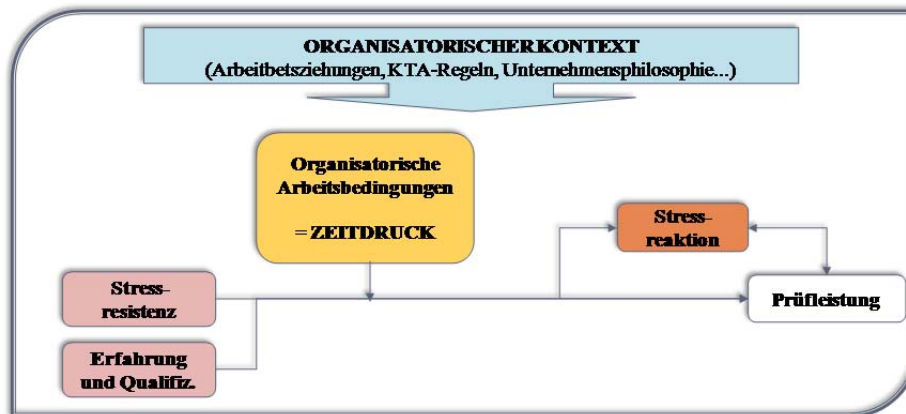


Abb. 2 Modell zum menschlichen Einfluss – untersuchte Variablen und deren Beziehungen zueinander.

3. Methode

Zehn erfahrene Ultraschall-Handprüfer haben an der Studie teilgenommen. Alle Prüfer waren männlich mit einem Durchschnittsalter von 47,9 Jahren (Standardabweichung 8,6). Die durchschnittliche Erfahrung der Prüfer betrug:

- a) 21,4 Jahre in der zerstörungsfreien Prüfung (von 3 bis 35 Jahren)
- b) 14,3 Jahre in Ultraschallprüfung (UT) (von 2 bis 28 Jahren)
- c) 11,5 Jahre in Ultraschallprüfung in kerntechnischen Anlagen (von 2 bis 22 Jahren)

3.2 Untersuchungsdesign

Die Untersuchungsaufgabe der Prüfer bestand darin, neun Reflektoren am Großbehälter und neun Reflektoren an austenitischen Testkörpern zu finden und deren Amplitude, Ortskoordinaten und Längenerstreckungen zu bestimmen. Die ungefähre Position der Reflektoren war den Prüfern bekannt. Alle Reflektoren waren entweder Risse oder Nuten an bzw. in der Nähe der Innenoberfläche. Die Prüfung wurde an der Außenoberfläche vorgenommen. Die ausgewählten Fehler waren typisch für Prüfaufgaben, die bei wiederkehrenden Ultraschallprüfungen in Kernkraftwerken von den Prüfern zu lösen sind.

Innerhalb von zwei aufeinander folgenden Wochen wurden alle Prüfbereiche von jedem Prüfer dreimal geprüft – mit keinem, mittlerem und hohem Zeitdruck, der wie folgt operationalisiert wurde:

- Prüfbedingung A – kein Zeitdruck (8.5 Stunden für jeden Prüfbereich)
- Prüfbedingung B – mit mittlerem Zeitdruck (6.0 Stunden für jeden Prüfbereich)
- Prüfbedingung C – mit hohem Zeitdruck (4.5 Stunden für jeden Prüfbereich)

Das Hauptziel in diesem Vorhaben war, den Einfluss des Zeitdrucks auf mehrere Variablen zu ermitteln.

Um eine Konfundierung mit Lerneffekten zu verhindern, wurde die Reihenfolge der Untersuchungsbedingungen variiert (d.h. A-B-C, C-A-B, B-A-C usw.). Allerdings konnte aufgrund der kleinen Stichprobe und der Untersuchungsbedingungen (jeweils nur ein Prüfer pro Prüfbereich) das Design nicht vollständig ausbalanciert werden – die Reihenfolge B-A-C fehlte und die Anzahl der Prüfer in den einzelnen Untersuchungsbedingungen war unterschiedlich.

Während der Untersuchung wurden die Prüfer durch das Untersuchungsteam beobachtet und einer Person mit einer UT Level 3 Qualifizierung beaufsichtigt (Prüfaufsicht). Vor der eigentlichen Untersuchung wurde von allen Prüfern ein Teststück geprüft, zum einen als Fertigkeitstraining und zum anderen damit sichergestellt war, dass alle die Prüfanweisung verstanden hatten (Demonstrationsübung).

3.3 Erhebungsinstrumente

In der Untersuchung konnten die Prüfer ihr eigenes Prüfwerkzeug verwenden, damit die Prüfungen so realitätsnah wie möglich waren. Es wurde angenommen, dass das Prüfwerkzeug keine zusätzlichen Effekte erzeugen würde.

Während der Untersuchung sollten die Prüfer mehrmals verschiedene anonyme Fragebögen, die im Folgenden dargestellt werden (Tab. 1), ausfüllen.

Tab. 1. Fragebögen und deren Reihenfolge

Variable	Name	Erhebungsziel	Reihenfolge	
Erfahrung	Erfahrungs- und Qualifizierungsfragebogen	Erfahrung und Qualifikation	1x	vor der Untersuchung
Stressresistenz	Stressverarbeitungsfragebogen, SVF78 (Janke & Erdmann, 2002) [6]	Stressverarbeitungsstrategien (positiv/negativ)		
Psychische Arbeitsbeanspruchung	NASA Task Load Index, TLX (Hart & Steveland, 1987) [5]	geistige Anforderungen, körperliche Anforderungen, zeitliche Anforderungen, eigene Leistung, eigene Anstrengung und Frustration.	12x	nach jedem Prüfbereich
Stressreaktion	BSKE30 (Janke, Hüppe & Erdmann, 2002) [7]	Befindlichkeitsskalierung (positiv/negativ)	3x	nach jeder Prüfbedingung
Organisatorischer Kontext	Fragebogen in Anlehnung an Sicherheit durch Organisationales Lernen - SOL (Fahlbruch & Wilpert, 1997) [2]	Organisatorische Faktoren	1x	am Untersuchungsende

Das dritte Item des NASA Task Load Index "Zeitliche Anforderungen" ("Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftreten?") wurde zusätzlich als Messung des wahrgenommenen Zeitdrucks verwendet und daher ebenfalls in drei Kategorien eingeteilt.

Tab. 2 Postulierte Erwartungen für die Streuung der abhängigen Variablen

Faktoren	Kategorien	Erwartungen
Prüfbedingung	3 (A,B,C)	Streuung wächst von A bis C
UT-Erfahrung	2 (mittel, hoch)	Mehr UT-Erfahrung – kleinere Streuung
Stressresistenz	2 (hoch, niedrig)	Größere Stressresistenz – kleinere Streuung
Stressreaktion	2 (hoch, niedrig)	Größere Stressreaktion – größere Streuung
Psychische Arbeitsbeanspruchung	2 (hoch, niedrig)	Größere psychische Arbeitsbeanspruchung – größere Streuung
Zeitliche Anforderungen	3 (A,B,C)	Größere zeitliche Anforderungen – größere Streuung

Als Leistungsmessung (Prüfqualität) wurde die Streuung der gemessenen Werte gewählt. Eine größere Streuung korrespondiert hier mit geringerer Messpräzision. Die Streuung wurde für die Amplitude, die Position in der Querrichtung und die Tiefenlage berechnet. Tab. 2 zeigt die postulierten Erwartungen.

4. Ergebnisse

Um die Einflüsse der verschiedenen Variablen auf die Streuung der Messwerte zu quantifizieren, wurde das Generelle Lineare Modell (GLM) verwendet, bei dem als das Maß der Streuung die durchschnittliche Fehlervarianz gewählt wurde.

Die Ergebnisse zeigen signifikante Effekte für zeitliche Anforderungen und psychische Beanspruchung bei der Streuung der Amplitude, der Position in der Querrichtung sowie der Tiefenlage, ebenso gibt es einen signifikanten Effekt der Erfahrung auf die Amplitude und Tiefenlage. Die zeitliche Anforderungen als Maß für den wahrgenommenen Zeitdruck beeinflusste die Prüfleistung ebenfalls signifikant: je größer der wahrgenommene Zeitdruck desto größer auch die Streuung (Abb. 3). Die Streuung wuchs ebenfalls mit zunehmender psychischer Arbeitsbeanspruchung (Abb. 4). Abb. 5 zeigt den signifikanten Effekt der UT-Erfahrung auf die Streuung: bei erfahrenen Prüfern ist die Streuung geringer.

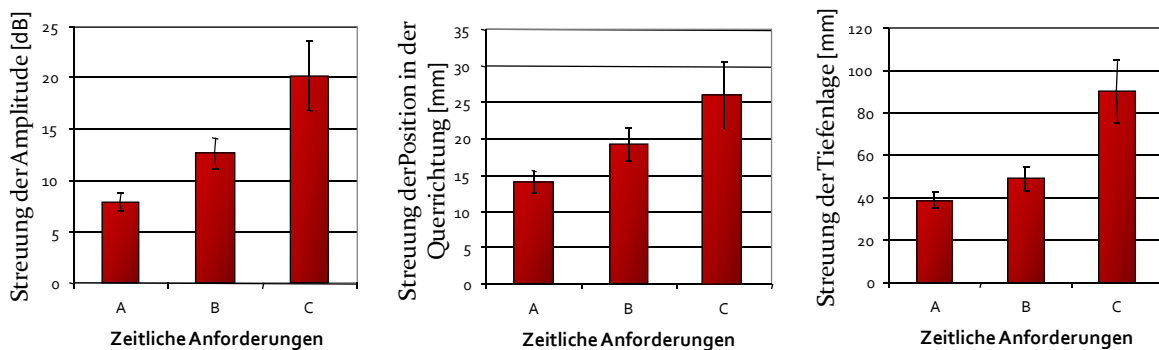


Abb. 3 Signifikante Effekte der zeitlichen Anforderungen auf die Streuung in Abhängigkeit der Prüfbedingung (A – kein , B – mittlerer , C – hoher Zeitdruck)

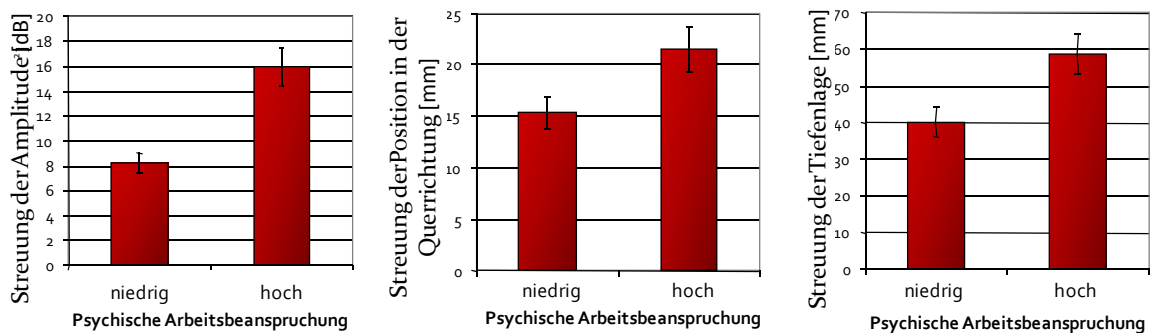


Abb. 4 Signifikante Effekte der psychischen Arbeitsbeanspruchung auf die Streuung der Amplitude, der y-Position und der Tiefenlage

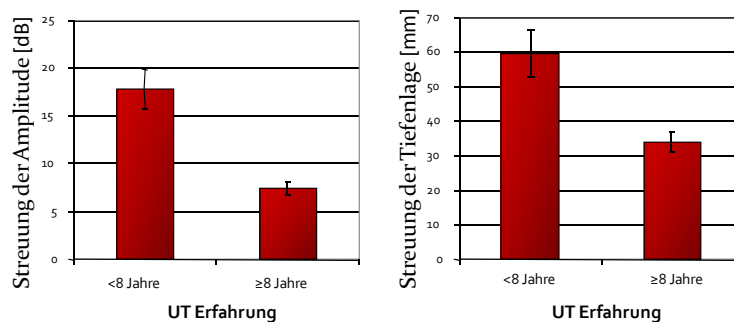


Abb. 5 Signifikanter Effekt der UT-Erfahrung auf die Streuung der Amplitude und der Tiefenlage

Auf die Fragen nach organisatorischen Faktoren gaben die Prüfer an, dass die Demonstrationsübung, eine gute Vorbereitung, sowie die Prüfanweisung und Protokolle eine wichtige Rolle für die Prüfung darstellen.

Die Antworten deuten darauf hin, dass neben bekannten Einflussvariablen wie Reflektoren, Prüftechnik und Zeit auch organisatorische Bedingungen wichtig für die Prüfergebnisse sind.

5. Diskussion

Das Hauptziel der Untersuchung war, den Einfluss der zur Verfügung stehenden Zeit auf die Qualität der Prüfung zu quantifizieren. Die Ergebnisse der statistischen Analysen konnten die Effekte verschiedener Faktoren auf die Prüfleistung zeigen. Die für die Prüfung vorgegebenen Zeitintervalle, die einen Zeitdruck hätten erzeugen sollen, zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die Prüfleistung. Dies kann auf die zu geringe Stichprobengröße und die methodischen Schwierigkeiten, Zeitdruck zu simulieren, zurück geführt werden. Zusätzlich zu der zur Verfügung stehenden Zeit wurde auch der subjektiv wahrgenommene Zeitdruck – hier zeitliche Anforderungen genannt – erhoben. In den statistischen Analysen konnte ein signifikanter Einfluss dieser zeitlichen Anforderungen auf die Streuung aller drei relevanten Variablen, die ein Indikator für die Präzision der gemessenen Werte und Zuverlässigkeit der gesamten Prüfung darstellen, gezeigt werden: der wahrgenommene Zeitdruck beeinflusst die Prüfqualität, indem er ihre Präzision vermindert. Dieses Ergebnis bestätigt unsere Erwartungen und unterstreicht empirische Belege aus der Arbeitspsychologie zum Einfluss von Zeitdruck auf die Prüfleistung [8][9][10]. Die Subskala für zeitliche Anforderungen des NASA TLX [5] gilt als guter Indikator für wahrgenommenen Zeitdruck und als Kontrollvariable für den tatsächlichen Zeitdruck in Situationen wie bei unserer Untersuchung.

Die Schwierigkeiten bei der Definition der Prüfbedingungen / Zeitintervalle für den Zeitdruck spiegeln die Komplexität des Konzepts Zeitdruck wider. Der Zeitdruck, den wir in der Untersuchung simulieren wollten, sollte die realen Situationen repräsentieren, unter denen die Prüfer bei ihren Inspektionen im Kernkraftwerk arbeiten. Jedoch wurde in der Untersuchung offensichtlich, dass wahrgenommener Zeitdruck viel mehr ist, als ein verringertes Zeitbudget für eine Aufgabe. Tatsächlich hängt bei der Prüfung im Kernkraftwerk der wahrgenommene Zeitdruck eng mit anderen Variablen zusammen. Diese Variablen sind beispielsweise die Strahlenbelastung, die Temperatur des Prüfobjekts und der Umgebung, der Geräuschpegel, das Tragen der Schutzausrüstung, die impliziten Zeitvorgaben (Vorgesetztererwartungen über den Inspektionsabschluss), die Prüfaufsicht und das Verantwortungsgefühl für eine korrekte und effektive Aufgabendurchführung.

Psychische Arbeitsbeanspruchung hat ähnliche Effekte wie die zeitlichen Anforderungen. Mit steigender psychischer Arbeitsbeanspruchung wächst die Streuung und sinkt somit die Präzision der gemessenen Werte.

Eine weitere Erwartung in dieser Untersuchung war, dass Zeitdruck Stress induziert und damit die Prüfleistung beeinflusst. Weiterhin sollte die Prüfleistung bei Personen mit höherer Stressresistenz weniger beeinflusst werden. Unsere Analysen ergaben keine signifikanten Effekte für Stressresistenz (Fähigkeit, Stress zu verarbeiten) und Stressreaktion (Reaktion auf Zeitdruck). Der fehlende Effekt von Stressresistenz kann durch die geringe Stichprobengröße (nur zehn Prüfer) erklärt werden, bei der nicht von einer Normalverteilung der erhobenen Werte ausgegangen werden kann. Die Stressreaktion wurde nach jeder Prüfbedingung erhoben. Da der Einfluss der ursprünglichen Prüfbedingung auf die Qualität der Prüfung nicht signifikant nachgewiesen werden konnte, kann auch ein möglicher Einfluss der Stressreaktion nicht abschließend geklärt werden. In zukünftigen Untersuchungen sollte daher der Einfluss von Stress auf die Prüfqualität weiter

untersucht werden sowie die Beziehung zwischen Zeitdruck, Stressreaktion und Prüfqualität.

Die Erfahrung in UT sowie spezifische Erfahrung in UT in Kernkraftwerken zeigten vergleichbare Einflüsse auf die Prüfqualität. Unsere Erwartungen konnten zumindest für die Streuung der Amplitude und der Tiefenlage bestätigt werden, d.h. mit zunehmender Erfahrung nahm die Streuung ab. Auch diese Ergebnisse sind mit dem Forschungsstand konsistent. Sie verweisen darauf, dass gut ausgebildete und erfahrene Prüfer notwendig für verlässliche Prüfungen sind.

Der organisatorische Kontext beeinflusst nach dem Human-Factors-Modell für die manuelle Ultraschallprüfung die Interaktion der einzelnen Variablen. Die Ergebnisse des Fragebogen bestätigten, dass eine gute Vorbereitung, die Prüfanweisung und Protokolle und die Prüfaufsicht wichtige Erfolgsfaktoren darstellen.

Um zu zeigen wie all diese Faktoren miteinander wechselwirken, welche weiteren menschlichen Faktoren einfließen und wie ihr negativer Einfluss auf die Prüfleistung minimiert werden kann, werden weitere Forschungsarbeiten vorgeschlagen [3].

Als Konsequenz dieses Vorhabens wurden drei Empfehlungen zur Vorbereitung und Einweisung der Prüfer, zur Stärkung der Verantwortung der Prüfaufsicht und zum 4-Augen-Prinzip formuliert. Die Empfehlungen wurden in der KTA- Regel 3201.4 „Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung“ (RÄE Fassung 2010-11)“, umgesetzt [3].

6. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen einen Einfluss des menschlichen Faktors auf die Qualität der Prüfergebnisses, insbesondere über den wahrgenommenen Zeitdruck. Es wurde unter anderem herausgestellt, dass durch eine gute Vorbereitung auf die Prüfung, z.B. durch die sorgfältige Einweisung und ein vorgeschaltetes Fertigkeitstraining an Vergleichskörpern, die Zuverlässigkeit der Prüfergebnisse verbessert werden kann.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Enkvist, J. (2003). *A Human Factors Perspective on Non-Destructive Testing (NDT): Detection and Identification of Cracks*. Doctoral dissertation submitted at the Stockholm University, Department of Psychology.
- [2] Fahlbruch, B. & Wilpert, B. (1997). Event analysis as problem solving process. In A. R. Hale, B. Wilpert, & M. Freitag (Eds.), *After the Event: From accident to organizational learning* (pp. 113-130). Amsterdam: Elsevier.
- [3] Gaal, M., Bertovic, M., Müller, C., Zickler, S, Fahlbruch, B, Spokoiny, V., Schombach, D., Just, T. & Cramer, H.-J. (2009). Untersuchungen zum Einfluss menschlicher Faktoren auf das Ergebnis von zerstörungsfreien Prüfungen, Möglichkeiten zur Minimierung dieses Einflusses und Bewertung der Prüfergebnisse – Vorhaben 3607R02514. Endbericht. *Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz*. URN:nbn:de:0221-2009111107. Salzgitter: BfS.
- [4] Harris, D.H. (1990). Effect of human information processing on the ultrasonic detection of intergranular stress-corrosion cracking. *Materials Evaluation*, **48**, 475-480.
- [5] Hart, S. G. & Steveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In Hancock, P. A. & Meshkati, N. (Eds.) *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland Press.
- [6] Janke, W. & Erdmann, G. (2002). *SVF 78: Eine Kurzform des Stressverarbeitungsfragebogens SVF 120. Kurzbeschreibung und Grundlegende Kennwerte*. Manual. Göttingen: Hogrefe.

- [7] Janke, W., Hüppe, M. & Erdmann, G. (2002). *Befindlichkeitsskalierung anhand von Kategorien und Eigenschaftswörtern (BSKE(EWL))*. Unveröffentlicht. Copyright: W. Janke, Verlag für Psychologie Göttingen 2003.
- [8] Pond, D.J., Donohoo, D.T., & Harris, Jr., R.V. An Evaluation of Human Factors Research for Ultrasonic In-service Inspection. NUREG/CR-6605, PNNL-11797. 1998.
- [9] Schmittke, H. (1993). *Ergonomie*. 3. Auflage. München: Hanser.
- [10] Svenson, O. & Maule, A.J. (Eds.) (1993). *Time pressure and stress in human judgment and decision making*. New York: Plenum Press.
- [11] Trist, E. & Bamforth, W. (1951). Some Social and Psychological Consequences of the Long Wall Method of Coal-Getting. *Human Relations*, **4**, 3-38.