

# „Human Factors“ bei der Datenauswertung der zerstörungsfreien Prüfung am Beispiel der nuklearen Endlagerung

Marija BERTOVIĆ<sup>\*</sup>, Christina MÜLLER<sup>\*</sup>, Daniel KANZLER<sup>\*</sup>  
Babette FAHLBRUCH<sup>\*\*</sup>, Jorma PITKÄNEN<sup>\*\*\*</sup>, Ulf RONNETEG<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87,  
D-12205 Berlin

<sup>\*\*</sup> TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG, Große Bahnstr. 31, D-22525 Hamburg

<sup>\*\*\*</sup> POSIVA Oy, Olkiluoto, FL-27160 Eurajoki, Finnland

<sup>\*\*\*\*</sup> Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), Box 925, SE-572 29 Oskarshamn, Schweden

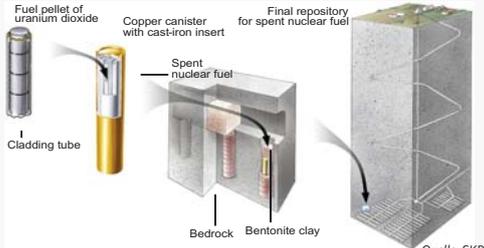
**Kurzfassung.** Für eine ganzheitliche Betrachtung der Sicherheit bei der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) ist es unvermeidlich neben der Technik auch den Prüfer und die Prüforganisation einzubeziehen. Die Prüfung der Unversehrtheit von Endlagerbehältern ist eine sicherheitstechnisch wichtige Anwendung. Die Betreiber der geplanten finnischen und schwedischen Endlager, Posiva und SKB, kapseln den radioaktiven Abfall in Kupferkanistern ein und deponieren die Kanister dann in Felsgestein in einer Tiefe von ca. 500m. Die Kanister bestehen aus einem zylinderförmigen Kupfermantel mit einem Deckel und einem Boden, die zusammen die Außenhülle ergeben sowie einer Gusseisenmatrix für die Brennstäbe. Alle Komponenten werden auf ihre Dichtheit bzw. strukturelle Unversehrtheit mittels zerstörungsfreier Prüfmethoden geprüft, um sicher zu stellen, dass im Material und in den Schweißnähten keine kritischen Defekte vorhanden sind, die zu Freisetzungen in die Umgebung führen könnten. Vier ZfP Methoden (Ultraschall-, Wirbelstrom- und radiographische Prüfung, und die visuelle Prüfung anhand einer Kamera) werden mechanisiert durchgeführt, die gewonnenen Daten werden von qualifizierten Fachleuten ausgewertet und bieten so die Möglichkeit, dass Fehler entstehen.

Das "Human Factor"- Untersuchungskonzept besteht aus der Identifizierung potenzieller menschlicher Fehler, deren Ursachen und Präventionsmethoden. Mit Hilfe einer abgewandelten FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) wurden mögliche Risiken identifiziert, die die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten menschlicher Fehler bei der Datenauswertung erhöhen. Einige dieser Risiken sind beispielsweise Verantwortungsdiffusion beim 4-Augen-Prinzip, Übervertrauen in die Technik bei der automatischen Identifikation von Defekten sowie der Aufmerksamkeitsverlust bei dynamischer Bildbetrachtung. Deren Wirkung wird derzeit experimentell überprüft, um Ansatzpunkte für Optimierungen zu ermitteln und damit die Gesamtzuverlässigkeit des Systems zu verbessern.

# "HUMAN FACTORS" BEI DER DATENAUSWERTUNG DER ZFP AM BEISPIEL DER NUKLEAREN ENDLAGERUNG

M. BERTOVIĆ, D. KANZLER, C. MÜLLER (BAM, Berlin)  
 B. FAHLBRUCH (TÜV NORD SysTec, Berlin)  
 J. PITKÄNEN (Posiva Oy, Finnland)  
 U. RONNETEG (SKB, Schweden)

## Blick in die Zukunft: Endlagerung des hoch reaktiven nuklearen Abfalls



KBS-3 Methode – 3-Barrieren-System: Kupferkanister, geologische Tiefe und Bentonit-Lahm

Die Betreiber der geplanten finnischen und schwedischen Endlager, Posiva und SKB, kapseln den radioaktiven Abfall in Kupferkanistern ein und deponieren die Kanister dann in Felsgestein in einer Tiefe von ca. 400m

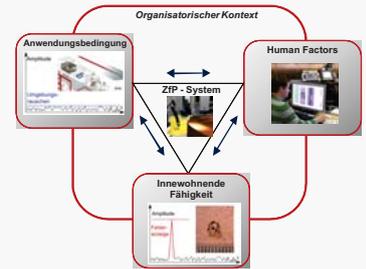
## Zuverlässigkeit der ZfP



Quelle: Posiva Oy, Jussi Partanen

Der Kanister besteht aus einem zylinderförmigen Kupfermantel mit einem Deckel und einem Boden, die zusammen die Außenumhüllung ergeben, sowie einer Gusseisenmatrix für die Brennstäbe. Alle Komponenten werden auf ihre Dichtheit bzw. strukturelle Unversehrtheit mittels zerstörungsfreier Prüfmethode geprüft, um sicher zu stellen, dass im Material und in den Schweißnähten keine Defekte vorhanden sind, die zu Freisetzungen in die Umgebung führen.

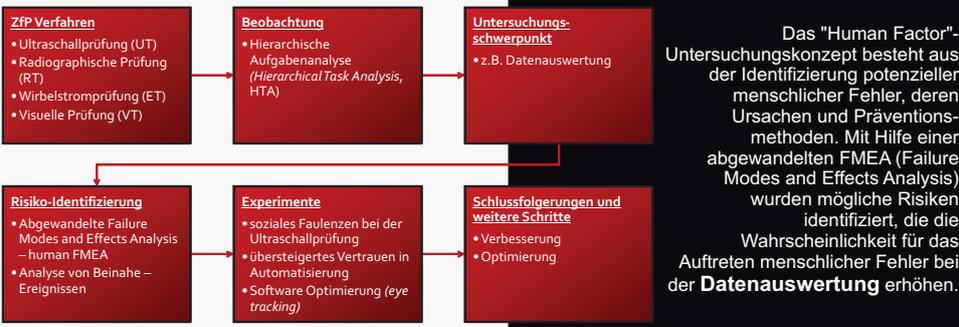
Die Zuverlässigkeit eines ZfP-Systems ist nicht nur von der innwohnenden Fähigkeit und den Anwendungsbedingungen abhängig sondern auch von den menschlichen Faktoren und von dem organisatorischen Kontext, in dem jede ZfP durchgeführt wird.



## Human Factors Methode

„Human Factors beziehen sich auf Faktoren aus der Umwelt, der Organisation und der Arbeit wie auch menschliche oder individuelle Charakteristika, die einen sicherheits- und gesundheitsrelevanten Einfluss auf das Arbeitsverhalten haben.“

Health and Safety Executive, HSE, 1999

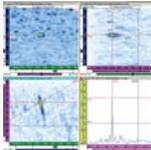


Das "Human Factor"-Untersuchungskonzept besteht aus der Identifizierung potenzieller menschlicher Fehler, deren Ursachen und Präventionsmethoden. Mit Hilfe einer abgewandelten FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) wurden mögliche Risiken identifiziert, die die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten menschlicher Fehler bei der **Datenauswertung** erhöhen.



Quelle: Posiva Oy

Vier ZfP Methoden (Ultraschall-, Wirbelstrom- und radiographische Prüfung und die visuelle Prüfung anhand einer Kamera) werden mechanisiert durchgeführt, die gewonnenen Daten werden von qualifizierten Fachleuten ausgewertet und bieten so die Möglichkeit, dass Fehler entstehen.



UT Datenauswertung; Quelle: SKB

FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS, FMEA – EXPERT WORKSHOP	UT ET RT VT	AUFGABEN	TYPISCHE FEHLER BEI DER DATENAUSWERTUNG	FEHLER AUSWIRKUNGEN	FEHLER URSACHEN	GEGENMAßNAHMEN	
		Vorbereitung	z.B. fehlerhafte Einstellungen (z.B. Empfindlichkeit)	Übersehen von kritischen Defekten	PRÜFANWEISUNGEN ▪ z.B. Schwachpunkte in den Prüfanweisungen	BESTEHENDE GEGENMAßNAHMEN: ▪ Erfahrung ▪ Training ▪ Anweisungen	
		Defekt-Identifizierung	z.B. Übersehen eines Defektes				
		Defekt-Charakterisierung	z.B. falscher Defekt-Typ	Inkorrekte Entscheidung: Falsche Annahme oder Ablehnung des Bauteils	SOFTWARE EINSCHRÄNKUNGEN ▪ z.B. Auflösung und Größe des Bildschirms		MÖGLICHE GEGENMAßNAHMEN: ▪ Software Lösungen/ Innovationen ▪ Automatisierung ▪ Bessere Anweisungen ▪ Training ▪ 4-Augen-Prinzip ▪ Entscheidungshilfen (Fehler-Katalog), usw
		Größen- und Lagebestimmung	z.B. Fehler bei der Größen- und Lagebestimmung				
		Entscheidung	z.B. falsche Annahme oder Ablehnung des Bauteils	ANDERE ▪ z.B. Ablenkungen, Verwirrung, Monotonie, Überbelastung			

## Experimente

### Können wir der Automatisierung vertrauen?

Im Zuge des gewachsenen Potenzials und der Zuverlässigkeit automatischer Systeme hat sich die Rolle des Personals, das technische Systeme bedient, beträchtlich gewandelt. Obwohl es eine ganze Reihe von Vorteilen gibt, müssen auch neue Fehlerquellen und Risiken gesehen werden. Dazu gehört die Automatisierungsgläubigkeit (**AUTOMATION BIAS**), die definiert ist als: *unreflektiertes Vertrauen in das korrekte Funktionieren eines automatisierten Systems ohne Überdenken möglicher Grenzen und Automatisierungsfehler* (Parasuraman & Riley, 1997). Eine wichtige Konsequenz daraus ist ein erhöhtes Risiko, dass die Datenauswerter die Automatisierungsfehler nicht rechtzeitig entdecken und entsprechend handeln. Dieser Effekt ist wahrscheinlicher, wenn ein System als hochzuverlässig wahrgenommen wird (Singh, Molloy & Parasuraman, 1997).

Die ANALYSE DER WIRBELSTROM-DATEN WIRD MIT EINER HOCH AUTOMATISIERTEN SOFTWARE DURCHFÜHRT (POSIVA).

**Forschungsfrage:** Wenn man dem Auswerter die Information gibt, dass die Software hoch zuverlässig bei der Entdeckung und Größenbestimmung ist, wird er die Fehler der Software entdecken? Diese Situation wird in einem laufenden Projekt simuliert. Wir erwarten, dass die Ergebnisse die Sensibilisierung für die Konsequenzen des zu hohen Vertrauens in Automation bei dem Auffinden kritischer Defekte und ihren korrekten Charakterisierung erhöhen.

Wenn Sie wissen, dass jemand anderes die gleiche Aufgabe wie Sie ausführt/ausgeführt hat, werden Sie genauso sorgfältig arbeiten?

Das Redundanzprinzip (z.B. „4-Augen-Prinzip“) wird verwendet, um Gesamtzuverlässigkeit eines Systems bei der Überwachung technischer Prozesse zu steigern (LaPorte & Cansolini, 1991). Wichtige Voraussetzung ist die *Unabhängigkeit*, d.h. beteiligte Personen sollen parallel und vollständig von einander unabhängig arbeiten (Clarke, 2005). Allerdings ist den Personen in redundanten Systemen normalerweise der Andere bewusst (Sagan, 2004). Die Kenntnis, dass jemand anderes die gleiche Aufgabe ausführt kann zu **SOZIALEM FAULENZEN** führen - *Reduktion von Motivation und Anstrengung, wenn Personen gemeinsam arbeiten im Vergleich zur Einzelarbeit* (Karau & Williams, 1993).

**Forschungsfrage:** In einem laufenden Projekt wird der Effekt des sozialen Faulenzes beim Auswerten von UT-Daten untersucht. Die vorläufigen Resultate zeigen, dass die Versuchspersonen mehr Abweichungen bei der Defektgrößenmessung zeigen, wenn sie in einem Team arbeiten im Gegensatz zur Situation, wenn sie alleine arbeiten. Die Ergebnisse sollen zeigen, wie und in welchem Fall das „4-Augen-Prinzip“ angewandt werden sollte.

### ANWENDUNG DES EYE-TRACKERS FÜR DIE OPTIMIERUNG DER MENSCH-COMPUTER-INTERAKTION (HCI) UND DER ANWEISUNGEN

ANWENDUNGS-MÖGLICHKEITEN

- Software Optimierung und Ergonomie
- Optimierung der Parameter der Bildschirmdarstellung
- Optimierung der Prüfanweisungen
- Verstehen des Entscheidungsprozesses
- Analyse des menschlichen Fehlerdeckungsprozesses



Quelle: Tobii

DANKSAGUNG: unser besonderer Dank geht an Herrn R. Holstein und die DGZfP für die große Hilfe bei Akquirieren von Probanden für die Experimente, ebenso wie allen Teilnehmern von der Siemens AG, Lise-Meitner-Schule Berlin, W. S. Werkstoff Service GmbH und der BAM.

ÜBERSTEIFERTES VERTRAUEN IN DIE AUTOMATISIERUNG

SOZIALES FAULENZEN BEI DEM „4-AUGEN-PRINZIP“

OPTIMIERUNG DER MENSCH-COMPUTER-INTERAKTION (HCI)