

Erste Einblicke in die menschlichen Faktoren bei der Wellenprüfung im Eisenbahnwesen

Marija BERTOVIĆ¹, Christina MÜLLER¹, Ralf HOLSTEIN²
¹ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
² DGZfP Ausbildung und Training GmbH, Berlin
Kontakt: marija.bertovic@bam.de

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 menschlichen und organisatorischen Faktoren müssen zukünftig stärkere Beachtung finden.

In Rahmen der Ausbildung von UT-Prüfern bei der DGZfP wurde eine Untersuchung durchgeführt, wie zuverlässig die Prüfaussage an Radsatzwellen mit Längsbohrungen ist. Das Ziel bestand darin, die Einflussgrößen auf die Zuverlässigkeit der Wellenprüfung zu analysieren und insbesondere bzgl. der Ausbildung zu optimieren. Dabei wurden erstmals auch die menschlichen Einflussfaktoren betrachtet. Dabei wurde versucht, die möglichen Einflüsse auf die Handprüfer sowohl bei der Qualifizierungsprüfung, als auch bei der täglichen Arbeit zu identifizieren. Das übergeordnete Ziel bestand darin, die menschliche Seite der Ultraschallprüfung von Radsatzwellen besser zu verstehen und die Erkenntnisse sowohl für die Verbesserung der Ausbildung, als auch für die Erstellung weitergehender Forschungsfragen zu nutzen. Zu diesem Zweck wurde u.a. ein Fragebogen verwendet, der Daten zu Ausbildung, Arbeitssituation und anderen Einflüssen erfasste. Diese Daten wurden dann in Hinblick auf die Ergebnisse der UT-Prüfung analysiert.

9. Fachtagung Zerstörungsfreie Prüfung im Eisenbahnwesen, 15-17.03.2016

ERSTE EINBLICKE IN DIE MENSCHLICHEN FAKTOREN BEI DER WELLENPRÜFUNG IM EISENBAHNWESEN

Dr. Marija Bertovic, BAM

Dr. Christina Müller, BAM

Dr. Ralf Holstein, DGZfP Ausbildung und Training GmbH

Gliederung

| | |
|---|----|
| Vorstellung des Projektes und den Hauptergebnissen..... | 3 |
| Fragestellung..... | 9 |
| Methodik..... | 11 |
| Ergebnisse: Deskriptive Statistik..... | 16 |
| Ergebnisse: Korrelation mit dem Prüfergebnis..... | 24 |
| Aus der Literatur..... | 28 |
| Zusammenfassung und Ausblick..... | 32 |

PROJEKT

Zuverlässigkeit manueller Radsatzwellen UT- Prüfung bei der Ausbildung

Überblick über die vorhandenen Daten



| Anzahl | | Ringversuch | Erneuerungs- prüfung | Erstprüfung |
|------------|------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|
| Wellen | | 1 | 34 | 14 |
| Prüfköpfe | 45° | 10 | 26 | 10 |
| | 70° | 7 | 11 | 2 |
| Protokolle | | 26 | 731 | 19 |
| Messwerte | <u>insgesamt</u> | 272 | 5011 | 112 |
| | JR/Formecho | 97 | 2203 | 40 |
| | nicht nutzbar | 1 | 26 | 1 |
| | relevant | 174 (+0) | 2782 (+1383) | 71 (+5) |

Überblick über die vorhandenen Daten

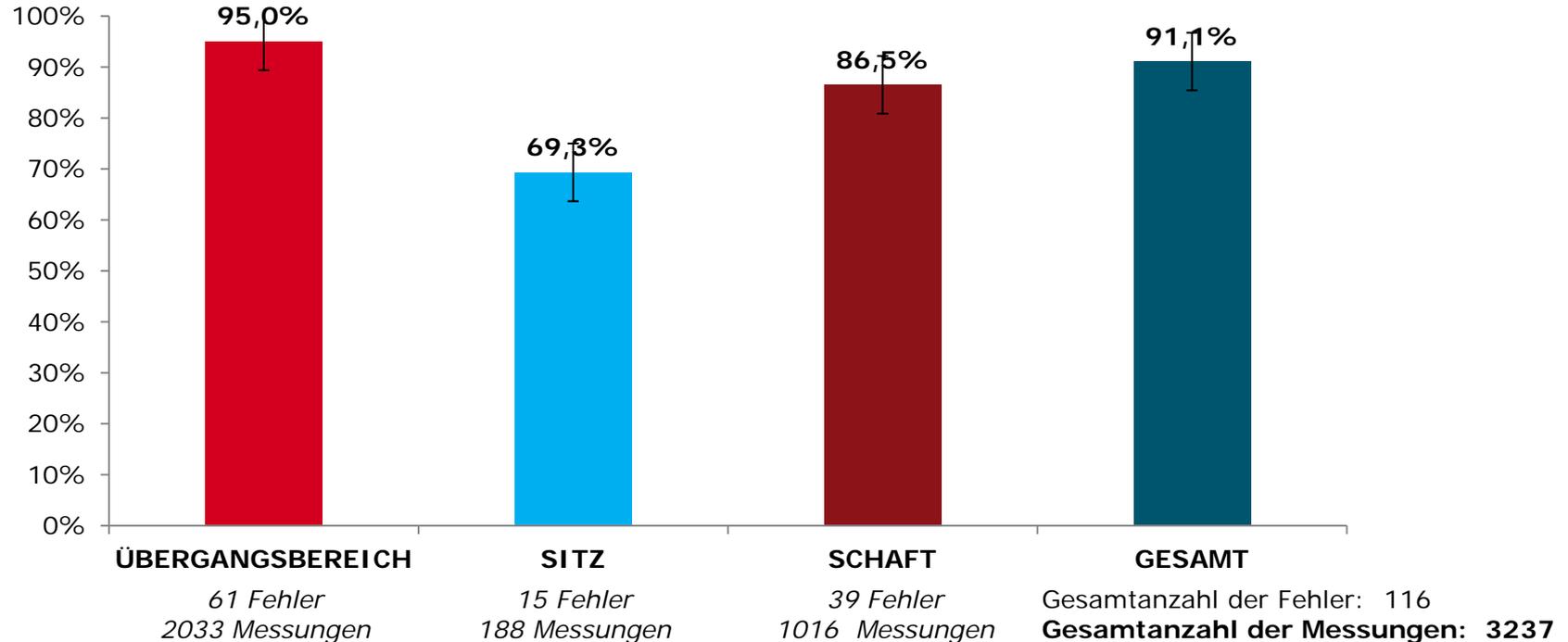
| Anzahl | | Ringversuch | Erneuerungsprüfung | Erstprüfung |
|------------|------------------|-------------|--------------------|-------------|
| Wellen | | 1 | 34 | 14 |
| Prüfköpfe | 45° | 10 | 26 | 10 |
| | 70° | 7 | 11 | 2 |
| Protokolle | | 26 | 731 | 19 |
| Messwerte | <u>insgesamt</u> | 272 | 5011 | 112 |
| | JR/Formecho | 97 | 2203 | 40 |
| | nicht nutzbar | 1 | 26 | 1 |
| | relevant | 174 | 2782 | 71 |

**gute
Datengrundlage**

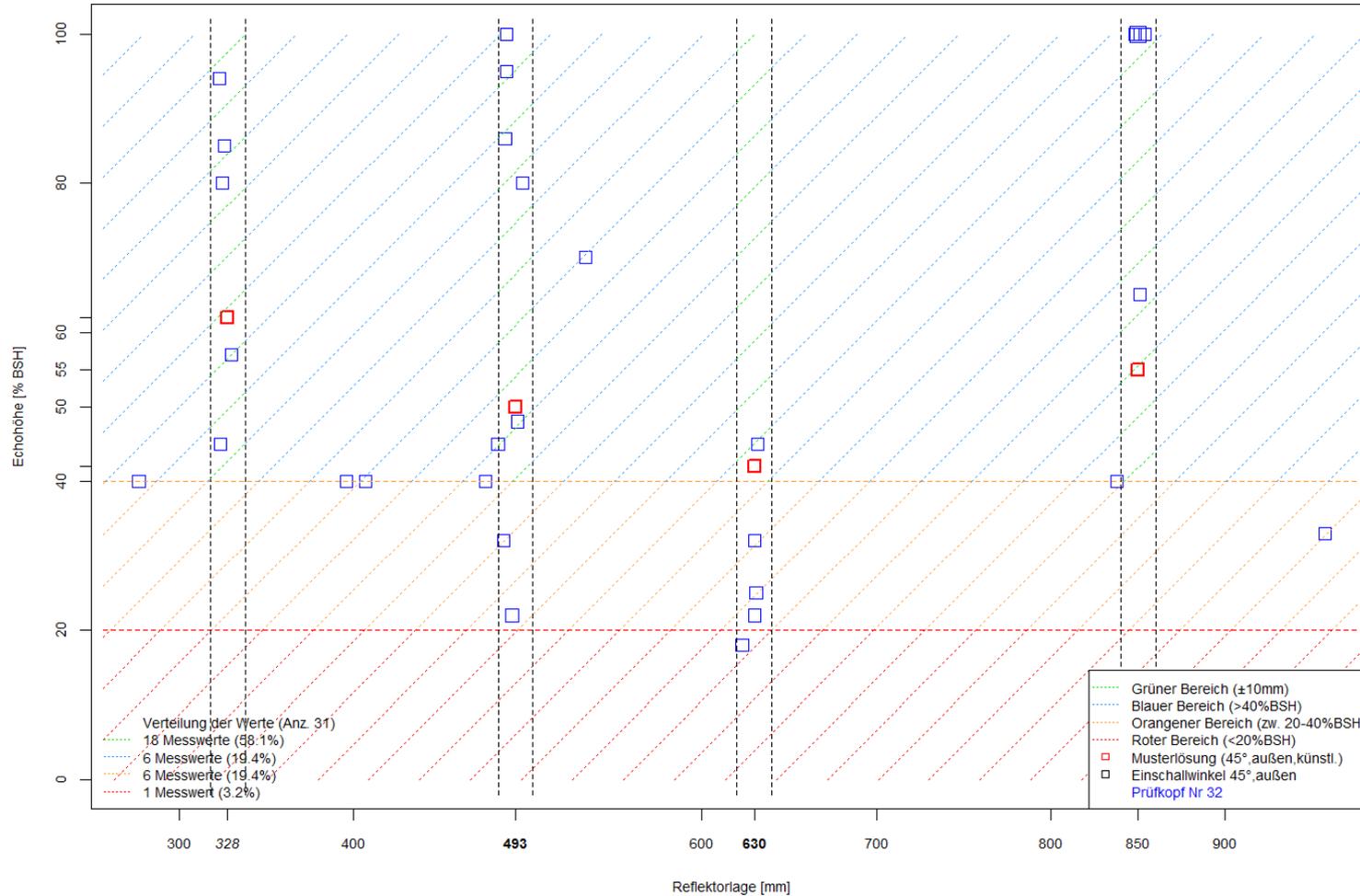
Erneuerungsprüfung - Auffindraten (POD)

Gesamtübersicht

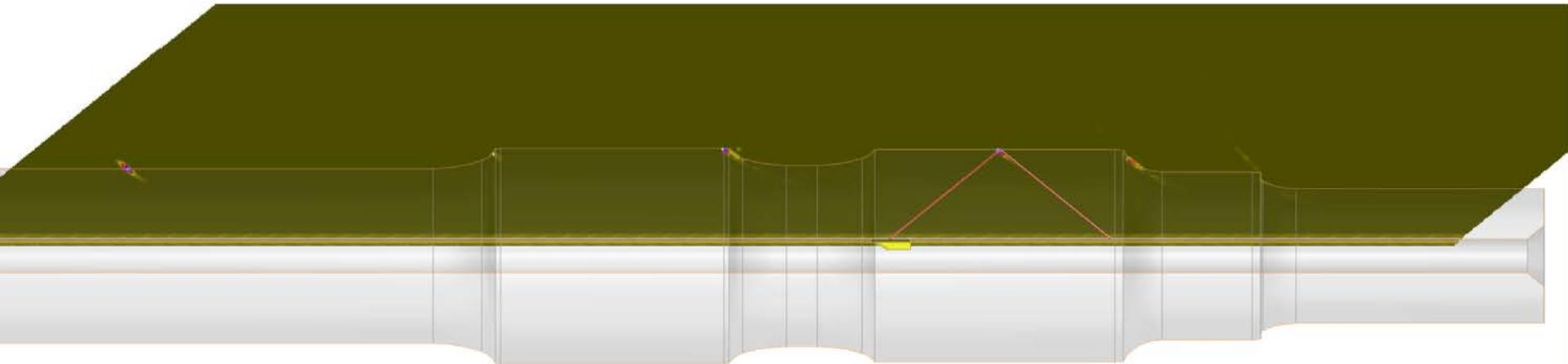
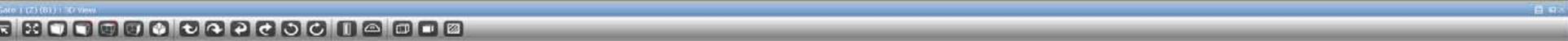
Gesamt-POD - Erneuerungsprüfung



Auswertung - UT1 EW Erneuerungskurs - Welle '57' 45°, außen



CIVA – Modellierung 45° außen





Fragestellung



Die Ergebnisse der Prüfer unterscheiden sich!

- Welche Faktoren führen zu diesem Unterschied?
- Wie kann man die Zuverlässigkeit der Ergebnisse erhöhen?

Was können wir über die Ausbildung lernen?

Kann man die Erkenntnisse auf die Praxis verallgemeinern?



Methodik



Fragebogen zur Ausbildung und anderen Einflussfaktoren

Fragen

- zur Person und Berufserfahrung
- zur Qualifikation und Prüfung
 - Prüfungssituation
 - berufliche Tätigkeit
- Psychische Arbeitsbeanspruchung
 - Prüfungssituation
 - berufliche Tätigkeit

Fragebogen zur Ausbildung und anderen Einflussfaktoren

Allgemeine Anleitung

Um die Qualität und Zuverlässigkeit der manuellen Ultraschallprüfung beurteilen zu können, führen wir regelmäßig einen so genannten Ringversuch durch. Die gewonnenen Daten werden wissenschaftlich untersucht und sollen Verbesserungspotentiale bei der Ausbildung, der Arbeitsorganisation und den Prüfbedingungen aufzeigen.

Uns interessiert zusätzlich, wie Ihre tägliche berufliche Tätigkeit aussieht und welche Faktoren Sie bei der Arbeit beeinflussen. Unser Ziel ist, diese ebenfalls zu untersuchen und möglicherweise die Bedingungen vor Ort langfristig zu verbessern.

Ihr Name ist für diesen Versuch nicht von Interesse, da keine Überprüfung Ihrer individuellen Leistung erfolgen soll. Wir fragen Sie dennoch nach einigen persönlichen Merkmalen, um zu kontrollieren ob das Prüfergebnis ggf. mit diesen Merkmalen zusammenhängt.

Lesen Sie bitte die Fragen, und beurteilen Sie dann auf einer Skala von 1 bis 10, inwieweit sie für Sie zutreffen.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Fragebogen zur Ausbildung und anderen Einflussfaktoren

Fragen

- zur Person und Berufserfahrung
- zur Qualifikation und Prüfung
 - Prüfungssituation
 - berufliche Tätigkeit
- Psychische Arbeitsbeanspruchung
 - Prüfungssituation
 - berufliche Tätigkeit

Fragebogen zur Ausbildung und anderen Einflussfaktoren

Fragen zur Person und Berufserfahrung

1. Ich bin * weiblich* männlich*

2. Mein Lebensalter beträgt* _____ Jahre

3. Bitte machen Sie Angaben zu Ihrer Berufserfahrung.
- Hoch- oder Fachschulstudium Abschluss als _____ Meister (Dipl.) Ing. _____
- Andere Abschlüsse bitte hier eintragen _____
- Seit wann arbeiten Sie in der Schienenfahrzeug-tastandhaltung? _____ Jahre
- UT-Qualifikation UT1 im Jahr _____ UT2 im Jahr _____ UT1 M1 im Jahr _____
- Wie oft besuchen Sie schon einen UT-Erneuerungskursus? _____ mal
- Wie oft führen Sie die manuelle Prüfung Radstrahlwellen mit Längsbohrungen durch? gewerkt ständig
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Qualifikation und Prüfung

4. In wieweit war die Ausbildung hilfreich für die Durchführung der Prüfung? nicht hilfreich sehr hilfreich
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

5. Wie verständlich sind die Prüferunterlagen? nicht verständlich verständlich
a) Prüfungsverweis/Prüferhinweise 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
b) Prüfprotokolle 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
c) Aufgabenstellung 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
d) Prüfplan 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

6. In wieweit sind sie motiviert für diese Prüfung? nicht motiviert sehr motiviert
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

7. Konufen Sie schon vor dem Kursus und der Prüfung Erfahrungen mit der Ultraschallprüfung oder einem anderen ZFP-Prüfverfahren* sammeln? nein ja
WELCHE und seit wann? _____

8. Fühlen Sie sich für diese Prüfung entsprechend vorbereitet? nein ja

Projekt POD-Bahn 07.11.2013 Seite 2 von 6

Fragebogen zur Ausbildung und anderen Einflussfaktoren

Fragen

- zur Person und Berufserfahrung
- zur Qualifikation und Prüfung
 - Prüfungssituation
 - berufliche Tätigkeit
- Psychische Arbeitsbeanspruchung
 - Prüfungssituation
 - berufliche Tätigkeit

Fragebogen zur Ausbildung und anderen Einflussfaktoren

Berufliche Tätigkeit

9. In wie weit sind Sie zufrieden mit der Qualität der Einweisung/fachlichen Anleitung durch die Prüfaufsichten in der täglichen Praxis? (z.B. Erklärungen, Aufgabeneinstellungen, usw.)

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------------|
| nicht zufrieden | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | sehr zufrieden |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------------|

10. In wie weit sind Sie mit den Arbeitsbedingungen vor Ort zufrieden? (z.B. Ausrichtung, Lärm, Sauberkeit, Temperatur, Platz und Zugänglichkeit, usw.)

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------------|
| nicht zufrieden | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | sehr zufrieden |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------------|

11. In wie weit sind Sie mit der Arbeitsvorbereitung im Werk zufrieden? (z.B. Vorbereitung der Prüfteile, Protokolle oder Dokumentationen, Laufertel, Zeitvorgabe, Koordination, usw.)

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------------|
| nicht zufrieden | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | sehr zufrieden |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------------|

12. In wie weit sind die Zuständigkeiten für Sie eindeutig geregelt (Verantwortlichkeiten)? (z.B. Beförderung, Ansprechpartner, Erreichbarkeit der Prüfaufsichten, usw.)

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----------|
| nicht eindeutig | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | eindeutig |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----------|

13. Wie ausreichend sind Sie qualifiziert (subjektive Einschätzung)?

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------------|
| nicht ausreichend | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | ausreichend |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------------|

14. Wie schätzen Sie Ihre Fähigkeiten als Prüfer ein?

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------|
| sehr schlechte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | sehr gut |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------|

15. In wie weit hat Sie die Ausbildung auf die täglichen Anforderungen vorbereitet?

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------|
| sehr schlechte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | sehr gut |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------|

16. Wie vollständig lesen Sie die Prüfungsweisung?

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|------------|
| gar nicht | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | sehr genau |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|------------|

Welche Faktoren sind für Sie bei der Ausbildung/Qualifikation wichtig?

Projekt POD-Bahn 07.11.2013 Seite 3 von 6

Fragebogen zur Ausbildung und anderen Einflussfaktoren

Fragen

- zur Person und Berufserfahrung
- zur Qualifikation und Prüfung
 - Prüfungssituation
 - berufliche Tätigkeit
- Psychische Arbeitsbeanspruchung
 - Prüfungssituation
 - berufliche Tätigkeit

Fragebogen zur Ausbildung und anderen Einflussfaktoren

| | Bei der Prüfung | | | | | | | | | | Bei Ihrer täglichen Berufstätigkeit | | | | | | | | | |
|--|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|------|
| 17. GEISTIGE ANFORDERUNGEN Wie austragend waren für Sie die Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung (z.B. denken, entscheiden, rechnen, erinnern, suchen)? | gering | | | | | | | | | hoch | gering | | | | | | | | | hoch |
| 18. KÖRPERLICHE ANFORDERUNGEN Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drehen, stressen, aktivieren, Gewicht der Testkörper, Zwangshaltung...)? | gering | | | | | | | | | hoch | gering | | | | | | | | | hoch |
| 19. ZEITLICHE ANFORDERUNGEN Wie viel Zeitdruck empfanden Sie während der Prüfung? | gering | | | | | | | | | hoch | gering | | | | | | | | | hoch |
| 20. EIGENE LEISTUNG Wie erfolgreich haben Sie, Ihrer Meinung nach, die vom Kursleiter/Prüfungsausschuss (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele? | gering | | | | | | | | | hoch | gering | | | | | | | | | hoch |
| 21. EIGENE ANSTRENGUNG Wie hart mussten Sie arbeiten um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen? | gering | | | | | | | | | hoch | gering | | | | | | | | | hoch |
| 22. FRUSTRATION Wie unsicher, entnervt, irritiert, gestresst und verärgert (im Gegensatz zu sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe? | gering | | | | | | | | | hoch | gering | | | | | | | | | hoch |

Ergebnisse: Deskriptive Statistik

Erneuerungsprüfung (Fragebögen bei der Übung ausgefüllt)

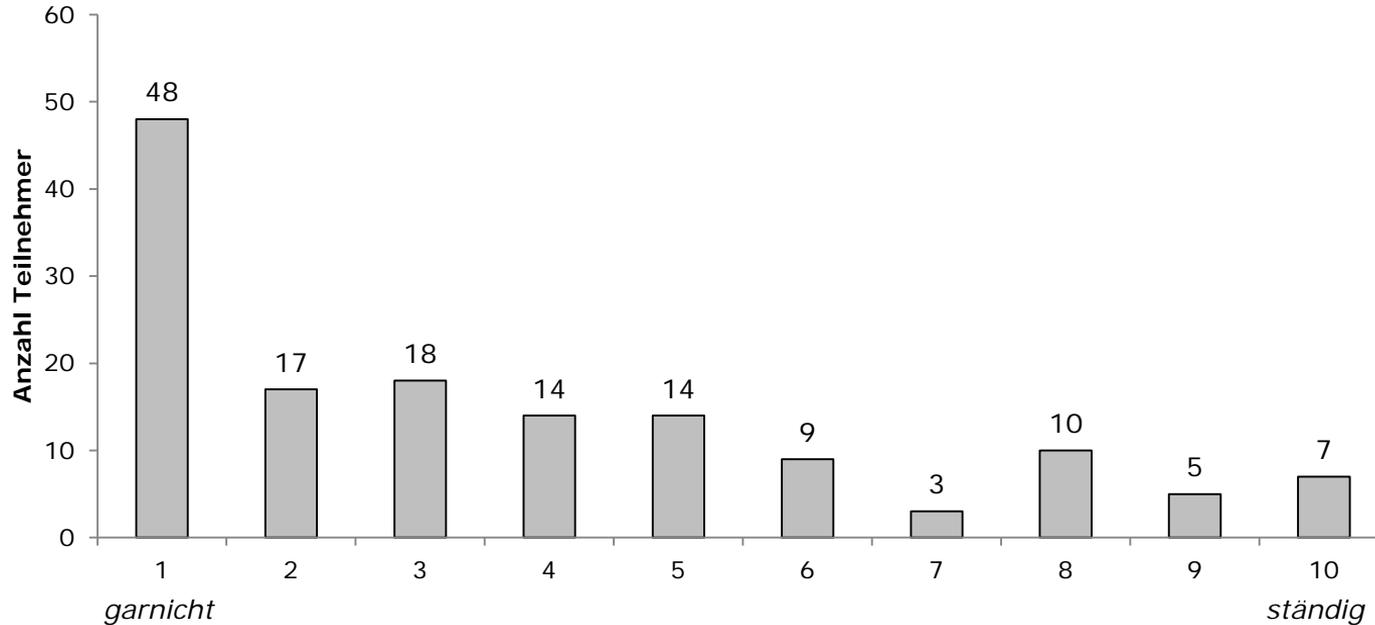
25 Radsatzwellen mit Längsbohrung

$N = 160$

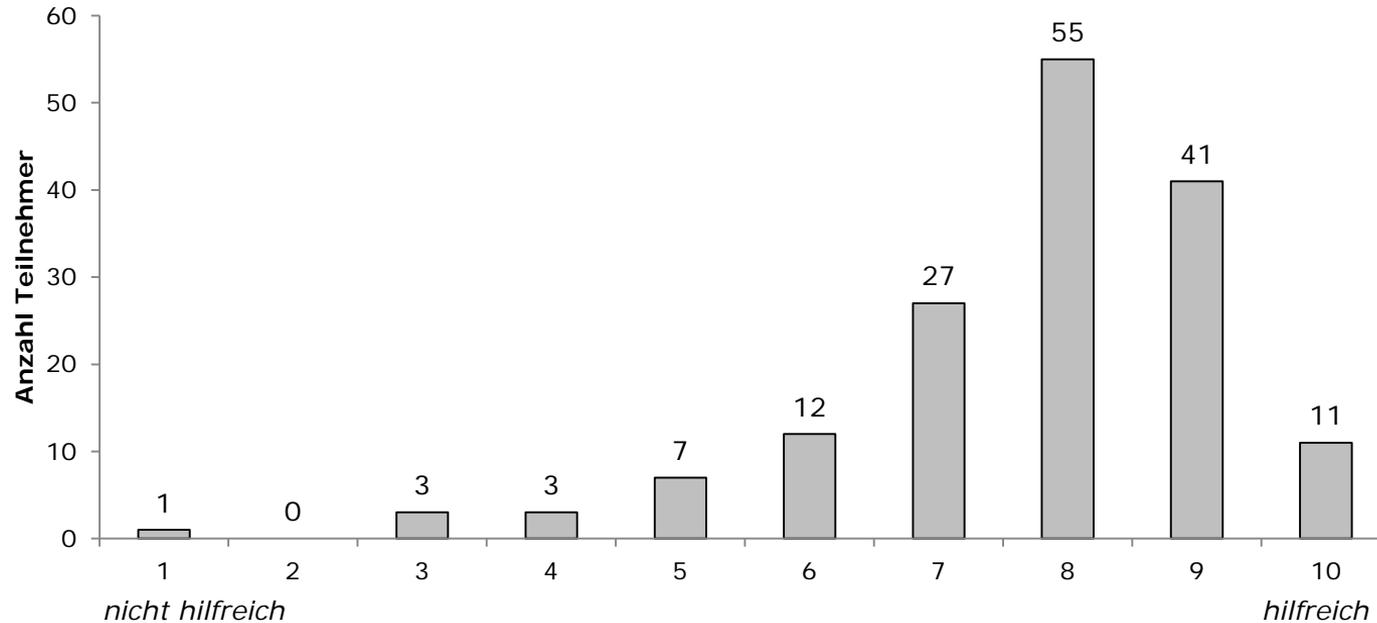
Alter: $M = 41.34$ Jahre; $SD = 9,9$

145 männlich, 5 weiblich, 10 nicht eingegeben

Häufigkeit manueller Radsatzwellen Prüfungen

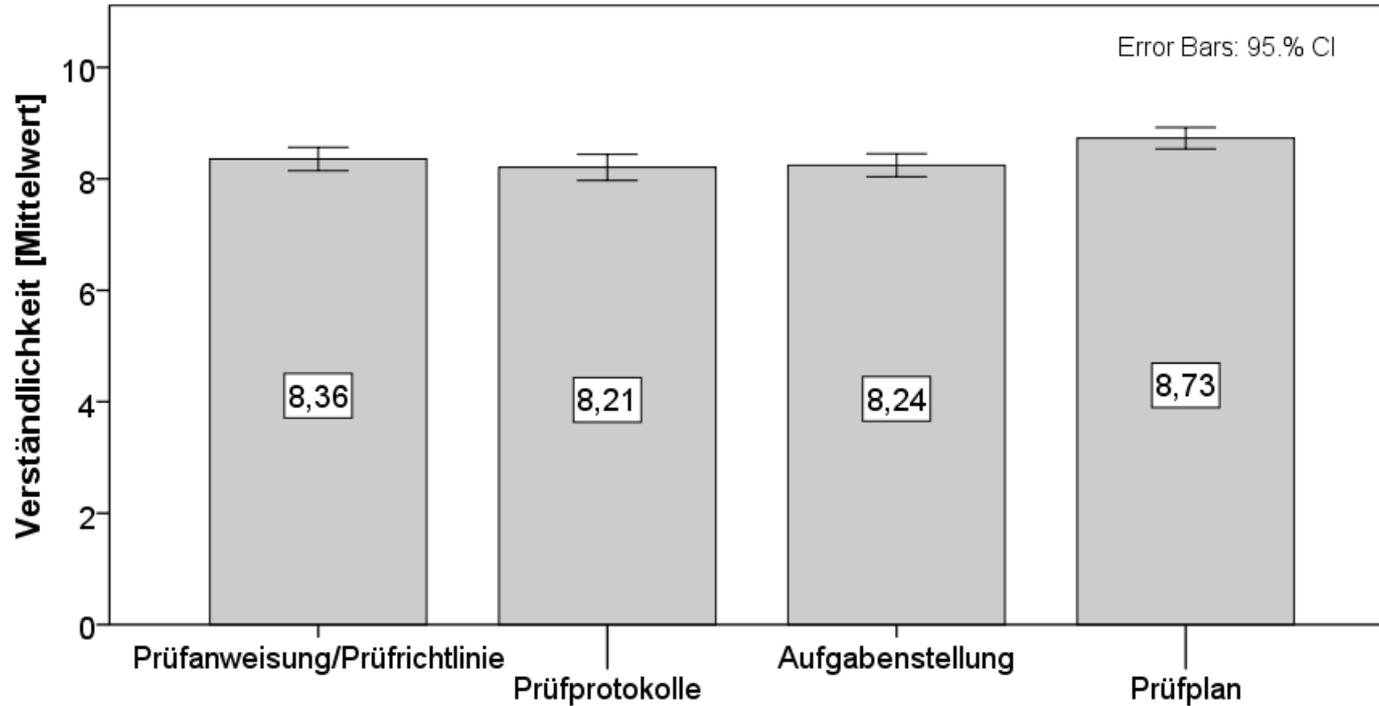


Vorbereitung für den Alltag durch die Ausbildung



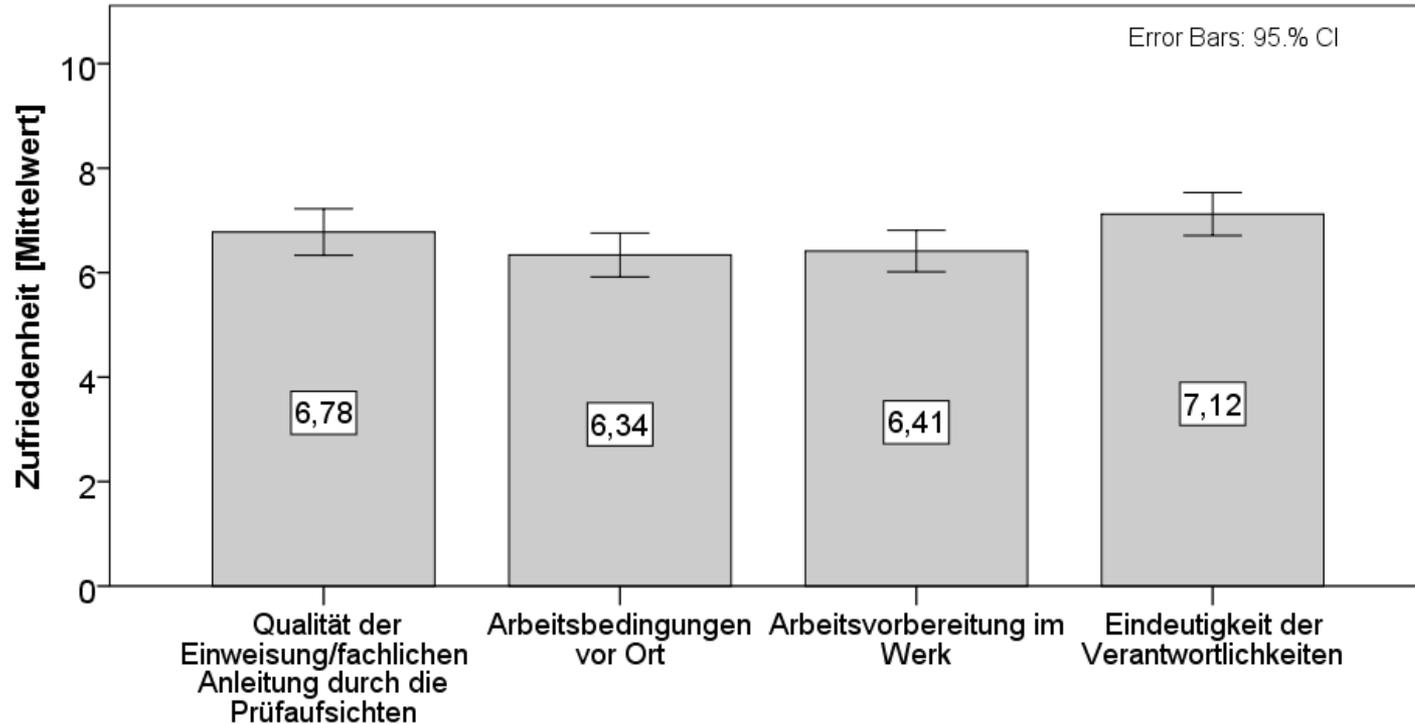
Verständlichkeit

Bei der Prüfung



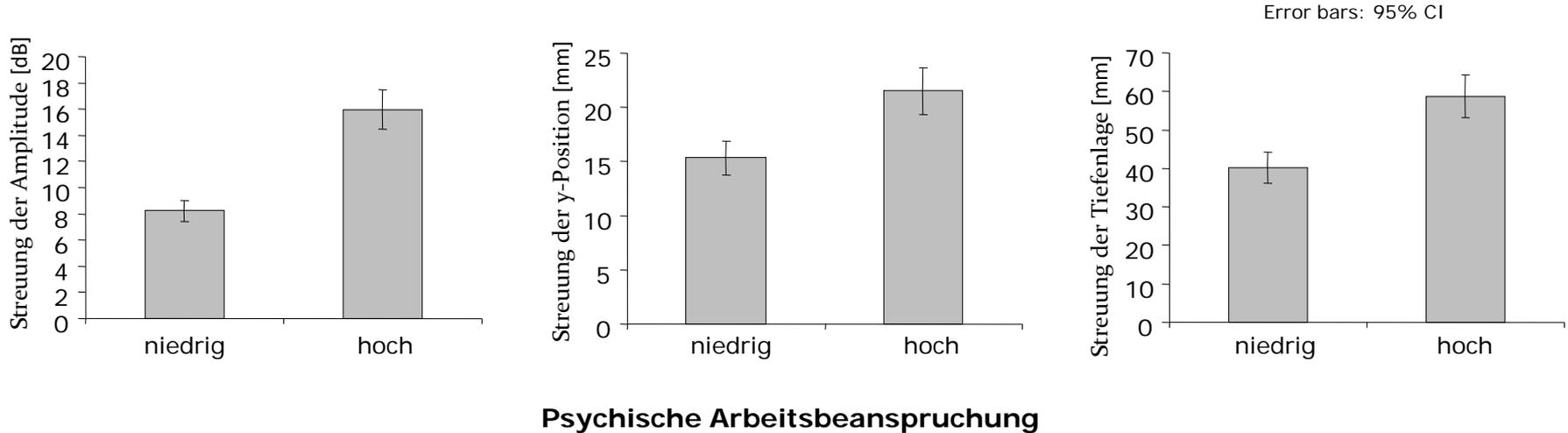
Zufriedenheit

Bei der beruflichen Tätigkeit



Beispiel – Inspektionsgenauigkeit*

Hypothese: mit hoher psychischer Arbeitsbeanspruchung steigt die Streuung (Inspektionsgenauigkeit nimmt ab)



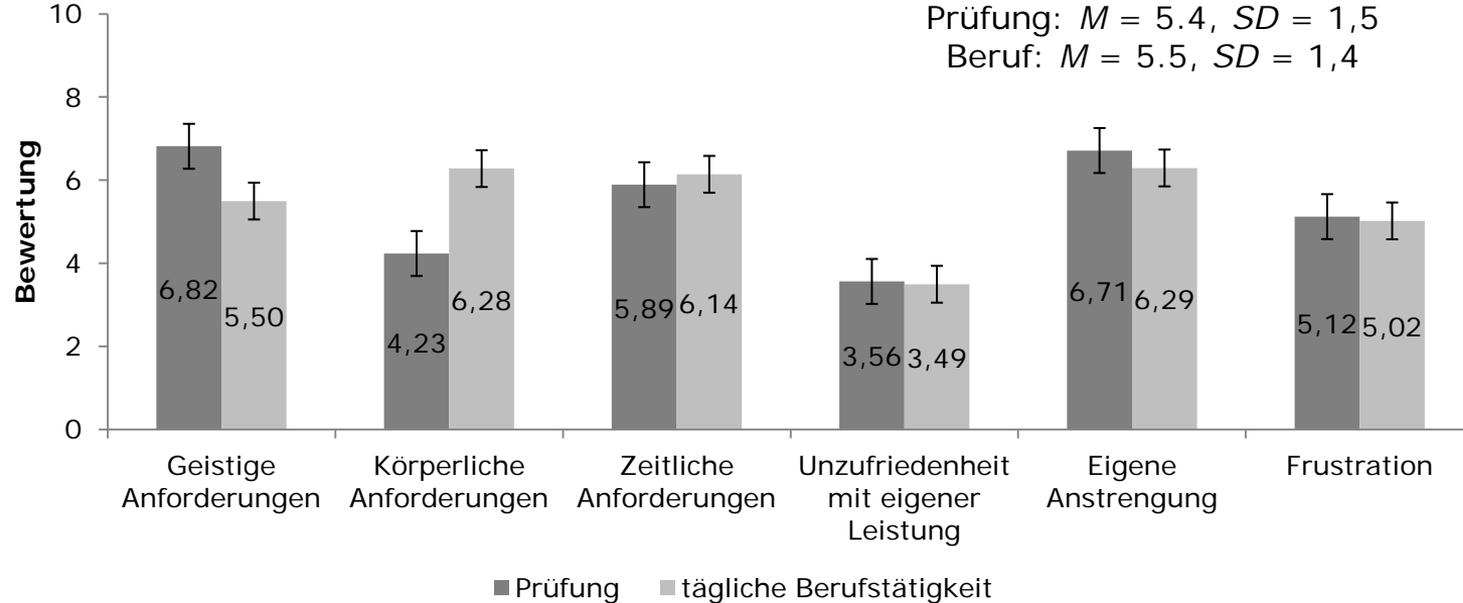
*Abbildung von Bertovic, M., Gaal, M., Müller, C., & Fahlbruch, B. (2011). Investigating human factors in manual ultrasonic testing: testing the human factors model. *Insight*, 53(12), 673–676. doi:10.1784/insi.2011.53.12.673

Psychische Arbeitsbeanspruchung

Bei der Prüfung und bei der beruflichen Tätigkeit

Psychische Arbeitsbeanspruchung

Prüfung: $M = 5.4$, $SD = 1,5$
Beruf: $M = 5.5$, $SD = 1,4$



Error bars: standard error

17. GEISTIGE ANFORDERUNGEN

Wie anstrengend waren für Sie die Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung (z.B. denken, entscheiden, rechnen, erinnern, suchen)?

18. KÖRPERLICHE ANFORDERUNGEN

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drehen, steuern, aktivieren, Gewicht der Testkörper, Zwangshaltung ...)?

19. ZEITLICHE ANFORDERUNGEN

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie während der Prüfung?

20. EIGENE LEISTUNG

Wie erfolgreich haben Sie, Ihrer Meinung nach, die vom Kursleiter/Prüfaufsicht (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

21. EIGENE ANSTRENGUNG

Wie hart mussten Sie arbeiten um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

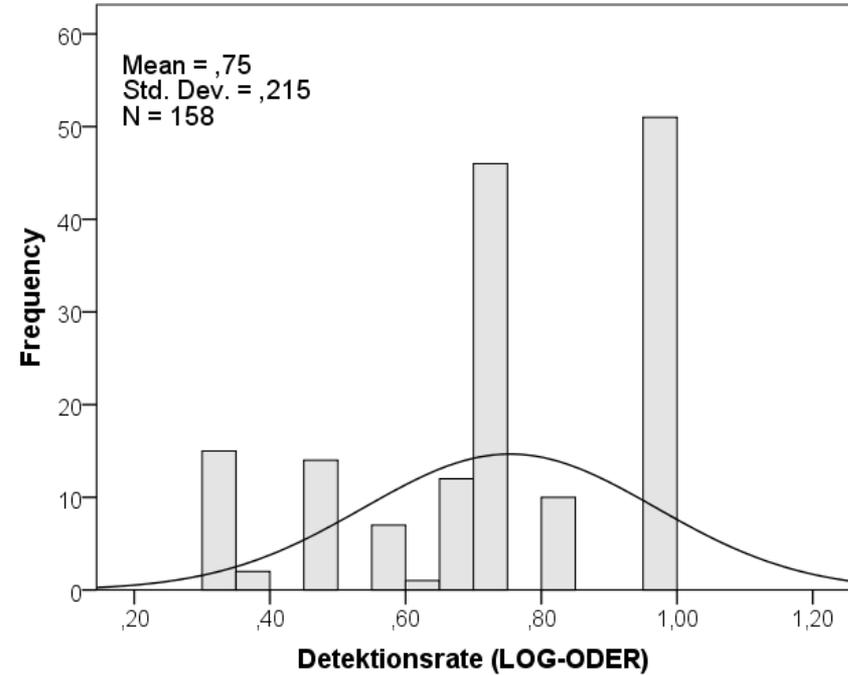
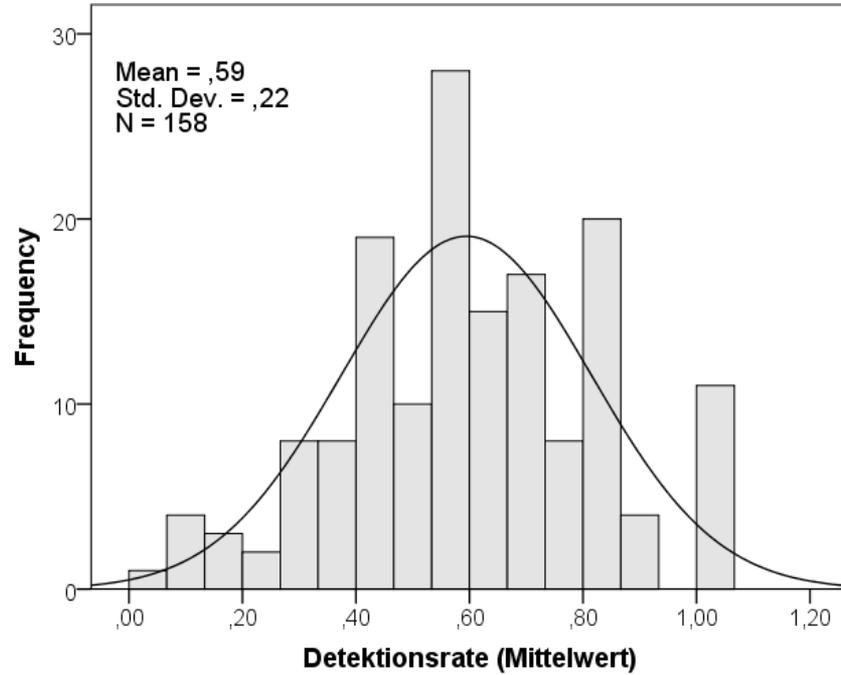
22. FRUSTRATION

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (im Gegensatz zu sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

Ergebnisse: Korrelation mit dem Prüfergebnis

Korrelation: Beziehung zwischen zwei oder mehreren Variablen,
aber KEINE Ursache-Wirkungs-Beziehung

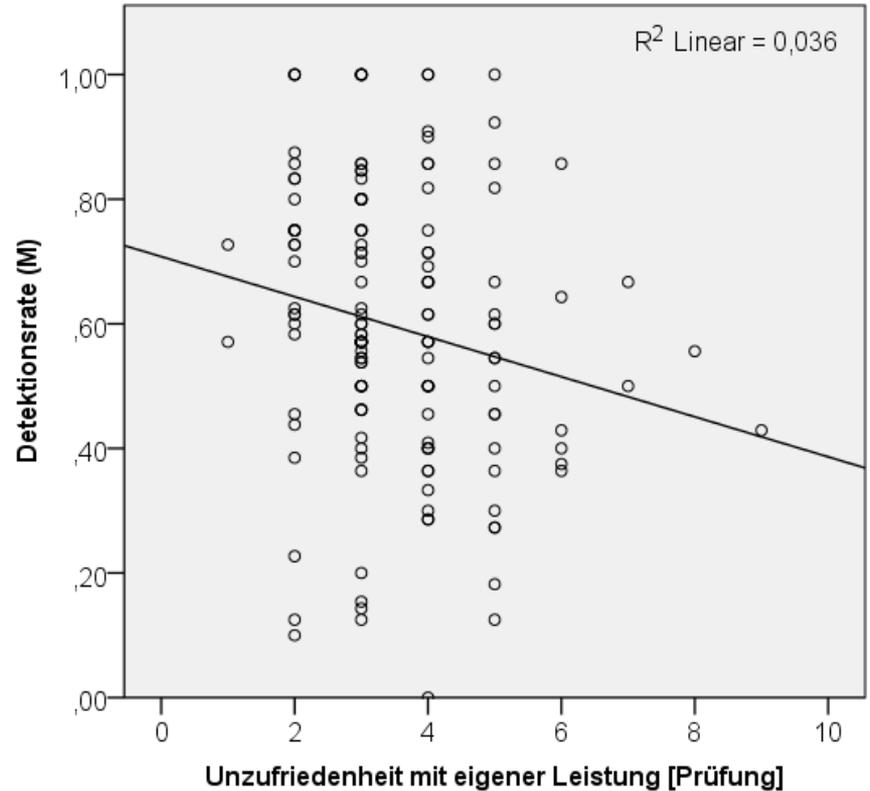
Detektionsrate



Korrelation

Signifikante, aber niedrige, *negative* Korrelation zwischen der **Detektionsrate (Mittelwert)** und der **Unzufriedenheit mit eigener Leistung** bei der Prüfung ($r = -.19^*$, $p < .05$, $N = 151$).

⇒ Die Detektionsrate nimmt ab mit der steigender Unzufriedenheit.



*Korrelationskoeffiziente (Field, 2009):

$r = \pm .10$ small

$r = \pm .30$ medium

$r = \pm .80$ large

Qualitative (explorative) Studie

- kein Design des Experiments

Die gemessene Faktoren

- *Indirekt* beitragende Faktoren

Weitere Einflussfaktoren?

- Nur 50% der Variabilität wurde durch die gemessenen Faktoren erklärt
 - Unterschiedliche Schwierigkeiten der einzelnen Reflektoren (z.B. geometrische Lage, Größe)
 - Detektionsrate Welle vs. Reflektor
-

Erste Einblicke in die menschlichen Faktoren bei der Ausbildung

- Verständlichkeit der Prüfunterlagen bei der Ausbildung
- Zufriedenheit mit der Ausbildung

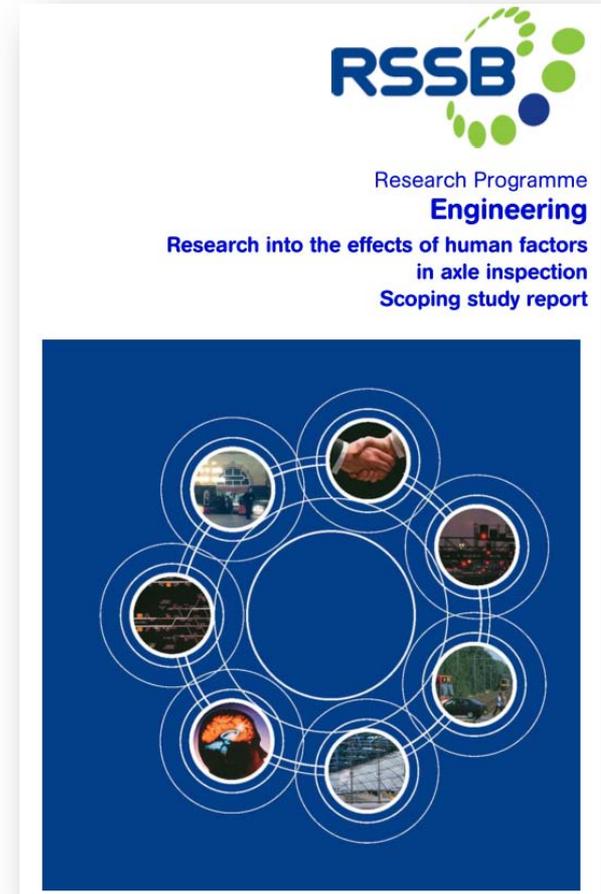
Erste Einblicke in die menschlichen Faktoren in der Praxis

- Verbesserungsmöglichkeiten: Einweisung, Prüfaufsicht, Arbeitsbedingungen

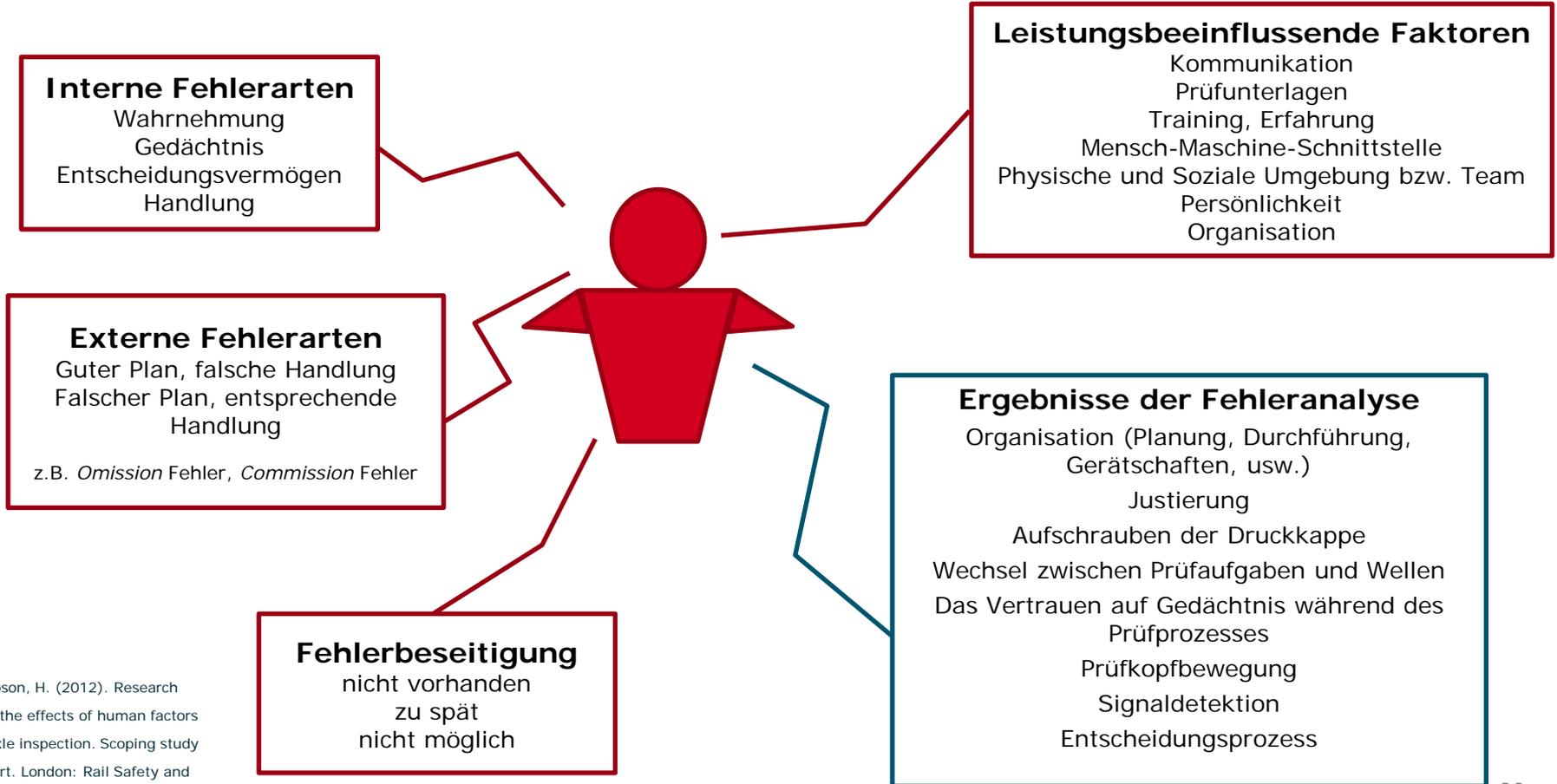


Aus der Literatur





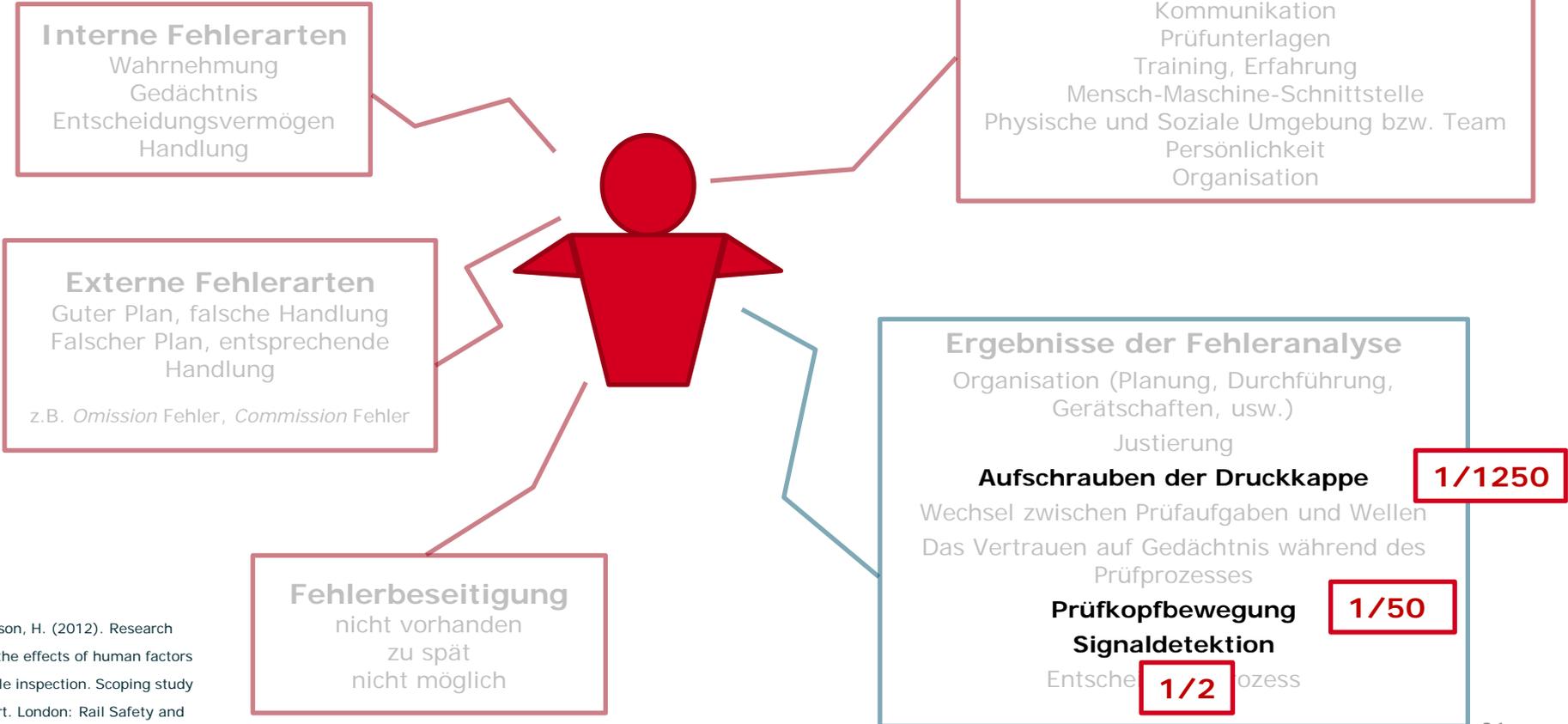
Einflussfaktoren und Fehlerarten*



*Gibson, H. (2012). Research into the effects of human factors in axle inspection. Scoping study report. London: Rail Safety and Standards Board.

Human Error Probability (HEP)*

Menschlicher Fehlerauftrittswahrscheinlichkeit



Interne Fehlerarten

Wahrnehmung
Gedächtnis
Entscheidungsvermögen
Handlung

Leistungsbeeinflussende Faktoren

Kommunikation
Prüfunterlagen
Training, Erfahrung
Mensch-Maschine-Schnittstelle
Physische und Soziale Umgebung bzw. Team
Persönlichkeit
Organisation

Externe Fehlerarten

Guter Plan, falsche Handlung
Falscher Plan, entsprechende Handlung

z.B. Omission Fehler, Commission Fehler

Ergebnisse der Fehleranalyse

Organisation (Planung, Durchführung, Gerätschaften, usw.)

Justierung

Aufschrauben der Druckkappe

1/1250

Wechsel zwischen Prüfaufgaben und Wellen

Das Vertrauen auf Gedächtnis während des Prüfprozesses

Prüfkopfbewegung

1/50

Signaldetektion

Entsche

1/2

prozess

Fehlerbeseitigung

nicht vorhanden
zu spät
nicht möglich

*Gibson, H. (2012). Research into the effects of human factors in axle inspection. Scoping study report. London: Rail Safety and Standards Board.



Zusammenfassung und Ausblick



-
- Die (manuelle) Ultraschallprüfung ist eine komplexe Aufgabe, bei der eine **Vielzahl an Faktoren** einen Einfluss auf das Ergebnis haben kann (Mensch, Technik, Organisation)

Ausblick

- Identifizierung weiterer möglichen Einflussfaktoren
 - Neuer Fragebogen
- Wechsel von indirekten auf direkte Einflussfaktoren
 - Experimentelle Studien
 - Eine **systematische** Untersuchung der Einflussfaktoren – z.B. anhand der FMEA (Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse) oder HRA (Human Reliability Analysis)

DANKSAGUNG

DGZfP Ausbildung und Training GmbH, Wittenberge

Fred Sondermann

Volker Muhs

BAM

Christopher Borko

Martina Rosenthal

Ludwig Bartsch
