

Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

Investigations of human-machine interaction using the
example of safe workpiece clamping during vertical turning

Authors:

Volker Wittstock
Patrick Puschmann
Adrian Albero Rojas
Matthias Putz
Technische Universität Chemnitz



Heinrich Mödden
Verein Deutscher
Werkzeugmaschinenfabriken e.V. (VDW)
Frankfurt am Main



Hannover, 17. September 2019



Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

Investigations of human-machine interaction using the
example of safe workpiece clamping during vertical turning

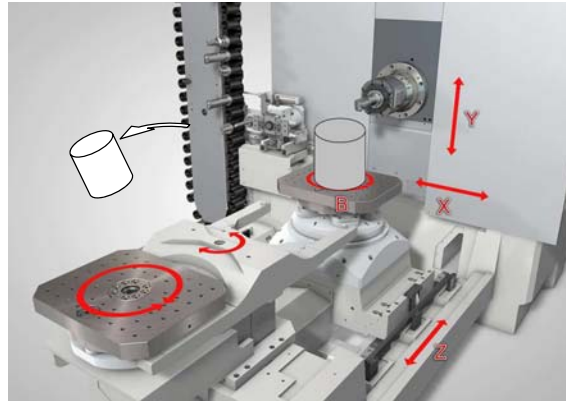
Content

1. Sicherheitstechnische Problemstellung des Vertikal-Drehens in Fräsmaschinen
2. Lösungsansatz: Nutzerstudie zur menschlichen Zuverlässigkeit
3. Stand der Technik zu HRA-Methoden (Human Reliability Assessment)
4. Nutzerstudie zur Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen
 - 4.1 Aufgabenanalyse – Qualitative Analyse
 - 4.2 Nutzertest – Quantitative Analyse
 - 4.3 Fehlerbaum zum Werkstückverlust auf Grund menschlicher Fehlhandlung
5. Nutzung der Versuchsdaten in der Simulationsrechnung

1. Sicherheitstechnische Problemstellung des Vertikal-Drehens in Fräsmaschinen

Sicherheitstechnische Herausforderung

- unzureichende theoretische und experimentelle Kenntnis der Bewegung eines sich unbeabsichtigt lösenden Dreh-Werkstücks in Fräsmaschinen
- Zunahme der Gefährdung durch Bruch der Spanneinrichtungen des Werkstücks
- wirtschaftlich umsetzbare Risikominderung für Bediener erfordert genauere Kenntnis der Gefährdung
- Unfallstatistik (DGUV) zeigt als Ursache für tödliche oder schwere Unfälle sehr häufig freigesetzte Werkstücke



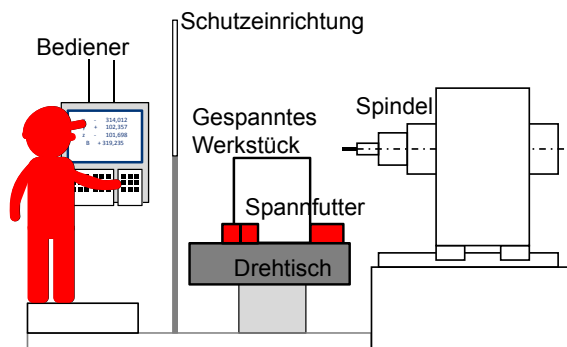
Picture source: Heckert GmbH

Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

1. Sicherheitstechnische Problemstellung des Vertikal-Drehens in Fräsmaschinen

Drei-Stufen Strategie der Risikominderung nach ISO 12100

1. Inhärent sichere Konstruktion
2. Technische Schutzmaßnahmen und/oder ergänzende Schutzmaßnahmen
3. Benutzerinformation wenn 1. und 2. vollumfänglich angewendet sind und relevante Restrisiken bleiben (Instruktive Sicherheit)



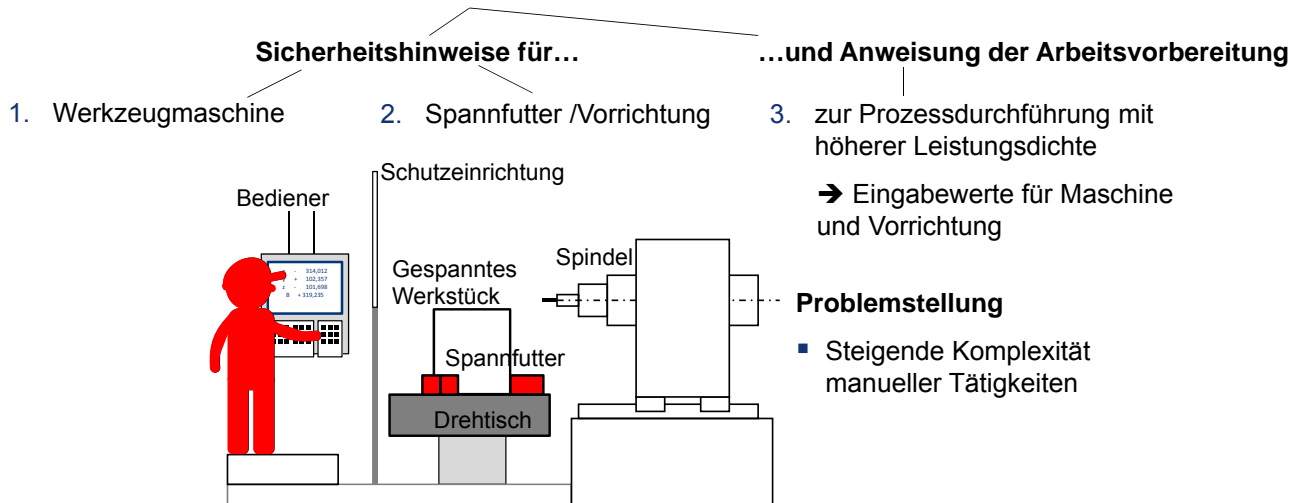
Problemstellung

- Beachtung der Instrukativen Sicherheit ist bedienerabhängig
- Der Einfluss des Bediener ist schwer erfassbar

Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

1. Sicherheitstechnische Problemstellung des Vertikal-Drehens in Fräsmaschinen

Allgemeiner Trend: Der Bediener hat zu beachten:...



Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

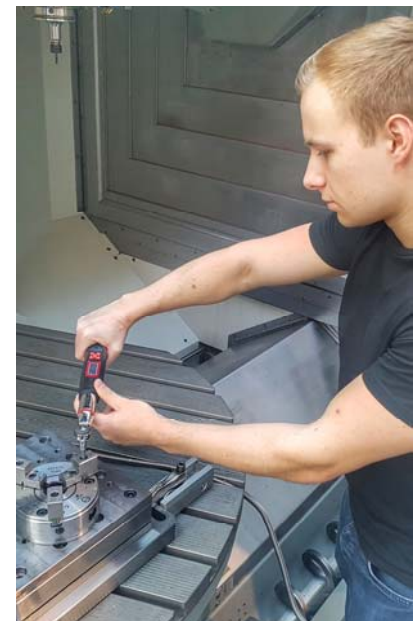
2. Lösungsansatz: Nutzerstudie zur menschlichen Zuverlässigkeit

Quantitative Erfassung von Bedienerfehlern

- ...um Eingangswerte für physikalischen Simulationen zu erhalten, die auf statistischen Versuchsdaten beruhen
- Ergebnis: Probabilistische Informationen zur Spannsicherheit in verschiedenen Bediensituationen

Erfassung von menschlichen Fehlhandlungen während des eigentlichen Spanns

- ...die in keiner mechanischen Berechnung Eingang finden
- ...die aber zu inkorrekten Spannzuständen und zu Unfällen führen können
- Ergebnis: Fehlerbaumanalysen werden zur Berechnung der menschlichen Fehlhandlungswahrscheinlichkeit (HEP) genutzt



Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

3. Stand der Technik zu HRA-Methoden (Human Reliability Assessment)

Generelles Vorgehen nach VDI 4006-2

- Problembeschreibung, Definition der Systemgrenzen
- Qualitative Analyse der Aufgabe
 - Sammeln von Informationen und Aufzeichnung von Bedienhandlungen durch direkte Beobachtung und ableiten von Handlungsschritten
- Quantitative Vorhersage
 - Identifikation von menschlichen Fehlhandlungen, die in einem Nutzertest ermittelt werden und eine quantitative Analyse ermöglichen
 - Anwendung der HEART-Methode, mit der Werte der Literatur und der Experimente verarbeitet werden
- Validierung und Dokumentation

Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4. Nutzerstudie zur Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4.1 Aufgabenanalyse – Qualitative Analyse

Praxisorientierte Aufgabenanalyse

(abgeleitet aus Beobachtung von Dreh- und Fräsbearbeitung)

1. Vorüberlegung zur Bearbeitungs- und Spannstrategie
2. Vorbereitung des Spannfutters und Maschinentisch
3. Einspannen des Werkstücks
4. Dateneingabe und Bearbeitung

Mögliche Fehlhandlungen

Ausführungsfehler, die bei der Werkstückspannung auftreten können:

- Auswahlfehler: ungeeignete Spannbacken ausgewählt, falsche Montage
- Kontrollfehler: Kontrolle nicht durchgeführt oder Messgeräte falsch genutzt
- Qualitativer Fehler: vorgegebenes Anzugsmoment unter-/überschritten
- Verwechslungsfehler: Verwechslung +/- bei Steuerungseingaben

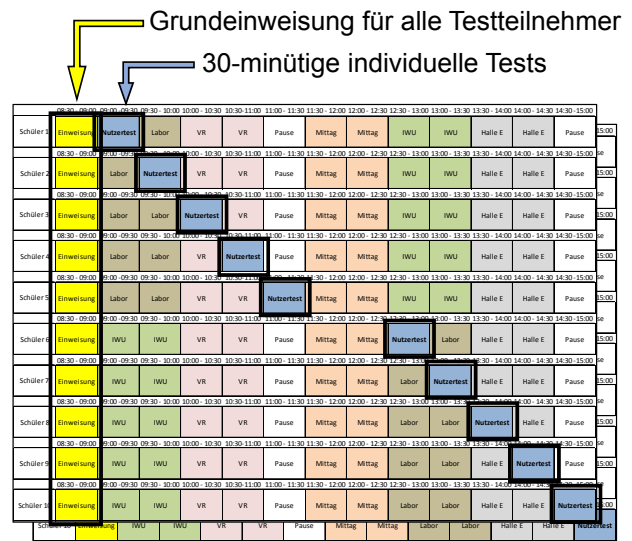
Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4. Nutzerstudie zur Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4.2 Nutzertest – Quantitative Analyse

Probanden und Ablauf

- 17 Schüler einer Berufsschulklasse (Industriemechaniker) 3. Lehrjahr
- Erfahrung bzgl. Fräsen und Drehen lagen zwischen 2 Tagen und 1 Jahr
- Tests erfolgten an 2 Tagen
- Zur Verfügung standen die originale Bedienungsanleitung des Spannfeeders und ein komplett ausgestatteter Werkzeugwagen



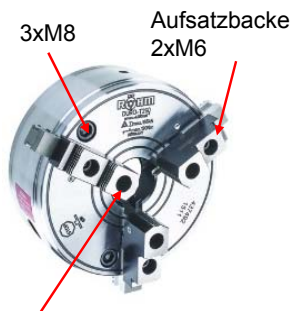
Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4. Nutzerstudie zur Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

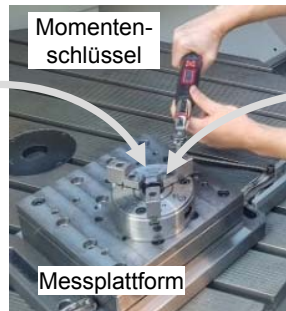
4.2 Nutzertest – Quantitative Analyse

Ablauf der Tests

- Aufgabe 1: Identifikation der menschlichen Fehler beim Spannen des Werkstücks A (14.5 min), einschließlich des Erkennens bestehender Fehler
- Aufgabe 2: Messung der Anzugsmomente. Welche Spannkraft wird tatsächlich erreicht? (14.5 min)



lose M6 während des Tests



Spannkraftmessgerät



- Aufgabe 3 (1 min): Fehler, sobald versucht wird, das Werkstück B einzuspannen, da der vorgegebene maximale Spanndurchmesser überschritten wird.

Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4. Nutzerstudie zur Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen 4.2 Nutzertest – Quantitative Analyse

Ergebnisse Aufgabe 1: Identifikation menschlicher Fehlhandlungen

Beobachtung	Wahrscheinlichkeit	Verwendung im Fehlerbaum
1- Reinigung	0,31	→ entfällt, weil im Fehlerbaum unter AV
2- Direkte Werkstückeinspannung	0,75	→ ist Fehler 7 falsche Spannbacke genutzt (0,81) → V9
3 - Kontrolle Futterbefestigung	0,69	→ zusammengefasst (0,81) → V2
4 - Beschädigte Schraube	0,81	
5 - Lockere Schraube	0,63	→ siehe Fehler 2
6 - Güteklasse Schraube	0,81	
7 - Spannbacken berücksichtigt	0,81	→ V8
8 - Einspannposition	0,31	→ entfällt, kein Einfluss auf Ergebnis
9 - Anzeigestift berücksichtigt	0,69	→ entfällt, kein Einfluss auf Ergebnis
10 - Verwendung Bedienungsanleitung	0,88	→ entfällt, kein Einfluss auf Ergebnis
11 - Verwendung Zusatzinformationen	0,69	→ entfällt, kein Einfluss auf Ergebnis
12 - Verwendung Drehmomentschlüssel	0,75	→ kein Momentschlüssel genutzt=Kontrollfehler → V12
13 - Überprüfung Anzugsmomente M8	0,75	→ zusammengefasst (0,81) → V5
14 - Überprüfung Anzugsmomente M6	0,81	
15 - Max. Spannkraft nicht nachgelesen	0,81	→ entfällt, kein Einfluss auf Ergebnis
16 - M8 Schrauben nachgezogen	0,80	→ entfällt, erfordert erweiterten Fehlerbaum
17 - M6 Schrauben nachgezogen	0,75	→ entfällt, erfordert erweiterten Fehlerbaum
18 - Max. Durchmesser berücksichtigt	0,31	→ entfällt, erfordert erweiterten Fehlerbaum

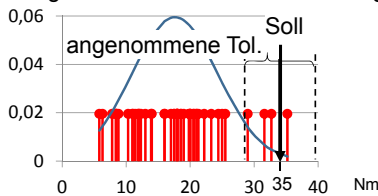
Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4. Nutzerstudie zur Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen 4.2 Nutzertest – Quantitative Analyse

Ergebnisse Aufgabe 2: Messung der Anzugsmomente und der Spannkraft

Kombination aus empirischer Dichtefunktion mit diskreten Werten

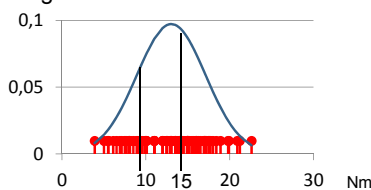
Anzugsmoment der Drehfutterbefestigung M8



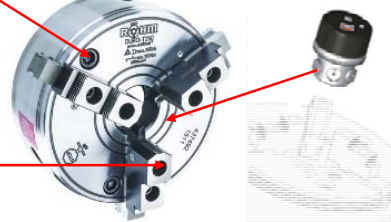
$$HEP = 1 - \int_{x_0}^{x_1} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

→ for links V 4.1/4.2 and V11

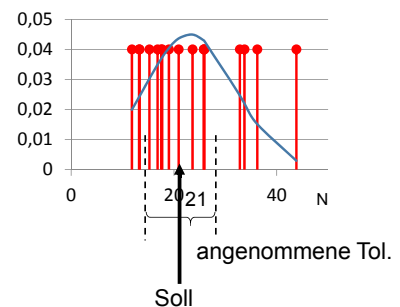
Anzugsmoment der Aufsatzbacken M6



gegebene Toleranz



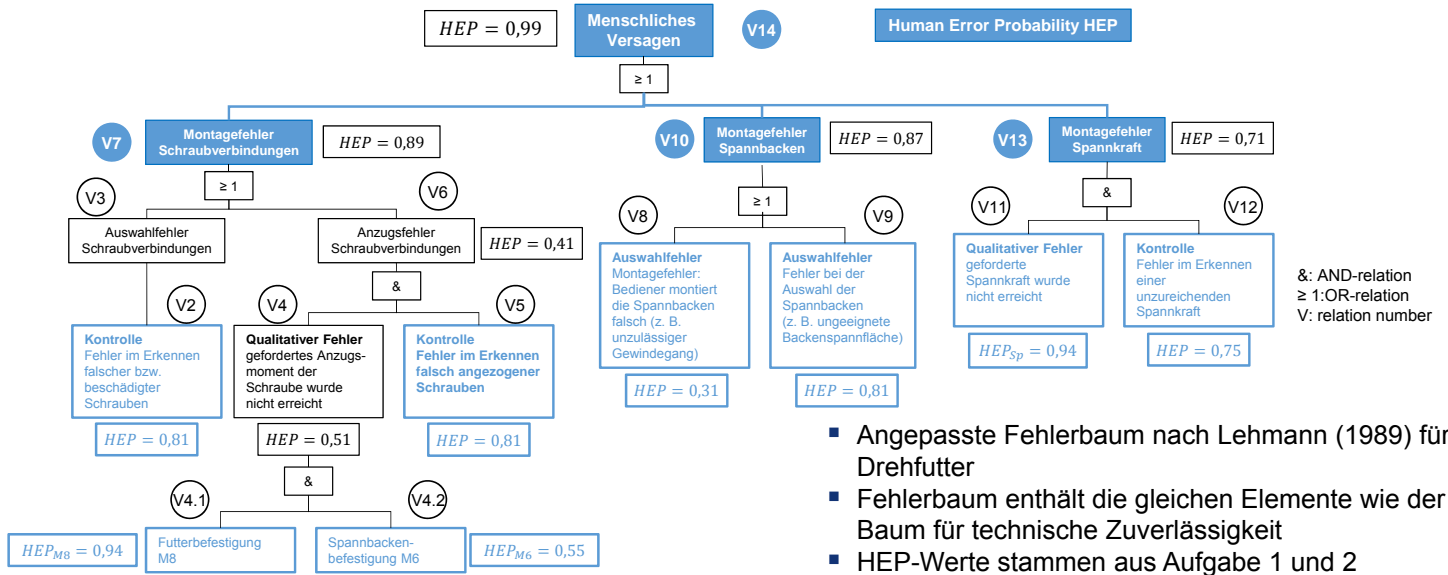
Gemessene Spannkraft des Werkstücks



Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4. Nutzerstudie zur Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4.3 Fehlerbaum zum Werkstückverlust auf Grund menschlicher Fehlhandlung



- Angepasste Fehlerbaum nach Lehmann (1989) für Drehfutter
- Fehlerbaum enthält die gleichen Elemente wie der Baum für technische Zuverlässigkeit
- HEP-Werte stammen aus Aufgabe 1 und 2

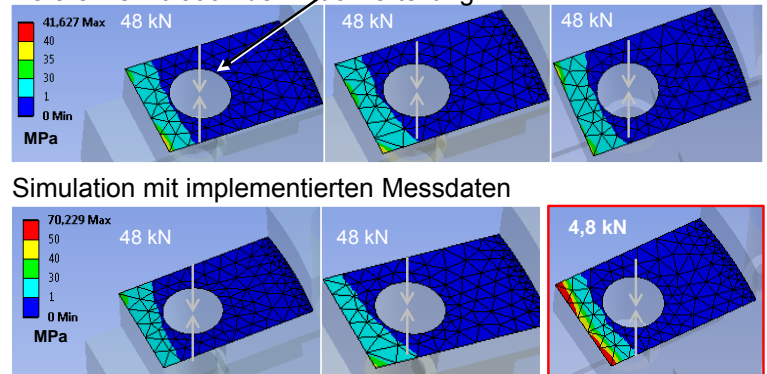
Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

5. Nutzung der Versuchsdaten in der Simulationsrechnung

Beispielhaftes Ergebnis: Druckverteilung auf Auflagefläche

- Die Anzugsmomente für die Befestigung der Aufsatzbacken hat Einfluss auf die Spannkraft
- Die nicht-korrekte angezogene Schraube wurde in den Test von den meisten Teilnehmern nicht erkannt.
- Die Vorspannung wurde in der Simulation für eine Schraube auf 10% gesenkt.
- Es ist eine deutliche Erhöhung der Flächenpressung erkennbar.
- Diese Szenario kann zu einer leichten Anfangsneigung des Werkstücks führen

Referenzsimulation der Druckverteilung



Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

Ausblick und Angebot

Weitergehende Schritte

- Mit dem VDW ist ein Projekt beantragt, die Untersuchungen weiterzuführen:
 - mit mehr Probanden
 - mit höherer Heterogenität der Probanden (nicht nur Lehrlinge)
 - Ableitung von Maßnahmen wie die instruktive Sicherheit verbessert werden kann
- ➔ Verbesserte Instruktion durch Verständnis von Ursache-Wirkungsrelationen

Beteiligung an Nutzertests

- Teilnahme von erfahrenen Maschinenbedienern
- Nutzertests können auch ortunabhängig geplant werden
- angesprochen sind Fertigungsunternehmen mit hohem Anteil manueller Spannvorgängen
- aktive Teilnahme am Projekt durch Mitarbeit im projektbegleitenden Ausschuss

Normen und Richtlinien

- Impulse für Instruktionen und den Arbeitsschutz
- Beitrag und Impulse zur Normungsarbeit
- z. B. Einheitsblatt VDMA 34125 – Sicherheitsanforderungen für Spannvorrichtungen zur Verwendung an Maschinen

Untersuchungen der Mensch-Maschine-Interaktion am Beispiel sicherer Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen



15

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Danksagung

- Die Autoren danken dem Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V. für die Förderung der Studien (Gefährdungsrisiko durch freigesetzte Werkstücke bei Verfahrensintegration Drehen in Fräsmaschinen mittels probabilistischer Berechnungsansätze – RisDre1 und 2 (VDW-FI 020/029).
- Besonders Herr Hans-Jürgen Theileis von der Heckert GmbH gab wertvolle Hinweise bei der Bearbeitung der Studien!
- Die Autoren danken außerdem den Auszubildenden der Richard-Hartmann-Schule Chemnitz für die Beteiligung an der Nutzerstudie.

