

Untersuchung der Mensch-Maschine-Interaktion bei der Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

Volker Wittstock, Patrick Puschmann, Adrian Albero Rojas, Matthias Putz und Heinrich Mödden

1. Sicherheitstechnische Problemstellung Vertikal-Drehen in Fräsmaschinen

Die Auswertung von Unfallzahlen an Produktionsmaschinen der vergangenen Jahre zeigt, dass nach Jahren sinkender Unfallzahlen eine Stagnation eintritt (Mödden 2018). Der Unfallstatistik der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) ist außerdem zu entnehmen, dass die Ursache für tödliche oder schwere Unfälle sehr häufig freigesetzte Werkstücke sind. In den meisten Fällen lagen mangelhafte Aufpannsituationen vor (Kesselkaul Meyer 2016). Wenn die Möglichkeiten der inhärent sicheren Konstruktion und der technischen Schutzmaßnahmen ausgeschöpft sind und trotzdem Restrisiken verbleiben, muss im Schritt 3 die Benutzerinformation, die als instruktive Sicherheit zusammengefasst wird, darauf hinweisen (Neudörfer 2014, ISO 12100 2011, MRL 2006). Das Problem ist hierbei, dass die Beachtung der instruktiven Sicherheit vom Bediener abhängig ist.

Das Vertikal-Drehen auf Fräsbearbeitungszentren ist ein arbeitssicherheits-technisch besonders kritischer Prozess, weil dafür die Maschine mit vollwertigen Rotationsachsen für das Werkstück ausgerüstet wird. Durch die hohen Drehzahlen der Werkstücke steigen deren kinetische Energie und damit das Gefährdungsrisiko gegenüber der reinen klassischen Fräsbearbeitung stark an. Im Stillstand und bei geringen Drehzahlen hat das Werkstück dagegen in der Regel einen sicheren Stand und vermittelt dem Maschinenbediener unter Umständen eine trügerische Sicherheit. Wird das Werkstück außerdem manuell gespannt, entstehen trotz ausreichender technischer Zuverlässigkeit des Systems "Werkzeugmaschine-Spannmittel-Werkstück" Unwägbar-

keiten, die rein auf das menschliche Handeln also die Mensch-Maschine-Interaktion zurückzuführen sind. Die auf einer bewährten Risikoabschätzung beruhende normungstechnische Konvention erfordert Überwachungsfunktionen und instruktive Sicherheit für die konkrete Werkstückspannung (ISO 16090 2017). Sie setzt also quasi einen idealen und z. B. nicht ermüdenden und immer richtig handelnden Maschinenbediener voraus. Die oben erwähnten Unfallzahlen sind ein Beweis, dass die reale Situation nicht befriedigend ist.

Die wesentliche Frage ist: Wie kann die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) als Teil des Maschinendesigns sicherer gestaltet werden? Und auf das konkrete Beispiel bezogen: Wie kann die Instruktion so verbessert werden, dass schwere Unfälle verhindert werden? Um diese Frage zu beantworten, ist es im ersten Schritt notwendig, den Einfluss der menschlichen Unzuverlässigkeit zu quantifizieren, um ihn so sowohl in technisch-physikalische Auslegung als auch in die Bewertung der Maschinensicherheit einfließen zu lassen.

2. Lösungsansatz: Nutzerstudie zur menschlichen Zuverlässigkeit

Um die menschliche Zuverlässigkeit als die größte Schwachstelle der MMI "Werkstückspannung für das Vertikal-Drehen" besser beurteilen zu können, sind Untersuchungen der menschlichen (Fehl-)Handlungen notwendig. In einer ersten Nutzerstudie wurden deshalb die Bedienerhandlungen praktisch quantifiziert. Damit wurde es möglich, einerseits durch statistische Versuchsdaten Eingangswerte für die physikalischen Simulationen (FEM, MKS) zu gewinnen und so probabilistische Aussagen zur Spannsicherheit von Werkstücken in unterschiedlichen Betriebssituationen zu erhalten. Andererseits sind aber auch mögliche menschliche Fehlhandlungen beim Spannvorgang quantifizierbar, die zwar bisher in keiner mechanischen Rechnung Eingang finden, die aber z. B. zu falschen Montagezuständen führen und in letzter Konsequenz zu Unfällen.

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

Die Untersuchung der menschlichen Zuverlässigkeit erfolgt mit sogenannten HRA-Methoden (Human Reliability Assessment). Deren Einzelfunktionen – Identifikation menschlicher Fehler, Darstellung menschlicher Fehlermecha-

nismen, Quantifizierung dieser Fehler und die Reduktion menschlicher Fehler – werden mit einer standardisierten Vorgehensweise realisiert (VDI 4006-2 2017). Die vier Schritte sind Definition der Problemstellung, qualitative Analyse der Aufgabe, quantitative Vorhersage und Auswertung/Dokumentation. Die in einer Beobachtungsstudie identifizierten möglichen menschlichen Fehlhandlungen werden mit einem Nutzertest untersucht, die eine quantitative Erfassung ermöglichen. Im Mittelpunkt einer HRA-Analyse steht die Ermittlung von zwei wichtigen Kenngrößen: HEP - Human Error Probability, die Wahrscheinlichkeit einer menschlichen Fehlhandlung, d. h., die Relation zwischen einer Zahl n beobachteter Fehler zu einer Zahl N der Möglichkeiten für einen Fehler und deren Komplement HRP – Human Reliability Probability ($HRP = 1 - HEP$).

Der Einsatz von HRA-Methoden ist aus vielen Bereichen bekannt. Zum einen spiegeln sie Bereiche wieder, in denen die Sicherheit eine tragende Rolle spielt. Andererseits sind es Anwendungen, bei denen die alleinige Betrachtung technischer Aspekte nicht ausreicht. Dazu zählen die Untersuchungen in Kernkraftwerken (Swain Guttman 1983). Aber sie werden auch in anderen Bereichen eingesetzt, wie in der Automobilindustrie (Albers 1995), Verfahrenstechnik (Bongartz et al. 1998), Luftfahrt (Reichart 2001), Seefahrt (Payer 1994), im Eisenbahnverkehr (Hammerl 2011) und Straßenverkehr (Reichart 2001). In aktuellen Forschungsarbeiten liegt der Fokus dagegen auf der Qualität von Arbeitsergebnissen unter dem Einfluss menschlicher Handlungen. Methodische Ansätze werden u. a. im Bereich der Montage (Refflinghaus et al. 2014), bei der Produktentwicklung (Djalouis 2015) oder in der Fertigung (Böllhoff 2018) angewendet.

4. Nutzerstudie zur Werkstückspannung beim Vertikal-Drehen

4.1 Aufgabenanalyse – Qualitative Analyse

Für die Bewertung der menschlichen (Un-)Zuverlässigkeit wurde sich an der HEART-Methode orientiert. Zur Vorbereitung des Nutzertests war eine praxisorientierte Aufgabenanalyse beim Vertikal-Drehen notwendig. Bei dieser werden Informationen über das zu analysierende System gesammelt. Zudem

werden die Aufgabenschritte des Bedieners durch direkte Beobachtung erfasst und in Tätigkeitselemente zergliedert. Es sind vier Aufgaben durch die Bediener zu erfüllen:

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

Die möglichen Fehlhandlungen sind Ausführungsfehler (VDI 4006, 2017) und lassen sich kategorisieren. Die folgende Auflistung enthält Beispiele, die bei der Werkstückspannung auftreten:

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

Für das Fräsen wurden 16 und für das Drehen 6 Einzelschritte und dazugehörige Fehlhandlungen identifiziert (Puschmann 2018). In Hinblick auf die Randbedingung des Nutzertests (siehe 4.2) wurden Verwechslungs- und Unterlassungsfehler (z. B. Reinigung oder Schmierung wird unterlassen) nicht in das TestszENARIO einbezogen.

4.2 Nutzertest – Quantitative Analyse

Aus Erfahrung wurden Vortests durchgeführt (Puschmann et al. 2016), um zu ermitteln, ob die Probanden eventuell überfordert sind und ob die Zeitplanung einhaltbar ist. Für die eigentlichen Tests waren als Probanden an 2 Tagen insgesamt 17 Schüler einer Klasse Auszubildender (Industriemechaniker) im 3. Lehrjahr (1 Ergebnis davon war nicht auswertbar). Die Erfahrung bzgl. Fräsen und Drehen lag zwischen 2 Tagen und 1 Jahr. Nach einer für alle Probanden einheitlichen Grundinstruktion zum Spannsystem mussten die Probanden einzeln im 30-minütigen Test ein Werkstück unter Verwendung eines Werkstückspannsystems einrichten (siehe Abbildung 1). Dabei standen

den Probanden die originale Bedienungsanleitung des Spannsystems und ein vollständiger Werkzeugschrank zur Verfügung.

Für den Nutzertest wurde folgender Ablauf vorgesehen:

- Aufgabe 1: Identifikation menschlicher Fehlhandlungen bei Spannung Werkstück A (14,5 min), einschließlich des Erkennens bereits vorhandener Fehler
- Aufgabe 2: Messung von Anzugs- und Anschraubmomenten. Welche Spannkraft wird tatsächlich erreicht? (14,5 min)
- Aufgabe 3 (1 min): Fehler, sobald versucht wird, das Werkstück B einzuspannen, da der vorgegebene maximale Spanndurchmesser überschritten wird

Vor und nach der Aufgabe wurden Fragebögen eingesetzt, die auch direkt der Ermittlung von Fehlern dienen.

Bei der Aufgabe 1 des Nutzertests wurden die menschlichen Fehlhandlungen durch Beobachtung identifiziert. Das Spannfutter wurden so manipuliert, dass bereits Fehler vorhanden waren (z. B. fehlende und mangelhafte Schraubverbindung), um den Fall einer Arbeitsübergabe einzubeziehen und die entsprechenden Prüfschritte zu berücksichtigen. Die Fehlhandlungswahrscheinlichkeit HEP konnte für 19 Beobachtungen und Messungen ausgeführt werden. Die Werte lagen (erschreckenderweise) zwischen $HEP = 0,31$ und $0,88$.

Im Teil 2 erfolgten Messungen von Anzugsmomenten der Futterbefestigung auf dem Spanntisch und der Aufsatzbackenbefestigung sowie die Spannkraft am Spannsystem. Durch diese messtechnische Erfassung entstehen statistische Daten, die in probabilistische Berechnungen verwendet werden können. Verwendet wurden verschiedene Kraft- und Momentmessgeräte (Abbildung 1). Als dritte Messgröße wurde die realisierte Spannkraft mit einem Spannkraftmessgerät überprüft. Die Abbildung 2 zeigt, wie groß der Streubereich der jeweiligen Messgröße ist.

Es wird deutlich, dass fast alle Anzugsmomente nicht den geforderten Werten entsprachen. Dabei ist auch die Frage interessant, von welcher Toleranz der Hersteller bei seiner Instruktion ausgeht. Geht man von einer Toleranz von $\pm 20\%$ aus (nach Herstellerangabe für Aufsatzbacken), ergeben sich jeweils Wahrscheinlichkeitswerte (HRP), die in HEP als komplementäre Werte

umrechenbar und in den Fehlerbaum der Abbildung 3 eingetragen sind. Die abgeleiteten Verteilungsfunktionen können außerdem in einer statistischen Berechnung beachtet werden.

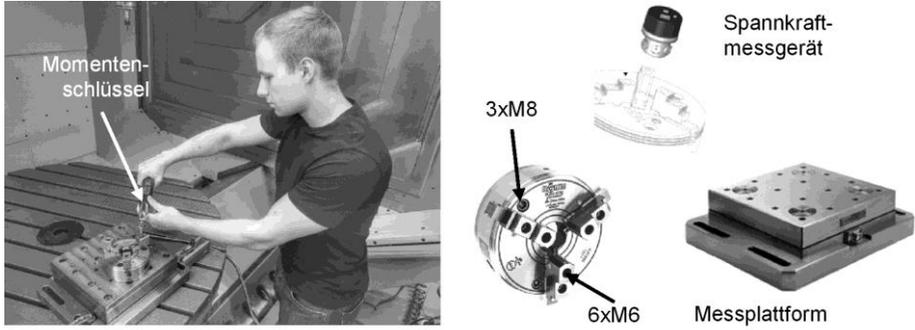


Abbildung 1: Probend beim Test sowie Spannhalter und Messausrüstung für den Nutzertest

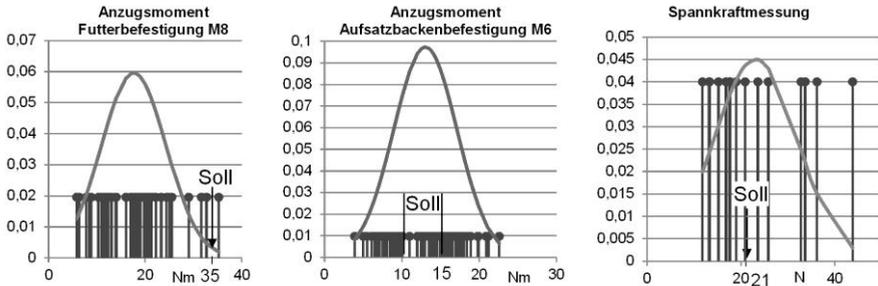


Abbildung 2: Kombination aus empirischer Dichtefunktion mit diskreten Werten für die Anzugsmomente und die Spannkraft aller Probanden mit markierten SOLL-Vorgaben des Herstellers des Spannalters

4.3 Fehlerbaum zum Werkstückverlust auf Grund menschlicher Fehlhandlung

Für den Werkstückverlust wird der Fehlerbaum-Ansatz von Lehmann (Lehmann 1989) herangezogen und angepasst. Die Anpassung bestand darin, dass zu der technischen Zuverlässigkeit ein Strang für menschliche Zuverlässigkeit ergänzt wurde. Dieser neue Teil des Gesamtfehlerbaums enthält die gleichen Elemente wie der Strang der technischen Zuverlässigkeit. Als Werte werden die ermittelten Fehlhandlungswahrscheinlichkeiten HEP's eingesetzt. Ein entsprechender Fehlerbaum adaptierte Puschmann bereits für einen

möglichen Nutzertest (Puschmann 2018). Das unerwünschte Ereignis Spannkraftausfall wurde durch das unerwünschte Ereignis Werkstückverlust ersetzt. Der aus dem Nutzertest abgeleitete Fehlerbaum der menschlichen Zuverlässigkeit ist in der Abbildung 3 dargestellt.

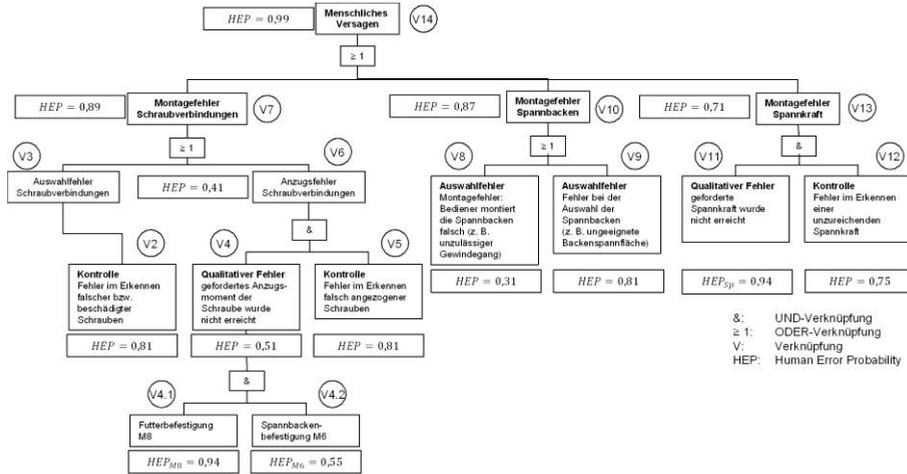


Abbildung 3: Angepasster Fehlerbaum zum Werkstückverlust auf Grund menschlichen Versagens mit den aus dem Nutzertest gewonnenen statistischen Daten

Es wurden keine weiteren Wichtungen vorgenommen, wie es z. B. mit den Performance Shaping Factor (PSF) möglich wäre. Allerdings hat der ausgewählte Fehlerbaum nur eine begrenzte Anzahl an Eingangswerten (Fehler-vorkommnisse), sodass einige Testwerte pragmatisch zusammengefasst wurden. Im Ergebnis ist für die getestete Probandengruppe mit 99 % Wahrscheinlichkeit ein Werkstückverlust zu erwarten. Dieses Ergebnis ist insbesondere deshalb erschütternd, weil alle notwendigen Informationen zur Verfügung standen. Für zukünftige Tests muss mit einer deutlich höheren Anzahl von Probanden gearbeitet werden, die aus verschiedenen Nutzergruppen kommen.

Vergleicht man die ermittelten HEP-Werte rekursiv mit den Fehlerklassifizierungen der HEART-Methode, die in der Literatur angegeben sind (z. B. Lolling 1994), so stellt man fest, dass alle Tätigkeiten unter den Aufgabentyp A fallen: „vollständig unbekannt, mit hoher Geschwindigkeit ausgeführt und mit unzu-

reichender Kenntnis über mögliche Konsequenzen“. Aber auch der Aufgabentyp B kommt mit $HEP = 0.14-0.42$ in Frage: „ein System ohne Aufsicht oder Anleitung in einem einzigen Versuch in einen neuen oder alten Zustand (zurück-) versetzen“.

5. Nutzung der Versuchsdaten in der Simulationsrechnung

Für die Implementierung der Daten aus dem Nutzertest wurde ein FE-Modell einer Werkstückspannung für das Vertikal-Drehen in Fräsbearbeitungszentren als Referenz genutzt (Albero 2018), mit dem die Spannkraftwirkung bewertet werden kann. Infolge der Elastizität der Komponenten des Spannsystems (handbetätigtes Dreibackenfutter) und der Fliehkraftwirkung (dynamischer Betrieb) ändert sich die Druckverteilung der Kontaktflächen unter Spannkraftwirkung. Besonders die Spannfläche zwischen Werkstück und Spannbacke hat einen wesentlichen Einfluss auf Spannsicherheit, da die Spannkraft reibschlüssig über die Spannfläche auf das Werkstück übertragen wird. Demzufolge haben alle im Kraftfluss liegenden Komponenten einen Einfluss auf die radiale Gesamtsteifigkeit, sodass eine Parameteränderung die Spannkraftwirkung und somit die Druckverteilung relevanter Kontaktflächen verändern kann.

Im folgenden Beispiel wird die Auswirkung des Anzugsmomentes auf die Spannkraftwirkung durch die Darstellung der Druckverteilung an der Auflage- und Spannfläche der Aufsatzbacken abgebildet. Das vom Hersteller vorgegebene Anzugsmoment der Befestigungsschrauben des berechneten Spannsystems beträgt 90-100 Nm. In Vorspannkraft umgerechnet bedeutet das ca. 48 kN. Aus den Versuchsdaten des Nutzertests resultiert, dass eine zu Beginn gelockerte Befestigungsschraube in den meisten Tests nicht nachgezogen wurde. Somit wurde dieser Fall in die Simulation implementiert, indem eine von sechs Befestigungsschrauben mit einer Vorspannkraft von 4800 N, also nur 10% vom vorgegebenen Wert, definiert wurde. Alle weiteren fünf Befestigungsschrauben sind mit 48 kN Vorspannkraft belastet worden. In den Abbildungen 4 und 5 sind die Auswirkungen der veränderten Vorspannkraft ersichtlich. Ein Vergleich zwischen der Referenzsimulation und der Simulation mit den implementierten Versuchsdaten zeigt, dass der Druck an der Kante der Auflagefläche deutlich erhöht ist. D. h., dass die Position des Werkstücks sich verändert und eine Kipplage angenommen hat. Der Blick auf

die Druckverteilung der Spannfläche in Abbildung 5 bekräftigt die veränderte Positionslage des Werkstücks, da die veränderte Vorspannkraft an der Aufsatzbacke 3 eine Veränderung der Druckverteilung an allen Spannflächen hervorruft. Die Kontaktfläche der Spannfläche der Aufsatzbacke 3 wurde reduziert und hat einen negativen Einfluss auf die Spannkraftwirkung.

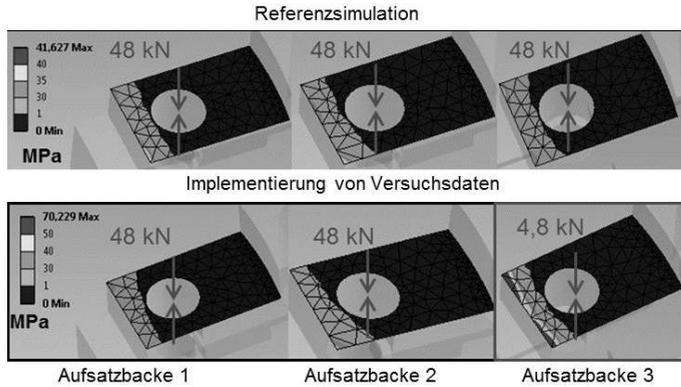


Abbildung 4: Auswirkung der Schraubenvorspannkraft (Anzugsmoment) auf die Druckverteilung der Auflagefläche

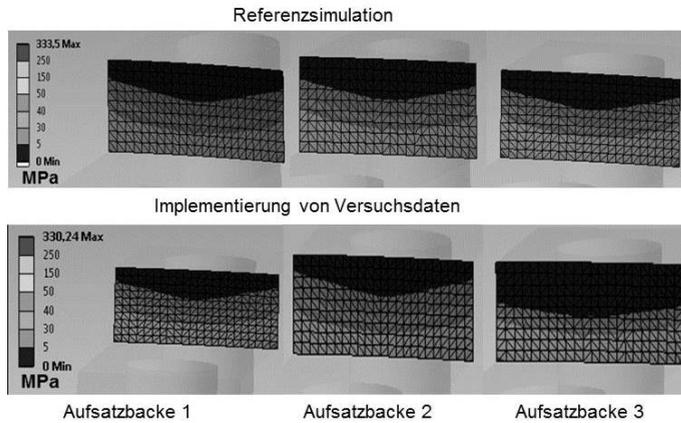


Abbildung 5: Auswirkung der Schraubenvorspannkraft (Anzugsmoment) auf die Druckverteilung der Spannfläche

6 Zusammenfassung

Die Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion bei der Werkstückspannung für das Vertikal-Drehen auf Fräsmaschinen kann durch probabilistische Betrachtung verbessert werden. Voraussetzung dafür ist die Ermittlung von statistisch verwertbaren Daten. Es wurde gezeigt, dass die Quantifizierung von menschlichen Fehlhandlungen und deren Verwendung kombiniert mit technischen Versuchsdaten in physikalischen FE-Berechnungen möglich ist.

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).

Die Autoren danken außerdem den Auszubildenden der Richard-Hartmann-Schule Chemnitz für die Beteiligung an der Nutzerstudie.

Literaturverzeichnis

- MRL 2006: Maschinenrichtlinie 2006: Directive 2006/42/EC of the European Parliament and the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast). In: Official Journal of the European Union, L157/24, 24-86.
- ISO 16090, 2017: N.N.: Norm DIN EN ISO 16090-1:2016-02 – Entwurf, Werkzeugmaschinen Sicherheit - Bearbeitungszentren, Fräsmaschinen, Transfermaschinen - Teil 1: Sicherheitsanforderungen, Beuth Verlag GmbH
- DIN EN ISO 12100, 2011: Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung, Beuth Verlag GmbH, 2011
- VDI 4006 Blatt 2, 2017: Menschliche Zuverlässigkeit – Methoden zur quantitativen Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit. Düsseldorf: VDI Verein Deutscher Ingenieure, Beuth Verlag GmbH
- Albero Rojas, A.; Wittstock, V.; Regel, J.; Putz, M.: Modelling and Numerical Analysis of Workpiece Clamping for Vertical Turning Regarding to the Clamping Safety. In: Proc. of the 8th Cong. of the German Academic Association for Production Technology (WGP), Aachen, Nov. 19-20, 2018, S. 208-217, https://doi.org/10.1007/978-3-030-03451-1_21

- Albers, S., 1995 Zuverlässigkeit des Faktors Mensch und Null-Fehler-Qualität: Ein Widerspruch?. Tagung der VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung, Erfolge durch zuverlässige Technik, Fulda, 26./27.09.1995, 177-189.
- Böllhoff, J. 2018: Einflussfaktoren auf die Werkstückqualität zur simulationsgestützten Berechnung der Fehlerfortpflanzung in der Sequenzfertigung. Technische Universität Darmstadt, Schriftenreihe des PTW: „Innovation Fertigungstechnik“, Aachen, Shaker Verlag, Dissertation.
- Bongartz, R., Winfried J., Marx, J., Mertens, J. 1998: Probabilistische Risikoanalysen für technische Anlagen. Spektrum der Wissenschaft, Heft 2, 94-98.
- Bubb, H.: Menschliche Zuverlässigkeit – Definitionen Zusammenhänge Bewertung, 1. Auflage, Landsberg: ecomed Fachverlag, 1992
- Djaloeis B. R.-S. 2015: Entwicklung eines Modells zur Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit in der Produktentwicklung. Technische Hochschule Aachen, Schriftenreihe Industrial Engineering and Ergonomics, Aachen, Shaker Verlag, Dissertation.
- Hammerl, M. 2011: Analyse der menschlichen Einflussfaktoren und Zuverlässigkeit im Eisenbahnverkehr, Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
- Kesselkaul, R., Meyer, C. 2016: Priorisierung des Handlungsbedarfs – Schwerpunkte des Unfallgeschehens. Vortrag VDW – Technologietag – Risikobeurteilung und Nachweis eines tolerierbaren Restrisikos, Düsseldorf, 23.02.2016
- Lehmann, W.-R.: Arbeitssicherheit an Drehmaschinen, Produktionstechnik. Hanser Fachbuchverlag, Berlin, 1989
- Lolling A.: Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten, Dissertation, Universität Dortmund, Aachen: Shaker Verlag, 2003
- Mödden, H. 2018: Probabilities in safety of machinery: sample space of yearly accident data. ESREL (European Safety and Reliability Conference) Trondheim, 17.-21. Juni, S. 2819-2826
- Neudörfer, A. 2014: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 6. Aufl.,
- Payer, H.-G. 1994: Schiffssicherheit und das menschliche Versagen. Hansa, Heft 10, S 6-10.
- Puschmann, P.; Horlitz, T., Wittstock, V. & Schütz, A. 2016: Experimenteller Ansatz zu Effekten subjektiven Erlebens in VR-basierter Risikobeurteilung. In: J. Krzywinski, M. Linke, C. Wölfel (Hrsg.). Entwerfen, Entwickeln Erleben 2016. Beiträge zum Industrial Design. Dresden: Verlag der Wissenschaften GmbH; S. 153-168.
- Puschmann, P. 2018: Quantifizierung des Einflusses menschlicher Zuverlässigkeit auf die sicherheitsgerechte Spannung von Drehteilen auf Fräsdrehmaschinen und deren Wirtschaftlichkeit. Masterarbeit an der Technischen Universität Chemnitz, Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

- Refflinghaus, K., Bossmann, E. (2014) Prospektive Ermittlung und Reduzierung potenzieller Fehler für manuelle Montagelinien. In: Gesellschaft für Qualitätswissenschaft e. V. (Hrsg.) - Berichte zum Qualitätsmanagement. Shaker Verlag, S. 67-92.
- Reichart, G. 2001: Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen, Dissertation, Technische Universität München, VDI-Verlag (Hrsg.).
- Swain, A.-D., Guttman, H.-E., 1983: Handbook of Human-Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications - Final Report NUREG/CR-1278. Washington D.C.: U.S. Nuclear Regulatory Commission

Kontakt

Dr.-Ing. Volker Wittstock
M.Sc. Patrick Puschmann
M.Sc. Adrian Albero Rojas
Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz
Technische Universität Chemnitz
Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
Reichenhainer Straße 70
09126 Chemnitz
<http://www.tu-chemnitz.de/mb/WerkzMasch>

Dipl.-Ing. Heinrich Mödden
VDW - Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V.
Forschung und Technik
Corneliusstraße 4
60325 Frankfurt am Main
www.vdw.de