

Anwendbarkeit eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung

Peter JESCHKE¹, Lars ADOLPH², Sascha WISCHNIEWSKI¹

¹ Gruppe „Human Factors, Ergonomie“,

² Wissenschaftliche Leitung, Fachbereich 2 „Produkte und Arbeitssysteme“
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Im folgenden Beitrag wird die Anwendbarkeit eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung beim Multitasking diskutiert. Analytische Prognosemodelle sind für die Planung von Prozessführungsaufgaben und deren Arbeitsmittel relevant. Mit ihnen soll bereits im Planungsstadium, d. h. ohne reale Aufgaben und Arbeitsmittel, die später zu erwartende Beanspruchung prognostiziert werden. Damit wird der Bedarf betrieblicher Praktiker nach objektiven generischen Kriterien zur Bewertung von zunehmend mentalen Arbeitsinhalten aufgegriffen. Beginnend wird eine Begriffsklärung vorgenommen, um darauf aufbauend die Kategorien zur Prognose und Evaluation mentaler Beanspruchung zu beschreiben bzw. die Anwendbarkeit eines weiterentwickelten Cognitive Task Load Modells zu diskutieren.

Schlüsselwörter: mentale Beanspruchung, Multitasking, Prozessführung, Laborstudie, quantitatives Prognosemodell, analytisches Prognosemodell

1. Psychische Belastung und Beanspruchung

Durch Automatisierung und Digitalisierung verändern sich Arbeitsbedingungen und Arbeitsinhalte. Während manuelle Aufgaben an Bedeutung verlieren, gewinnen kognitive Aufgaben, wie Prozessführungsaufgaben, an Bedeutung. Um die Auswirkungen dieser Veränderungen auf den Menschen zu bewerten, können mittels des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts die Arbeitsbedingung (Belastung) und die innere Reaktion des Menschen (Beanspruchung) miteinander in Zusammenhang gebracht werden (Rohmert 1983, 1984). Das Konzept kann sowohl auf physische als auch psychische Belastungen angewendet werden. Nach DIN EN ISO 10075-1:2000 beschreibt psychische Belastung die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken, wie z. B. die Arbeitsaufgabe. Weiterhin ist psychische Beanspruchung die unmittelbare (nicht langfristige) Auswirkung der psychischen Belastung auf das Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien. Um die Auswirkungen auf die Aufgabenausführung bewerten zu können, werden in der DIN EN ISO 10075-1:2000 positive sowie negative Beanspruchungsfolgen beschrieben. Positive Beanspruchungsfolgen können z. B. Anregungs- oder Lerneffekte sein, negative z. B. herabgesetzte Wachsamkeit oder Unterforderung.

Im Vordergrund des folgenden Beitrags stehen die aus der Arbeitsaufgabe resultierenden mentalen Komponenten der psychischen Belastung und Beanspruchung.

Für diesen eingegrenzten Bereich von Belastung und Beanspruchung werden im Folgenden die Begriffe mentale Belastung und mentale Beanspruchung verwendet.

2. Prognose und Evaluation der mentalen Beanspruchung

Objektivierbare Aussagen zur Höhe der mentalen Belastung und Beanspruchung sind für die Aufgabenausführung in der betrieblichen Praxis sowohl als auch für die Planung von Aufgaben und Arbeitsmitteln relevant. Der wesentliche Unterschied zwischen betrieblicher Praxis und Planung besteht darin, dass in der betrieblichen Praxis real existierende Arbeitsmittel bzw. Aufgaben zur Verfügung stehen anhand derer die mentale Belastung und Beanspruchung evaluiert werden kann. Zur Prognose der mentalen Belastung und Beanspruchung im Rahmen der Planung (Konzeptionierung) von Aufgaben und Arbeitsmitteln ist dies unwahrscheinlicher (Xie und Salvendy 2000).

Diesen Unterschied legte bereits Linton (1988) seiner Taxonomie zur Einteilung von Methoden zur Beanspruchungsprognose zugrunde. Er unterschied empirische Evaluation und analytische Prognose.

2.1 Empirische Evaluationsmethoden

Empirische Methoden evaluieren die mentale Beanspruchung während der realen Aufgabenausführung anhand subjektiver Bewertungen, psychophysiologischer Reaktionen bzw. subjektiver oder objektiver Leistungsdaten.

Für einen Überblick über subjektive Beanspruchungsmaße wird auf Cain (2007), für psychophysiologische Reaktionen auf Boucsein (2006) und für Leistungsdaten z. B. auf Verwey und Veltmann (1996) bzw. Young et al. (2015) verwiesen.

2.2 Analytische Prognosemethoden

Analytische Methoden prognostizieren die mentale Beanspruchung ohne reale Aufgabenausführung. Linton (1988) unterschied fünf Kategorien: (1) Vergleiche, (2) Expertenmeinung, (3) mathematische Modelle, (4) Aufgabenanalysen und (5) Computersimulationen. Xie und Salvendy (2000) schließen sich Vidulich (1991) an und führen eine weitere Gruppierung ein. So werden die fünf Kategorien in zwei Gruppen eingeteilt: aufgabenanalytische und abschätzende Methoden. Für diesen Beitrag wird sich auf mathematische Modelle konzentriert, die wegen ihres Aufwandes der Gruppe der aufgabenanalytischen Methoden zugeordnet werden (Xie und Salvendy 2000).

Ein Vertreter der mathematischen Methoden zur Prognose der Beanspruchung bei Multitasking in der Prozessführung ist das Cognitive Task Load Modell (Neerincx 2003). Mit diesem Modell ist es möglich, die während der Ausführung der Prozessführungsaufgabe auftretende Beanspruchung aus der Arbeitsaufgabe und den verwendeten Arbeitsmitteln abzuleiten und zu bewerten (z. B. Grootjen et al. 2006). Die Belastung wird anhand der drei Belastungsfaktoren Aufgabensetwechsel, Ebenen der Informationsverarbeitung und der zeitlichen Auslastung beschrieben (Neerincx 2003). Modellvarianten nutzten alternativ zum Belastungsfaktor Aufgabensetwechsel die Aufgabenwechsel (Harbers et al. 2014) oder anstatt der zeitlichen Auslastung die mentale Auslastung (Colin et al. 2012).

3. Weiterentwicklung des Cognitive Task Load Modells und experimentelle Überprüfung

Das originale Cognitive Task Load Modell weist hinsichtlich des zugrunde liegenden Bewertungsvorgehens Bedarf zur Objektivierung sowie Ergänzungsbedarf bezogen auf die negativen Beanspruchungsfolgen auf. Im Rahmen dieser Weiterentwicklungen (siehe 3.1) und deren experimentellen Überprüfung (siehe 3.2) konnte das qualitative Prognosemodell in ein quantitatives überführt werden.

3.1 Weiterentwicklung des Cognitive Task Load Modells

Das Bewertungsvorgehen beruht auf einer in der Literatur beschriebenen Vorgehensweise, die nur eingeschränkt reproduziert werden kann. Um damit verbundene systematische Fehlerquellen zu minimieren, wurde ein alternatives Vorgehen zur Bewertung direkt aus der Modelltheorie abgeleitet (Jeschke et al. 2014).

Die im originalen Cognitive Task Load Modell beschriebenen negativen Beanspruchungsfolgen „Unterforderung“, „Vigilanzprobleme“, „kognitive Fixierung“ und „Überforderung“ bilden nicht alle in den Normen DIN EN ISO 10075-1:2000 und -2:2000 aufgeführten negativen Beanspruchungsfolgen ab. Im Rahmen der Weiterentwicklung wird die negative Beanspruchungsfolge „psychische Sättigung“ ergänzt (Jeschke und Adolph 2014).

3.2 Experimentelle Überprüfung der Weiterentwicklung

Um die Weiterentwicklung des Cognitive Task Load Modells empirisch zu überprüfen, wurde eine Laborstudie mit 36 berufstätigen Operateuren durchgeführt, wovon $n = 29$ ausgewertet werden konnten. Im Mittelpunkt der Überprüfung standen die Grenzen zwischen unkritischer Beanspruchung und den negativen Beanspruchungsfolgen (Unterforderung, Vigilanzprobleme, psychische Sättigung, kognitive Fixierung und Überforderung).

Um die prognostizierten Grenzen experimentell zu überprüfen, wurden 41 Versuchsaufgaben mit jeweils vier Minuten Bearbeitungszeit dargeboten. Die dargebotenen Aufgaben umfassten die Prozessführung einer Schleusenanlage (Hauptaufgabe) und verschiedene Zusatzaufgaben. Die Zusatzaufgaben wurden anhand der Ergebnisse einer vorher durchgeführten Feldstudie (Bröhl et al. 2012) gestaltet und beruhten in ihren Bestandteilen auf dem multitasking framework von Wetherell und Carter (2014). Die multimodale Erfassung der Beanspruchung erfolgte mittels der eindimensionalen subjektiven rating scale of mental effort (RSME, Zijlstra 1993) und deren Bewertung auf „unterfordernd“, „unkritisch“ und „überfordernd“, sieben objektiven Beanspruchungsparametern aus kardiologischen und okulomotorischen Reaktionen sowie 14 objektiven Leistungsparametern. Auf eine detaillierte Ergebnispräsentation wird an dieser Stelle verzichtet, da das Ziel des Beitrags die Diskussion der Anwendbarkeit des weiterentwickelten Cognitive Task Load Modells als analytisches Prognosemodell ist.

3.3 Ergebnisse und Diskussion

In den Laborversuchen konnten Belastungen dargeboten werden, die zu unterfordernden, unkritischen und überfordernden Beanspruchungen führten. Hierbei wies die zeitliche Auslastung mit einer Effektstärke von $r = .58$ ($p < .001$) und einem

hohen Übereinstimmungsgrad von $w_{Kendall} = .774$ belastungsseitig den einzigen statistisch wirksamen Zusammenhang auf.

Von den 41 Versuchsaufgaben respektive Belastungssituationen wurden 38 korrekt vorhergesagt, was einer Prognosegüte von 92 % entspricht. Differenziert nach der intendierten Beanspruchung, ergab sich eine Prognosegüte von 85 % für als „unterfordernd“, 100 % für als „optimal/ unkritisch“ sowie 89 % für als „überfordernd“ prognostizierte Aufgaben. Zur Ermittlung der Prognosegüte wurden subjektive und objektive Beanspruchungswerte sowie objektive Leistungsdaten herangezogen. Zur Auswertung wurden diese 22 Parameter auf Widersprüchlichkeit zueinander untersucht. Die unterschiedlichen Prognosegüten können darauf zurückgeführt werden, dass die Widersprüchlichkeit innerhalb der 22 Parameter zu groß war, als das eine eindeutige Zuordnung zu „unterfordernd“, „optimal/unkritisch“ bzw. „überfordernd“ hätte vorgenommen werden können.

Bezogen auf die negativen Beanspruchungsfolgen konnten Unterforderung, Überforderung sowie kognitive Fixierung erzeugt werden. Vigilanzprobleme und psychische Sättigung konnten nicht wie intendiert hervorgerufen werden.

Gerade für das Erzeugen der beiden letztgenannten negativen Beanspruchungsfolgen kann die Durchführungsdauer und respektive die zeitliche Auslastung von vier Minuten pro Versuchsaufgabe eine zentrale Rolle einnehmen. Zum Erzeugen der beiden negativen Beanspruchungsfolgen wurde belastungsseitig eine zeitliche Auslastung von 95 % gewählt, was 228 von 240 Sekunden entspricht, bzw. je nach individueller Bearbeitungsstrategie sogar länger. Zum Vergleich, Möckel et al. (2015) setzten für ihre Vigilanzuntersuchungen eine Durchführungsdauer von drei Mal 60 Minuten an, unterbrochen von nur kurzen Pausen.

Um die Übertragbarkeit auf allgemeine praktische Fragestellungen zu verbessern, sollten z. B. Erhebungszeitpunkt und Wiederholung der Versuche als unabhängige Variablen einfließen. Zeitpunkt und Wiederholungshäufigkeit sind zwei Aspekte, die eine bei realer Schichtarbeit auftretende Beanspruchung, z. B. resultierend aus rollierender Wechselschicht, beeinflussen können. Die Laborstudie wurde als eine einmalige acht Stunden Tagschicht durchgeführt. Würden die Versuche den Phasen einer rollierenden Wechselschicht folgen, wird vermutet, dass sich auch die Beanspruchungsfolge psychische Sättigung einstellen würde. Psychische Sättigung ist die Ablehnung einer sich wiederholenden Tätigkeit mit dem Erleben des Auf-der-Stelle-Tretens bei gesteigerter Aktivierung.

4. Anwendbarkeit und Ausblick

Die betriebliche Praxis fordert objektivierbare Kriterien für die Prognose und Beurteilung auftretender mentaler Beanspruchung bei Prozessführungsaufgaben und damit in Zusammenhang stehender Zusatzaufgaben. Damit einhergehend ist der Wunsch nach Formulierung einer roten Linie, die anzeigt, wenn ein Bereich unkritischer Beanspruchung verlassen wird. Die in Abschnitt 3 skizzierte Weiterentwicklung und Validierungsstudie des Cognitive Task Load Modells leistete dazu einen ersten Beitrag. Dieses heuristische Modell kann im Planungsprozess einen Beitrag leisten, um Gestaltungsalternativen auf Überschreitung solcher roten Linien hin zu überprüfen bzw. die Auswirkung von Änderungen in der Gestaltung auf die mentale Beanspruchung zu simulieren.

Um die Bedarfe der betrieblichen Praxis aufzugreifen werden solche analytischen Modelle zur Beanspruchungsprognose benötigt, die neben den üblichen statistischen

Anforderungen und der Stichprobenzusammensetzung vor allem auch betriebliche Arbeitsbedingungen bei der Validierung berücksichtigen. Darüber hinaus würde sich für zukünftige Validierungsstudien empfehlen, die zeitliche Entwicklung der mentalen Beanspruchung zu berücksichtigen. Dabei sollte vorrangig die Abhängigkeit zu den Belastungsfaktoren und deren zeitabhängige Interdependenz in den Mittelpunkt gestellt werden. Dadurch werden Aussagen über die zeitliche Entwicklung der mentalen Beanspruchung erwartet, die über die Aneinanderreihung einzelner Messzeitpunkte hinausgehen.

5. Literatur

- Boucsein, W. (2006). Psychophysiologische Methoden in der Ingenieurpsychologie. *Ingenieurpsychologie*. B. Zimolong and U. Konradt. Göttingen, Hogrefe. 2: S 317-358.
- Cain B. (2007): A Review of the Mental Workload Literature. Toronto, Canada: Defence Research and Development. Canada Toronto Human System Integration Section. Report No.: RTO-TR-HFM-121-Part-II.
- Colin TR, Smets NJJM, Mioch TT, Neerincx MA (2014) Real Time Modelling of the Cognitive Load of an Urban Search and Rescue Robot Operator. In: Proceedings of the 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication Edinburgh, Scotland, 2014.
- DIN, Deutsches Institut für Normung (2000) Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeines und Begriffe. DIN EN ISO 10075-1.
- DIN, Deutsches Institut für Normung (2000) Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze. DIN EN ISO 10075-2.
- Grootjen M, Neerincx MA, Veltmann JA (2006): Cognitive Task Load in a Naval Ship Control Centre: From Identification to Prediction. In: *Ergonomics* Bd. 49, Nr. 12-13, S. 1238–1264.
- Harbers M; Aydogan R; Jonker CM; Neerincx MA (2014): Sharing Information in Teams: Giving Up Privacy or Compromising on Team Performance?. In: Proceedings, 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2014), Paris, France, S. 413-420.
- Jeschke P, Adolph L, Wischniewski S (2014): Operateure in Leitwarten – Multitasker der Automatisierung. M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Der Mensch zwischen Automation, Kompetenz und Verantwortung (DGLR-Bericht 2014-01)*. Bonn: DGLR., S. 155-170.
- Jeschke P, Adolph L (2014): Die Untersuchung der mentalen Belastung bei komplexen Prozessüberwachungs- und -steuerungsaufgaben, Tagungsband des 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft 2014, München, Deutschland, Dortmund: GfA-Press: Seiten 709-711.
- Linton PM, Plamondon BD, Diack AO, Bittner Jr AC, Christ RE (1988): Operator Workload for Military System Acquisition. *Applications of Human Performance Models to Systems Design*. G. R. McMillan, D. Beevis, E. Salas et al. New York, Plenum: 21-46.
- Möckel T, Beste C, Wascher E (2015): The Effects of Time on Task in Response Selection - An ERP Study of Mental Fatigue. *Scientific Reports* 5(10113).
- Neerincx MA (2003): Cognitive Task Load Design: Model, Methods, and Examples. In: Hollnagel, E (Hrsg.): *Handbook of Cognitive Task Design*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Ass. 283–305.
- Rohmert W (1983): *Formen menschlicher Arbeit. Praktische Arbeitsphysiologie*. W. Rohmert and J. Rutenfranz. Stuttgart, New York, Thieme Verlag: 5-29.
- Rohmert W (1984): Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 38: 193-200.
- Verwey W, Veltman H (1996): Detecting Short Periods of Elevated Workload: A Comparison of Nine Workload Assessment Techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied* 2: 270-285.
- Vidulich MA, Ward GF, Schueren J (1991): Using Subjective Workload Dominance (SWORD) Technique for Predictive Workload Assessment. *Human Factors* 33 (12): 677-692.
- Wetherell MA, Carter A (2014): The Multitasking Framework: The Effects of Increasing Workload on Acute Psychobiological Stress Reactivity. *Stress Health* 30(2): 103-109.
- Xie, B. and G. Salvendy (2000): Review and Reappraisal of Modelling and Predicting Mental Workload in Single-and Multi-Task Environments. *Work & stress* 14(1): 74-99.
- Young MS, Brookhuis KA, Wickens CD, Hancock PA (2015): State of Science: Mental Workload in Ergonomics. *Ergonomics* 58(1): 1-17.
- Zijlstra FRH (1993): *Efficiency in Work Behavior: A Design Approach for Modern Tools*. Delft, Delft University of Technology, PhD Thesis.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft

63. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

GfA Press

Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

Screen design und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de