

Erweiterung des Cognitive Task Load Models mit Fuzzy Logik – Eine Validierungsstudie

Peter JESCHKE, Lars ADOLPH, Sascha WISCHNIEWSKI

*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin,
Gruppe „Human Factors, Ergonomie“
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund*

Kurzfassung: Vor dem Hintergrund der Arbeitsanreicherung und -verdichtung in Leitzentralen, u. a. aufgrund von Automatisierung und Digitalisierung, wird der belastungsoptimalen Gestaltung der Arbeitsaufgaben und deren Organisation eine hohe Bedeutung beigemessen. Um die kognitive Belastung bei komplexen Prozessüberwachungsaufgaben reproduzierbar zu prognostizieren, wird eine Erweiterung des Cognitive Task Load Models (CTL-Modell, Neerincx, 2003) vorgeschlagen. Die Erweiterung bezieht sich auf die Beanspruchungsfolgen und die Verrechnung der Belastungsfaktoren durch Fuzzy Logik. Das im Folgenden vorgestellte Vorgehen zur Validierung des erweiterten CTL-Modells erfolgt in einem Laborsetting mittels Mehrfachaufgaben aus dem Bereich der Verkehrsüberwachung.

Schlüsselwörter: Leitwarten, Multitasking, Cognitive Task Load Modell, Fuzzy Logik, Eyetracking, RSME

1. Automatisierung und Multitasking

Im Rahmen der Arbeits- und Organisationsgestaltung im Planungsprozess für Leitwarten werden unter anderem die wahrzunehmenden Aufgaben auf ihre zeitliche Vereinbarkeit überprüft. Um jedoch komplexe Wechselwirkungen in den Aufgabenzusammenhängen zu berücksichtigen, können die dabei zu Grunde gelegten zeitlichen Sicherheitszuschläge zu kurz greifen. Der Grund dafür liegt in den Ursachen für die Komplexität der Wechselwirkungen: den nicht planbaren, intransparenten, umfangreichen, dynamischen und sich untereinander beeinflussenden Aufgabeninhalten (Jeschke et al. 2014). Diese parallel ablaufenden Prozesse bedingen auch parallele Informationsverarbeitung in Echtzeit. Respektive stellt sich die Frage, wie viel Multitasking unter welchen Umständen in der Prozessüberwachung und -steuerung zweckmäßig ist.

1.1 Multitasking in der Prozessüberwachung und -steuerung

Die eingangs skizzierten Besonderheiten der Aufgabenwahrnehmung in Leitwarten basieren auf dem technischen Fortschritt in der Automatisierung und Digitalisierung. In diesem Zusammenhang verlagert sich der Tätigkeitsschwerpunkt der Operateure weg von der aktiven Steuerung hin zur ergebnisorientierten Überwachung. Die durch diese Verlagerung gewonnenen Ressourcen führen dazu, dass Operateure mehrere gleiche bzw. unterschiedliche Aufgaben wahrnehmen. Dadurch steigt die Auslastung des Operateurs. Diese Arbeitsweise wird als task switching (Rubinstein et al. 2001) oder Multitasking bezeichnet. Grundsätzlich ist das

ein positiv zu bewertender Trend, dessen Konsequenzen einer detaillierten Analyse unterzogen werden müssen.

Die Wahrnehmung von und der Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben bedeutet eine Belastungserhöhung, die gemäß dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept die individuelle Beanspruchung der Operateure positiv oder negativ beeinflussen kann. Beim Multitasking kommt der Unterbrechung, also dem Zeitpunkt vor dem potentiellen Aufgabenwechsel, eine besondere Bedeutung zu (Altmann und Trafton 2007). Zum einen führt diese Unterbrechung zu einer Verlängerung der Aufgabenbearbeitungszeit der unterbrochenen Aufgabe. Zum anderen wird die psycho-mentale Beanspruchung beeinflusst. Es treten hauptsächlich zwei Aspekte in den Vordergrund:

- der mit der Unterbrechung einhergehende Entscheidungsfindungsprozess über Annahme oder Ablehnung der unterbrechenden Aufgabe sowie
- die Neuausrichtung des Arbeitsgedächtnisses bei Annahme der unterbrechenden Aufgabe bzw. bei Wiederaufnahme der unterbrochenen Aufgabe.

Für eine detaillierte Beschreibung sei auf Brixey (2007) verwiesen. Hierbei ist es wichtig zu betonen, dass die Unterbrechungen im Rahmen von Mehrfachaufgaben kontextbezogen zu interpretieren sind und keine negative Konnotation besitzen. Als positive Auswirkungen können z. B. die Aufrechterhaltung der Vigilanz oder des Situationsbewusstseins aufgeführt werden. Negativ hingegen wirken z. B. die Verlängerung der Bearbeitungszeit, Störungen des Arbeitsablaufs, das Vergessen von Informationen, die Beeinträchtigung des Situationsbewusstseins und Fehler in der Bearbeitung (siehe z. B. Loukopoulos et al. 2009)

Es ist angezeigt, Maßnahmen zur Minimierung der benannten negativen Auswirkungen zu konzipieren. Dafür müssen die Beanspruchungsfolgen kontextbezogen operationalisiert werden. Als Modell wird hierfür das Cognitive Task Load Modell (CTL-Modell, Neerincx 2003) herangezogen.

1.2 Das Cognitive Task Load Modell und seine Erweiterung

Mit dem Modell wird das Ziel verfolgt, die psycho-mentale Beanspruchung der Operateure (cognitive state) optimal zu gestalten (Neerincx 2003). Somit empfiehlt sich das Modell für die Arbeitsgestaltung (für Anwendungsbeispiele siehe Colin et al. 2014; Grootjen et al. 2006; Neerincx et al., 2003).

Neerincx (2003) beschreibt die mentale Beanspruchung anhand von drei Belastungsfaktoren: 1. Aufgabenwechsel (task set switches, TSS); 2. Ebene der Informationsverarbeitung (level of information processing, LIP); und 3. Anteil der durch die Aufgabenwahrnehmung beanspruchten Zeit (time occupied, TO).

Die Anforderungen der verschiedenen Aufgaben berücksichtigend, erfasst der Belastungsfaktor TSS den Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben anhand der Arbeitsgedächtnisleistung. Es wird ein Verhältnis gebildet aus den Informationsunterschieden zur Gesamtinformation beider am Aufgabenwechsel beteiligten Aufgaben oder -teile. Das heißt, benötigt eine unterbrechende Aufgabe komplett andere Informationen als die unterbrochene Aufgabe, strebt TSS gegen Eins. Sind die benötigten Informationen identisch strebt TSS gegen Null.

Der zweite Belastungsfaktor beschreibt die Ebene der Informationsverarbeitung. Um die Mechanismen der menschlichen Informationsverarbeitung zu operationalisieren, verwendet Neerincx die von Rasmussen entwickelte Theorie zur kognitiven Kontrolle (z. B. RASMUSSEN, 1983).

Die mit der Aufgabenbearbeitung in Zusammenhang stehende Zeit beschreibt den dritten Belastungsfaktor. Hierfür wird die dem Operateur zur Verfügung stehende Bearbeitungszeit der Aufgabe zur Gesamtzeit ins Verhältnis gesetzt.

Um eine Bewertung der untersuchten Aufgabensituation zu erhalten werden die Belastungsfaktoren miteinander verrechnet und ob ihrer Nähe zu Risikobereichen klassifiziert. Für eine ausführliche Beschreibung und Diskussion des Originalmodells siehe Harbers et al. (2014), Colin et al. (2014) sowie Jeschke et al. (2014).

Die Erweiterung des Modells ist aus drei Gründen angezeigt:

1. die im Originalmodell beschriebenen Risikobereiche bilden die Beanspruchungsfolgen nach DIN EN ISO 10075-1 nur eingeschränkt ab;
2. die Beschreibung des optimalen Beanspruchungsbereiches fehlt; und
3. für die Ableitung des CTL-Wertes existieren mehrere Definitionen.

Für eine grafische Repräsentation des erweiterten Modells wird auf Abbildung 1 verwiesen.

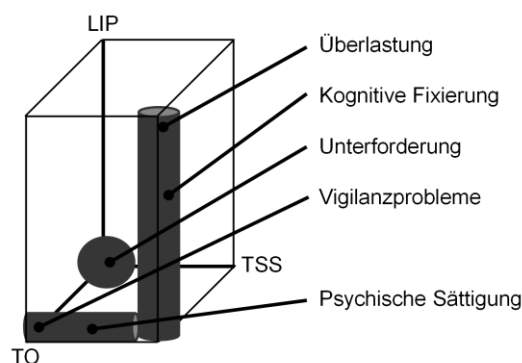


Abbildung 1: Risikobereiche des erweiterten CTL-Modells (Jeschke et al. 2014).

Abbildung 2 stellt die Hypothese für die Beschreibung des optimalen Beanspruchungsbereiches, hier eingefärbt in Hellgrau, grafisch dar. Für eine ausführliche Beschreibung der alternativen Ableitung des CTL-Wertes mittels Fuzzy Logik sei auf Jeschke et al. (2014) verwiesen.



Abbildung 2: Postulierter Bereich der optimalen Beanspruchung in Draufsicht (Jeschke et al. 2014).

2. Laboruntersuchungen zur Validierung des erweiterten CTL-Modells

Als Vorbereitung zu den im Folgenden beschriebenen Laborversuchen wurde eine Validierung mit Daten einer Feldstudie durchgeführt. Die Feldstudie untersuchte die

Belastung und Beanspruchung in Verkehrsleitzentralen. Hierbei konnte die Varianzaufklärung im erweiterten CTL-Modell ($\sigma_{erw} = .43$, $r^2 = 19\%$, $p < .001$) im Vergleich zum originalen CTL-Modell ($\sigma_{ori} = .39$, $r^2 = 16\%$, $p < .01$) verbessert werden.

Auf diesen verhalten optimistischen Ergebnissen aufbauend verfolgt die weitere Validierung folgende Ziele:

- Überprüfen der prognostizierten Beanspruchungswerte mit unter Laborbedingungen ermittelten Beanspruchungswerten und
- Überprüfen der Beschreibung des optimalen Beanspruchungsbereiches.

Unter Laborbedingungen soll es mit definierten Belastungssituationen ermöglicht werden, gezielte individuelle Beanspruchungswerte zu erzeugen und folglich zu erfassen. Damit kann das CTL-Modell durch absolute Grenzen auf Basis objektiver und subjektiver Beanspruchungswerte validiert werden. Auch wird mit einer Laborstudie sichergestellt, dass alle Risikobereiche gleichermaßen angesprochen werden. Aus den genannten Zielen wurden die nachstehenden wesentlichen Haupthypothesen abgeleitet:

- H1. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten Multitaskingsituation (beschrieben durch TSS, LIP sowie TO) und der mentalen Beanspruchung des Operateurs.
- H2. Die mentale Beanspruchung kann in drei Bereiche unterschieden werden: Unterforderung (beschrieben durch Unterforderung und Vigilanzprobleme), optimale Beanspruchung und Überforderung (umschreibt psych. Sättigung, kognitive Fixierung und Überforderung). Diese Bereiche lassen sich über das Auftreten von Fehlern (Fehlhandlungen, fehlerhafte Signalentdeckung oder Zeitüberschreitungen) sowie subjektive und objektive Beanspruchungsparameter erkennen.

Um eine realitätsnahe Bearbeitung der Multitaskingsituation zu gewährleisten, ist vorgesehen Operateure aus der Praxis für die Versuchsteilnahme zu akquirieren. Es ist angestrebt, die Versuche mit 30-40 Probanden (Altersstruktur gemischt) durchzuführen. Die Durchführungsdauer der reinen Versuche beträgt ca. vier Stunden. Unter Berücksichtigung von Vor- und Nachbereitung sowie Pausen beträgt die Anwesenheit ca. 400 Minuten.

2.1 Versuchsaufgaben und -ablauf

Die Versuchsaufgaben umfassen eine primäre Überwachungs- und Steuerungstätigkeit aus dem Bereich Verkehr sowie verschiedene für Leitwarten typische Zusatzaufgaben aus den Gebieten: Administration, Zugangskontrolle, Betreuung von Instandhaltungspersonal und Dokumentation. Um daraus eine Multitaskingsituation zu erzeugen, werden die Zusatzaufgaben hypothesengeleitet mit der Primäraufgabe kombiniert. Insgesamt sollen 41 Multitaskingsituationen bearbeitet werden, wobei für eine Situation vier Minuten zur Verfügung stehen. Um Übertragungseffekte bezüglich der Beanspruchung auszuschließen, sind zwei Minuten Pause zwischen jeder Multitaskingsituation vorgesehen, was 50% der Durchführungszeit entspricht. In Ergänzung zu diesen Kurzpausen sind zwei zehnminütige Pausen als persönliche Verteilzeit und eine 20minütige „Mittagspause“ vorgesehen. Die Pausen werden zu festen Zeiten vorgesehen.

2.2 Variablen

Der Zweck der Versuche ist es, die erlebte Beanspruchung mit der prognostizierten Beanspruchung zu vergleichen. Um die erlebte Beanspruchung zu erfassen, werden subjektive und objektive Beanspruchungswerte abgeleitet. Die subjektive Beanspruchung wird mittels der eindimensionalen rating scale of mental effort (RSME, Zijlstra 1993) erfasst und vom Probanden qualitativ auf Unter- und Überforderung bzw. optimale Auslastung eingeschätzt. Die subjektive Beanspruchung wird zu Beginn, in der Mitte und am Ende einer jeden Aufgabenkonstellation dokumentiert. Da nur die Gesamtbeanspruchung der letzten Multitaskingsituation bewertet werden soll, wird aus den drei RSME-Werten der Mittelwert errechnet.

Die Erfassung der objektiven Beanspruchungswerte erfolgt mittels zwei Arten von Biosignalen. Zum einen wird die Herzrate aufgezeichnet, um die Herzratenvariabilität (z. B. Henelius et al. 2009) abzuleiten. Parallel werden verschiedene Eyetrackingparameter erfasst. Die Eyetrackingparameter umfassen Daten zur Pupillengröße (z. B. Marshall 2002) als auch zum Blickverlauf (z. B. Di Stasi et al. 2013; Tokuda und Obinate 2012). Das Nutzen verschiedener Signale verfolgt einerseits das Ziel, das Risiko für Datenausfälle zu minimieren. Andererseits wird damit eine Absicherung der objektiven Beanspruchungsparameter gegeneinander erreicht, um Unsicherheiten in der Datenauswertung zu umgehen. Die objektiven Beanspruchungsparameter werden permanent erfasst. Eine Verrechnung erfolgt ebenfalls pro Multitaskingsituation. Für die objektiven Beanspruchungsparameter wird jedoch die relative Veränderung zum vor dem Versuchsbeginn ermittelten Baselinewert für die Auswertung herangezogen. Es wird somit angenommen, dass die zwei Minuten Pause ausreichen, um den Beanspruchungswert auf das Normalmaß zu regulieren. Für eine erhöhte Beanspruchung während der Bearbeitung einer Multitaskingsituation wird erwartet, dass die Herzratenvariabilität sinkt bzw. sich die Pupille vergrößert. Weiterhin sind im Blickverhalten charakteristische Sakkaden als ein Zeichen für eine Beanspruchungszunahme beobachtbar. Die objektiven Beanspruchungswerte werden nicht genutzt, um absolute Werte abzuleiten, sondern um die subjektive Einschätzung der Probanden zu bestätigen. Kommt es aufgrund der verschiedenen Methoden zu widersprüchlichen Beobachtungen, kann in Verbindung mit den subjektiven Beanspruchungswerten eine Interpretation vorgenommen werden.

Ergänzend zur mentalen Beanspruchung werden unter anderem Fehlerrate (im Sinne von fehlerhafter Signalentdeckung und Fehlhandlungen), Durchführungsdauer, Verzögerung von Prozessschritten und Erfüllungsgrad der Primäraufgabe abgeleitet.

Als unabhängige Variablen bestimmen die drei Belastungsfaktoren TSS, LIP und TO die Ausprägung der Multitaskingsituation. Für TSS gilt die Besonderheit, dass das Bearbeitungsverhalten auch als Mediator auftreten kann.

2.3 Arbeitsmittel

Um dem Charakter eines Bildschirmarbeitsplatzes gerecht zu werden, sind die Hauptarbeitsmittel zwei Bildschirmgeräte mit jeweils 2 Monitoren. Die Eingabe erfolgt über jeweils eine herkömmliche Tastatur und Maus. Neben der grafischen Benutzungsschnittstelle für den Prozess wird eine Excel Tabelle zum Festhalten relevanter Informationen verwendet. Dazu gehören z. B. Verkehrsbewegungen oder Informationen über Instandhaltungsarbeiten. Für die Kommunikation wird ein kabelgebundenes Telefon verwendet. Die Zusatzaufgaben mit den Schwerpunkten Dokumentation und

Administration werden analog auf Papier durchgeführt. Die Prozessunterlagen stehen ebenfalls analog zur Verfügung.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Für die Allokation der in einer Leitzentrale wahrzunehmenden Aufgaben ist es im Planungsprozess bedeutsam, die mentale Beanspruchung der Operateure zu prognostizieren. Dafür wurde eine Erweiterung des CTL-Modells mit Fuzzy Logik vorgestellt. In zeitnah durchzuführenden Laborversuchen wird diese erprobt. Im Laborsetting werden subjektive und objektive Beanspruchungsparameter erfasst und mit den prognostizierten Werten des erweiterten CTL-Modells verglichen. Auf Basis des Vergleiches wird eine Optimierung des erweiterten CTL-Modells vorgenommen.

4. Literatur

- Altmann EM, Traflet GJ (2007): Timecourse of recovery from task interruption: Data and a model. In: *Psychonomic Bulletin & Review* Bd. 14 (2007), Nr. 6, S. 1079–1084.
- Brixey JJ; Robinson DJ, Johnson CW, Johnson TR, Turley, JP, Zhang J (2007): A concept analysis of the phenomenon interruption. In: *Advances in Nursing Science* Bd. 30, Nr. 1, S. 26–42.
- 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.
- Di Stasi LL, Marchitto M, Antoli B, Canas JJ (2013): Saccadic peak velocity as an alternative index of operator attention: A short review *Entertainment*. In: *Revue européenne de psychologie appliquée* (63), S. 335–343.
- 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 of the 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2014)*, Paris, France, S. 413-420.
- Henelius, A; Hirvonen, K; Holm A; Korpela, J; Muller, K (2009): Mental workload classification using heart rate metrics. In: *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, S. 1836 – 1839.
- Jeschke P, Adolph L, Wischniewski S (2014): Operateure in Leitwarten – Multitasker der Automatisierung, erschienen in: M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Der Mensch zwischen Automation, Kompetenz und Verantwortung (DGLR-Bericht 2014-01)*. Bonn: DGLR., S. 155-170.
- Loukopoulos LD, Dismukes RK, Barshi I (2009): *The multitasking myth: handling complexity in real-world operations*. Farnham, England; Burlington, VT : Ashgate Pub. Ltd.
- Marshall SP (2002): The Index of Cognitive Activity: Measuring Cognitive Workload. In *IEEE 7. Human Factors Meeting*, Scottsdale, USA, S. 7-5 – 7-9.
- Neerincx MA (2003): Cognitive Task Load Design: Model, Methods, and Examples. In: Hollnagel, E (Hrsg.): *Handbook of Cognitive Task Design*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., S. 283–305.
- Rasmussen J (1983): Skills, rules, knowledge; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* Bd. SMC-13, Nr. No.3, S. 257–266.
- Rubinstein JS, Meyer DE, Evans JE (2001): Executive control of cognitive processes in task switching. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* Bd. 27, Nr. 4, S. 763–797.
- Tokuda, S; Obinate, S (2012): Development of an algorithm to detect saccadic intrusions as an index of mental workload. In: *Proceedings of SICE Annual Conference (SICE)*, S. 1369 – 1372.
- Zijlstra FRH (1993): *Efficiency in work behavior: A design approach for modern tools*. Delft, Delft University of Technology, PhD Thesis.