

## **Operateure in Leitwarten – Multitasker der Automatisierung**

Peter Jeschke, Lars Adolph & Sascha Wischniewski

### **Zusammenfassung**

In der Planungsphase von Leitwarten werden neben der Gestaltung der Arbeitsmittel und der Arbeitsumgebung auch die Aufgaben geplant. Hierbei ist die Gewährleistung der zeitlichen Vereinbarkeit, unter Berücksichtigung von Sicherheitszuschlägen, ein erster Schritt in der Aufgabenallokation. Für die Bearbeitung komplexer Aufgabenzusammenhänge müssen die durch nicht planbare, intransparente, umfangreiche, dynamische und sich untereinander beeinflussende Aufgabeninhalte entstehenden psycho-mentalenen Anforderungen Berücksichtigung finden. Das gelingt mit zeitlichen Sicherheitszuschlägen nur unzureichend, da in Multitaskingsituationen die parallel ablaufenden Prozesse auch parallele Informationsverarbeitung in Echtzeit erfordern können. Der folgende Beitrag zentriert die Frage, wie viel Multitasking ist unter welchen Umständen in der Prozessüberwachung und -steuerung zweckmäßig. Dafür wird das Modell zur Prognose der mentalen Beanspruchung (*cognitive task load model*) vorgestellt und auf diese Fragestellung angepasst. Anpassungen des Originalmodells werden ausführlich hergeleitet und betreffen die theoretischen Grundlagen sowie die Prognose des Beanspruchungswertes mittels Fuzzy Logik. Um das angepasste Modell zu validieren, wurden die Ergebnisse mit 450 Beanspruchungswerten einer Feldstudie in Verkehrsleitzentralen gegenübergestellt und statistisch ausgewertet.

### **1 Automatisierung und Unterbrechungen**

In diesem Beitrag steht nicht die Automatisierungstechnik der Prozess- oder Feldebene im Mittelpunkt, sondern die Aufgabenwahrnehmung der Operateure an der Schnittstelle zum Prozessleitsystem (PLS). Das sind vorrangig PLS, die ein optimales Prozessergebnis durch eine kontext- bzw. aufgabenadäquate Kooperation zwischen Operateuren und teilautomatisiertem Prozess ermöglichen.

Um Automatisierungsgewinne zu nutzen, kann in modernen Leitzentralen die Arbeitsorganisation vorsehen, dass mehrere gleiche bzw. unterschiedliche Aufgaben von einem Operateur wahrgenommen werden. Eine solche Aufgabenallokation zielt darauf ab, die Effizienz des Operateurs zu steigern. Das wird einerseits dadurch erreicht, dass die Leerlauf- bzw. Wartezeit der Operateure reduziert wird. Dieser Trend ist grundsätzlich positiv zu bewerten, bedarf aber einer weiterführenden Analyse.

Fälschlicherweise, aber umso häufiger, wird das ergebnisbezogene Kontrollieren des automatisiert arbeitenden PLS als reine Leerlaufzeit und nicht als Aufgabe angesehen. Auf Basis dieser Auffassung werden Operateure mit zusätzlichen Aufgaben betraut, die das Aufrechterhalten des Situationsbewusstseins gefährden können. Werden Steuerungseingriffe notwendig, sind die Operateure nicht in der Lage, kurzfristig adäquat zu reagieren; sie sind „*out of the loop*“ (siehe z.B. Endsley & Kiris, 1995; Kaber & Endsley, 1997; Saqer & Parasuraman, 2014). Eine Reduktion der Wartezeit der Operateure auf Null ist nicht zweckmäßig. Das entspricht einer zeitlichen Auslastung von 100%. Beevis (1992) sah bereits eine zeitliche Auslastung von mehr als 80% als kritisch an.

Andererseits kann die Wahrnehmung mehrerer Aufgaben die Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins durch Komplettieren des Informationsstandes begünstigen (McFarlane & Latorella, 2002; McFarlane, 2002). Durch eine höhere Informationsdichte und -güte wird eine bessere Koordination der Prozesse erreicht, was umgekehrt zu einer Effizienzsteigerung beitragen kann.

In beiden Fällen müssen die Operateure zwischen den übertragenen Aufgaben hin und her wechseln. Diese Arbeitsweise wird als *task switching* (Rubinstein et al., 2001) oder *Multitasking* bezeichnet. Letzteres wird häufiger benutzt und findet auch in diesem Beitrag Verwendung. Der Wechsel zwischen den Aufgaben ist vor allem durch die Notwendigkeit begründet, auf Veränderungen in den Prozessparametern in Echtzeit reagieren zu müssen.

Unerheblich mit welchem Zweck die Aufgabenallokation erfolgt, die Wahrnehmung mehrerer Aufgaben stellt eine Belastungserhöhung dar. Diese Belastungserhöhung durch Multitasking kann die individuelle Beanspruchung der Operateure positiv oder negativ beeinflussen. Besondere Bedeutung wird diesbezüglich dem Augenblick des Aufgabenwechsels beigemessen.

Ein sich ankündigender Aufgabenwechsel führt zu Unterbrechungen der bisherigen Aufgabe bzw. Aufgaben. Allgemein betrachtet führt die Unterbrechung zu einer Verlängerung der Bearbeitungszeit der unterbrochenen Aufgabe, da deren Bearbeitung pausiert (siehe Bild 1). Die psycho-mentale Belastung wird hierbei durch zwei Aspekte beeinflusst:

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

Für eine detaillierte Beschreibung sei auf Altmann und Traflet (2007) bzw. Brixey (2007) verwiesen.

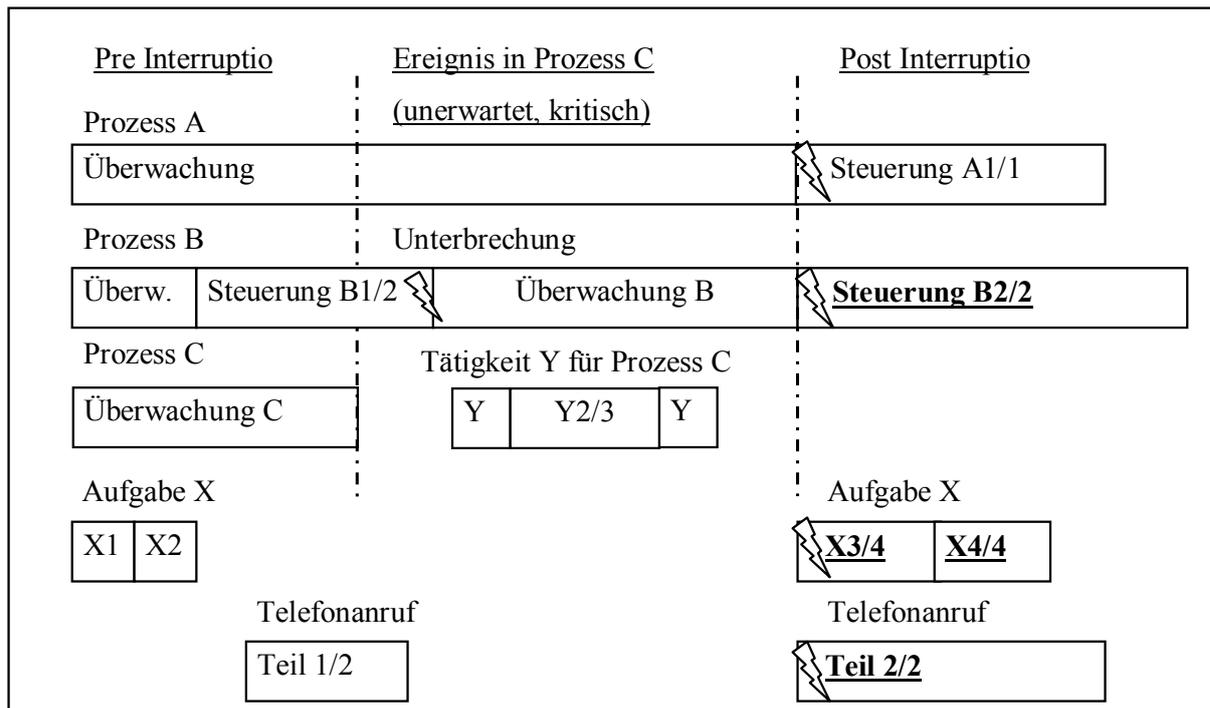


Bild 1: Verlauf einer Unterbrechung, in Anlehnung an Brixey et al. (2007).

An dieser Stelle wird festgehalten, dass die Unterbrechungen im Rahmen des Multitaskings keineswegs negativ zu interpretieren sind, sondern kontextbezogen analysiert werden müssen. Positiv kann sich Multitasking z.B. auf die Aufrechterhaltung der Vigilanz oder des Situationsbewusstseins auswirken. Als negative Auswirkungen können auszugsweise benannt werden: Verlängerung der Bearbeitungszeit, Vergessen von Informationen, Beeinträchtigung des Situationsbewusstseins und respektive Fehler in der Bearbeitung (siehe z.B. Siegrist et al., 2010; Loukopoulos et al., 2009; Bailey & Konstan, 2006; Salvucci, 2005; Wild et al., 2004).

Der Grund für diese Ambivalenz wird bei Anwendung der Normenreihe DIN EN ISO 10075 deutlich. Nach dieser umfassen die kurzfristigen Beanspruchungsfolgen:

1. Anregungseffekte, wie Aktivierung, bzw.
2. beeinträchtigende Effekte, wie psychische Ermüdung, Monotonie, herabgesetzte Wachsamkeit oder psychische Sättigung.

Der den beeinträchtigenden Effekte zugrunde liegende Belastungsbereich umfasst ein breites Spektrum, das von unterfordernden bis zu überfordernden Aufgabenkonstellationen reicht. Dabei verläuft das Risiko als Funktion der Belastung wie eine quadratische Funktion, mit dem Risikominimum im Bereich der optimalen Belastung. Jeder dieser beeinträchtigenden Effekte birgt ein bestimmtes Risiko für Fehlhandlungen in der Erfüllung der wahrzunehmenden Überwachungs- und Steuerungsaufgaben. Aus diesem Grunde appellieren Fahlbruch et al. (2008), bei der Gestaltung von Arbeitssystemen nicht nur auf die technische Sicherheit zu

achten, sondern auch das Systemelement Mensch zu berücksichtigen; was nach Schmidt (2008) zu einer Minimierung des Risikos von Fehlentscheidungen und -handlungen führen kann.

Um das Ziel der Risikominimierung umzusetzen, ist es notwendig, die Beanspruchungsfolgen zu operationalisieren. Ein Modell, welches Beanspruchungsfolgen in Abhängigkeit der übertragenen Aufgaben beschreiben kann, ist das kognitive Beanspruchungsmodell (*cognitive task load model*, CTL-Modell (Neerincx, 2003)).

## 2 CTL-Modell

Das Modell des *Cognitive Task Load* (CTL) hat seinen Ursprung in der Softwareentwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle für die Prozessüberwachung und -steuerung. Mit dem Modell wird das Ziel verfolgt, die psycho-mentale Beanspruchung der Operateure (*cognitive state*) optimal zu gestalten (Neerincx, 2003). Somit kann das Modell über die Schnittstellenentwicklung hinaus auch zur Aufgabenallokation verwendet werden (ebd.) und empfiehlt sich somit für die Arbeitsgestaltung (für Anwendungsbeispiele siehe Colin et al., 2012; Grootjen et al., 2006, 2007; Neerincx et al., 2003).

### 2.1 Das originale CTL-Modell

#### 2.1.1 Belastungsfaktoren

Neerincx (1995) beschreibt den cognitive task load anhand von drei Belastungsfaktoren (*load factors*, siehe Bild 2):

1. Aufgabenwechsel (*task set switches*, TSS);
2. Ebene der Informationsverarbeitung (*level of information processing*, LIP);
3. Anteil der durch die Aufgabenwahrnehmung beanspruchten Zeit (*time occupied*, TO).

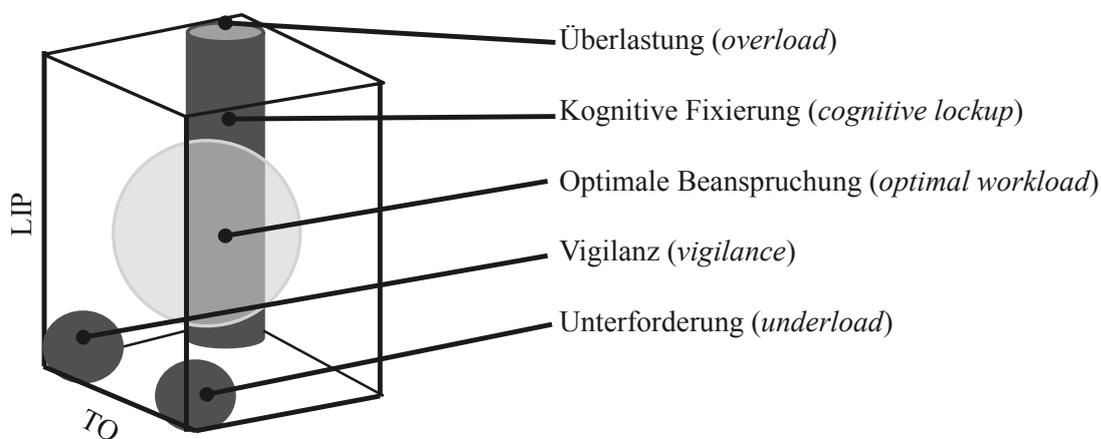


Bild 2: Darstellung des CTL-Modells (Grootjen et al., 2006).

Den Unterbrechungen und Aufgabenwechseln Rechnung tragend, 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 diesen Faktor zu operationalisieren, greift Neerincx auf die Forschungsarbeiten von Rasmussen über die kognitive Kontrolle (z.B. Rasmussen, 1983, 1985, 1986; Rasmussen et al., 1994) zurück. Die Ebenen der kognitiven Kontrolle beschreiben die verschiedenen Mechanismen der menschlichen Informationsverarbeitung. Dafür wird unterschieden in fertigkeitbasiertes (*skill based behaviour*, SBB), regelbasiertes (*rule based behaviour*, RBB) und wissensbasiertes (*knowledge based behaviour*, KBB) Verarbeitungsverhalten. SBB steht dabei für die geringste Belastung. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich ein System, welches diese kognitive Architektur berücksichtigt, in Routinezuständen sowie unbekanntem und unerwarteten Systemzuständen als gebrauchstauglich erweist (Vicente & Rasmussen, 1992).

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.

### 2.1.2 Ergänzung des Belastungsfaktors TO

In einer späteren Anwendung des CTL-Modells zur Ableitung des Echtzeitbeanspruchungswertes wurde der Belastungsfaktor TO durch die für eine Aufgabe benötigte Aufmerksamkeit (*mental occupancy*, MO) ersetzt (Colin et al., 2012, 2014). Damit sollte der über die Arbeitsgedächtnisleistung und Informationsverarbeitung hinausgehenden Belastung durch unterschiedliche Aufmerksamkeitsanforderungen Rechnung getragen werden. Da jedoch der Entwickler des CTL-Modells diese Erweiterung kritisch begleitet (Neerincx et al., 2014), wird im Rahmen dieses Beitrages weiterhin TO verwendet.

### 2.1.3 Ableiten des mentalen Beanspruchungswertes

Aus den drei Belastungsfaktoren TSS, LIP und TO wird in einem weiteren Verarbeitungsschritt der mentale Beanspruchungswert (*mental work load*, MWL) errechnet. Dieser vorerst abstrakte Wert errechnet sich aus (Colin et al., 2012):

$$MWL = d_{\text{Nullpunkt}} - (d_{\text{Diagonale}})^{-1} \quad (1)$$

$d_{\text{Nullpunkt}}$  Abstand zum Koordinatenursprung

$d_{\text{Diagonale}}$  Abstand zur Diagonalen durch den Raum

Der MWL muss abschließend mittels Bayes-Klassifikator einer Beanspruchungsklasse zugeordnet werden. Dazu muss der Bayes-Klassifikator mit individuellen oder gruppenbezogenen Referenzwerten trainiert werden. Auf Basis der Referenz ordnet der Klassifikator einen MWL-Wert der Beanspruchungsklasse zu, die die

höchste Übereinstimmung mit den Trainingswerten aufweist (Colin et al., 2014). Damit wird am Ende nur die Aussage getroffen, ob der CTL optimal ist oder nicht.

#### 2.1.4 Fazit

Aus Sicht der Autoren ist das CTL-Modell eine zweckmäßige Methode, um die mentale Beanspruchung von Operateuren bei der Wahrnehmung komplexer Überwachungs- und Steuerungsaufgaben zu prognostizieren. Es erfolgte jedoch eine Entwicklung des Modells (siehe Colin et al., 2012, 2014), welche für den Zweck der Aufgabenallokation nicht optimal erscheint. Folgende Beeinträchtigungen wurden identifiziert:

- nicht alle Beanspruchungsfolgen nach DIN EN ISO 10075-1:2000 werden durch das Modell erfasst;
- Beschreibung des Bereiches der optimalen Beanspruchung fehlt;
- Methodik zum Training des Bayes-Klassifikators mittels Referenzsets ist nicht reproduzierbar dokumentiert; und
- zweistufige Ermittlung des CTL-Wertes kann optimiert werden.

## 2.2 Erweiterung des CTL-Modells

Aus den im vorigen Abschnitt dargelegten Gründen empfiehlt sich eine Erweiterung des originalen CTL-Modells. Das CTL-Modell wird als kartesisches Koordinatensystem begriffen, um die Zusammenhänge numerisch abbilden zu können (Bild 3). Ein Koordinatensystem zeichnet sich dadurch aus, dass jeder Punkt in dessen Geltungsbereich eineindeutig identifiziert werden kann.

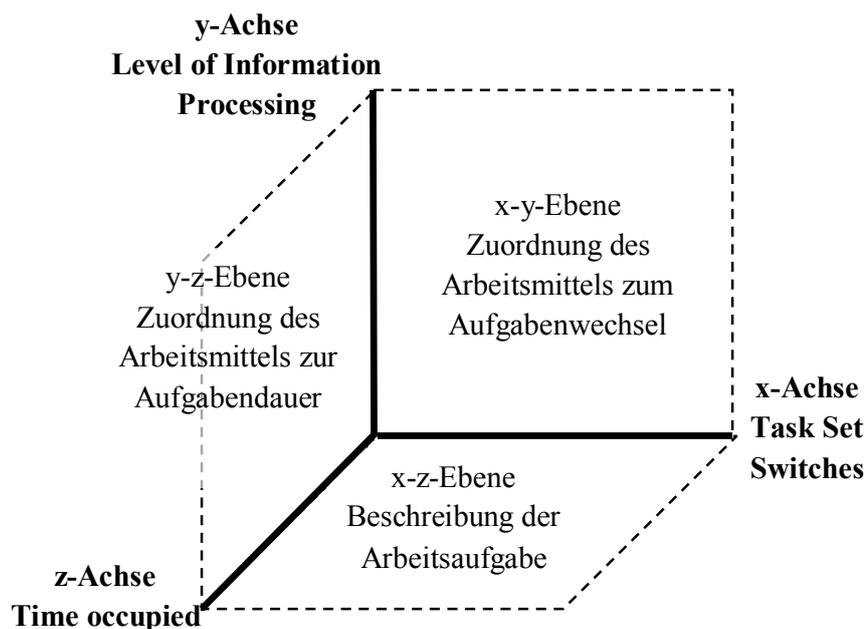


Bild 3: Das CTL-Modell im 3D kartesischen Koordinatensystem.

Mit welchen Erweiterungen die Beeinträchtigungen behoben werden sollen, wird auf Basis des 3D-Koordinatensystems in den folgenden Abschnitten erläutert.

### 2.2.1 Erweiterung der Risikobereiche

In einer Gegenüberstellung der Risikobereiche des originalen CTL-Modells mit den Beanspruchungsfolgen der Normenreihe DIN EN ISO 10075 wird deren Übereinstimmung analysiert:

- Monotonie und „Unterforderung“,
- Herabgesetzte Wachsamkeit und „Vigilanzprobleme“ und
- Psychische Ermüdung und „Überforderung“.

Die Beanspruchungsfolge psychische Sättigung ist nicht durch die bisherigen Risikobereiche abgedeckt. Die Interpretation über die Belastungsfaktoren TSS, LIP und TO erfolgte auf Basis von Jandova (2009). Folglich können fünf Risikobereiche für Fehlhandlungen identifiziert werden (Bild 4).

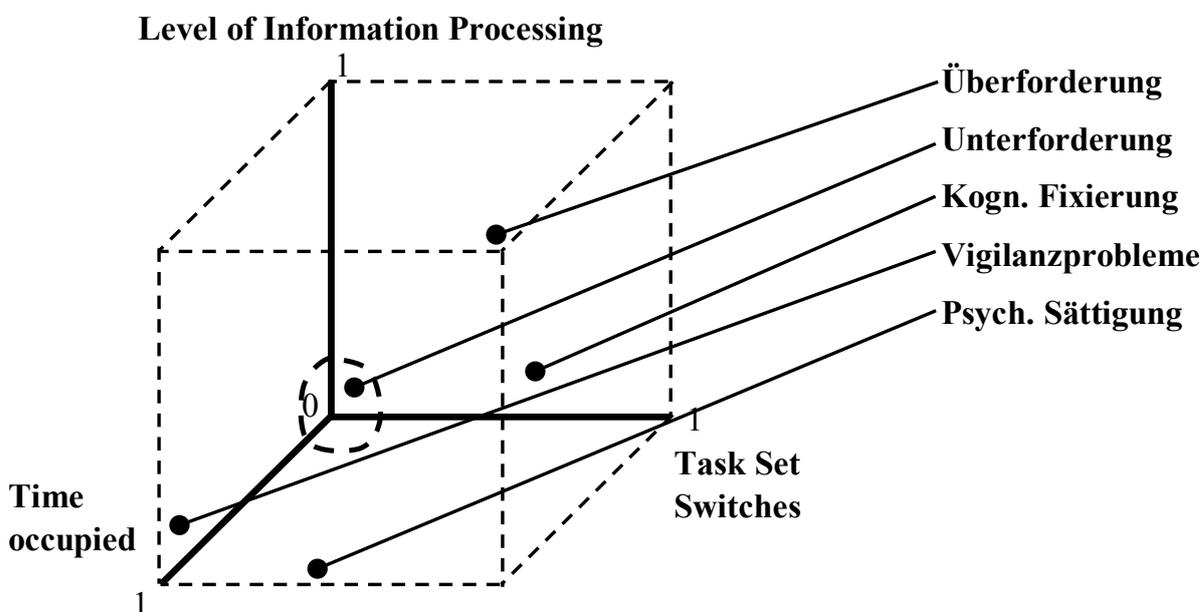


Bild 4: Risikobereiche des CTL-Modells.

### 2.2.2 Definition des optimalen Beanspruchungsbereiches

Nach Neerincx (2003) und Grootjen et al. (2006) ist der optimale Beanspruchungsbereich eine Kugel mit dem Mittelpunkt  $M=(0,5 \ 0,5 \ 0,5)$ ; siehe Bild 2. Dies widerspricht der Hypothese, dass die optimale Beanspruchung nur gewährleistet wird, wenn bei steigender Belastung durch die Informationsverarbeitung gleichzeitig die Belastung durch die Arbeitsaufgabe verringert wird. Somit wird im Rahmen dieses Beitrages angenommen, dass der Bereich der optimalen Beanspruchung einer Freiformfläche entspricht, deren Flächeninhalt mit zunehmender Belastung durch die Informationsverarbeitung abnimmt (Bild 5, optimaler Beanspruchungsbereich in hellgrau).

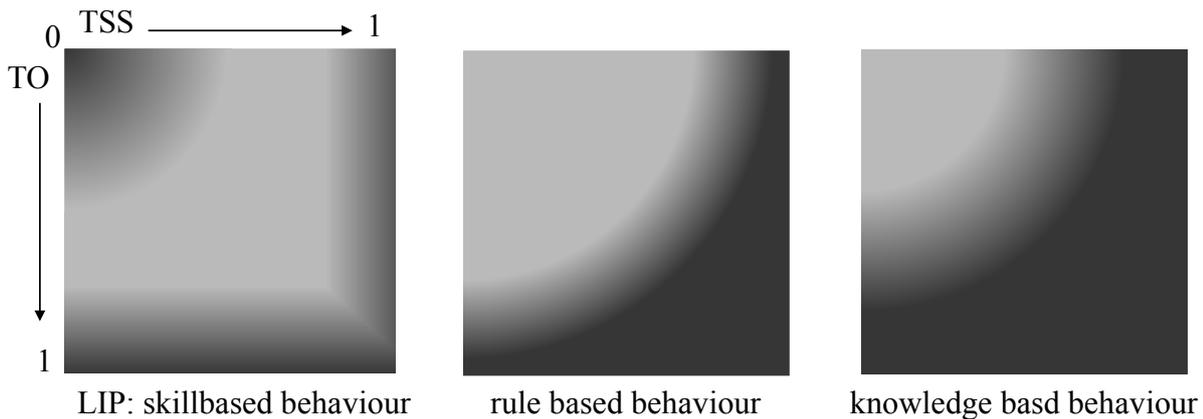


Bild 5: postulierter Bereich der optimalen Beanspruchung in Draufsicht.

### 2.2.3 Alternative Ermittlung des CTL-Wertes

Wie in Abschnitt 3.1.4 aufgezeigt, soll für die Ermittlung des CTL-Wertes eine optimierte Alternative überprüft werden. Zur Erinnerung: im originalen Modell wird der CTL-Wert aus den drei Belastungsfaktoren mittels Abstandsberechnung und Klassenzuweisung ermittelt. Für die Klassenzuweisung muss der Klassifikator individuums- bzw. gruppenbezogen trainiert werden, was zusätzlichen Aufwand bedeutet und zu einer Erhöhung des systematischen Fehlers beitragen kann. Da mit dem Modell absolute Beanspruchungswerte prognostiziert werden sollen, ist eine Minimierung des systematischen Fehlers anzustreben.

Die vorgeschlagene Alternative setzt nach der Extraktion der Belastungsparameter TSS, LIP und TO an. Im erweiterten Modell werden die Parameter mittels Fuzzy Logik kombiniert und ergeben einen Gesamtbeanspruchungswert. Für weiterführende Details zur Fuzzy Logik siehe Zadeh (1965), Drechsel (1996) oder Lunze (2010). Im Allgemeinen ist der Schlussfolgerungsalgorithmus eines Fuzzy Inferenz Systems (FIS) aus folgenden Teilen aufgebaut: Fuzzifizierung, Inferenzmechanismus, Defuzzifizierung.

Fuzzifiziert werden die Eingangswerte TSS, LIP und TO anhand der in Anhang dargestellten Funktionen. Hierbei gilt, je geringer der Grad der Zugehörigkeit, desto unschärfer ist die Zugehörigkeit der jeweiligen Basisvariable zu einer Menge. Das bedeutet, ein unscharfer Eingangswert besitzt mehrere Interpretationen seiner Zugehörigkeit.

Der Inferenzmechanismus bildet den Kern des Schlussfolgerungsalgorithmus und besteht aus 1. Aggregation, 2. Implikation und 3. Akkumulation der Belastungsfaktoren. Je nach Anwendungszweck existieren verschiedene Mengenoperatoren zur Aggregation und Akkumulation. Das hier verwendete FIS aggregiert die Belastungsfaktoren auf Basis des Minimumoperators (MIN) und akkumuliert auf Basis des Maximumoperators (MAX). Die Verwendung dieser Methoden verfolgt das Ziel einer konservativen Ergebnisprognose. Die Inferenz, d. h. die Kombination der Eingangswerte, folgt dem „wenn x, dann y“-Prinzip und ist mit Regeln festgeschrieben. Die Grundlage zur Erstellung der Regeln kann z.B. Experten-

wissen sein. Im hier vorgestellten FIS ist die Regelbasis direkt aus dem originalen CTL-Modell abgeleitet. Der Umfang der Regelbasis errechnet sich aus den linguistischen Beschreibungsmöglichkeiten und der Anzahl der Bewertungskriterien. Die Regelbasis umfasst hierfür  $5^3 = 125$  Regeln, d. h. drei Belastungsfaktoren mit fünf Beurteilungsstufen.

Das „Zwischenergebnis“ des Inferenzmechanismus ist eine unscharfe Menge, welche die mentale Beanspruchung beschreibt. Für eine bessere Interpretation muss das „Zwischenergebnis“ defuzzifiziert werden. Eine Rückwärts-Fuzzifizierung über Zugehörigkeitsfunktionen ist nicht möglich. Vielmehr muss ein numerischer Wert zur Charakterisierung der unscharfen Menge gefunden werden. Aus den verschiedenen Alternativen dazu, wurde für das FIS des erweiterten CTL-Modells die Flächenschwerpunktmethode gewählt.

Der mittels Fuzzy Logik prognostizierte CTL-Wert wird auf eine 5 stufige Likert-Skala übertragen. Diese indiziert Unterforderung, optimale Beanspruchung und Überforderung, mit Zwischenstufen (Bild 6).

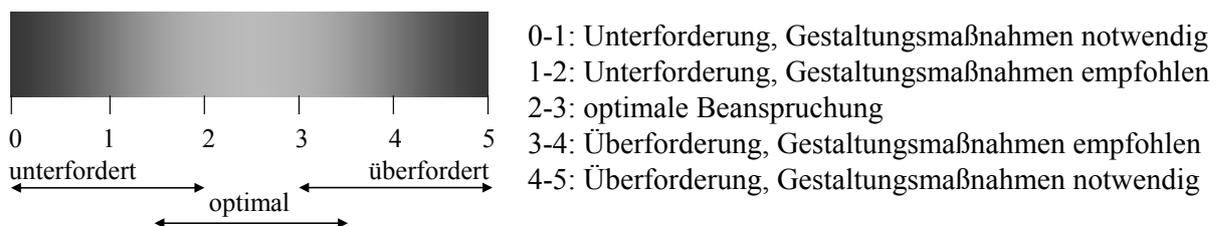


Bild 6: CTL-Skala mit Hinweisen zur Gestaltung der Aufgabenwahrnehmung.

### 3 Überprüfen des erweiterten CTL-Modells

Die vorgeschlagenen Erweiterungen zum herkömmlichen CTL-Modell wurden im vorangegangenen Abschnitt hergeleitet und erläutert. Ob damit auch die Ergebnisqualität des Originalmodells gewährleistet wird, soll Gegenstand dieses Abschnitts sein. Das erweiterte CTL-Modell wurde in GNU OCTAVE, Version 3.6.2, unter Verwendung der Skriptpakete „fuzzy-logic-toolkit“ (Version 0.4.2) und „statistics“ (Version 1.1.3), implementiert.

#### 3.1 Vorgehen zur Validierung

Um die Ergebnisqualität zu überprüfen, wird folgende Vorgehensweise verfolgt:

1. Verifizierung;
2. Validierung 1:
  - a) Überprüfen der Ergebnisse einer Feldstudie,
  - b) Optimierung;
3. Validierung 2: Durchführen von
  - a) Laborstudie und
  - b) Feldstudie.

Zur Zeit der Erstellung dieses Beitrages wurden die Schritte 1 und 2a durchgeführt. Da Schritt 1 im Wesentlichen untersucht, wie sich das erweiterte Modell verhält, wird im folgenden Teil nur Schritt 2a detailliert dargelegt. Die nachfolgenden Schritte werden im Rahmen eines weiteren Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) weiterbearbeitet.

### 3.2 Erste Validierung

Im Gegensatz zur Verifizierung ist die Überprüfung der richtigen Funktionsweise das Ziel der Validierung. Für diesen Zweck wurden die Beanspruchungsdaten einer Feldstudie ausgewertet und mit den prognostizierten Beanspruchungswerten des erweiterten CTL-Modells korreliert.

#### 3.2.1 Feldstudie (siehe Hinweise Abschnitt 5)

Die Feldstudie dokumentierte die subjektive Beanspruchung (*rating scale of mental effort* (RSME) nach Zijlstra, 1993) bei der Wahrnehmung von Überwachungs- und Steuerungsaufgaben in 18 deutschen Verkehrsleitzentralen. Insgesamt wurden in der Feldstudie 25 Operateure in ca. 200 Arbeitsstunden begleitet. Die subjektive Beanspruchung wurde ca. alle 15 Minuten erfasst. Es konnten 450 RSME Werte für die Validierung herangezogen werden. Die Prozessdokumentation umfasste 6228 Schritte, wovon 5664 ausgewertet wurden.

Um die Daten der Feldstudie für die Validierung aufzubereiten, wurde wie folgt vorgegangen:

1. Durchführen von hierarchischer Aufgabenanalyse (Annett, 2004), Kompetenzanalyse (*worker competency analysis* (Vicente, 1999)) und angewandter kognitiver Aufgabenanalyse (*applied cognitive task analysis* (Militello & Hutton, 1998)) zur:
  - a) Erfassen der Belastung des Arbeitsgedächtnisses beim Aufgabenwechsel (TSS): ableiten von Informationsbereichen (*information domains*),
  - b) Extrahieren der Ebenen der kognitiven Kontrolle (LIP),
  - c) Errechnen der zeitlichen Auslastung (TO) pro Prozessschritt;
2. Teilautomatisiertes Auswerten der Daten in Excel, Export der per RSME-Zeiteinheit ( $t = 15 \text{ min}$ ) aggregierten Belastungsfaktoren (TSS, LIP, TO); und
3. Berechnen der CTL-Werte (erweitertes CTL-Modell, originales CTL-Modell ohne Bayes-Klassifikator) und Korrelationen durch GNU OCTAVE.

#### 3.2.2 Auswertung und Interpretation

Von Interesse für die Validierung ist die Prognosegüte des erweiterten CTL-Modells im Vergleich zum originalen CTL-Modell (siehe Tabelle 1). Seitens des erweiterten CTL-Modells wird noch die Berechnung via TO und MO unterschieden.

Tab. 1: Übersicht über die untersuchten Korrelationen (nach Spearman)

	RSME-CTL (original)	RSME-CTL (fuzzy)	CTL (fuzzy-original)
$r$	.39**	.41**	.86**
$r^2$	16%	16%	75%

\*\*  $p \leq .01$  (Korrelation ist signifikant unterschiedlich von Null mit  $\alpha = 1\%$ , zweiseitige Verteilung)

Weiterhin wurde überprüft, ob Korrelationen zwischen dem erweiterten CTL-Modell und Operateur oder den RSME-Skalenbereichen bzw. zwischen RSME-Werten und CTL-Skalenbereich existieren. Signifikante Zusammenhänge ( $p < .05$ ) zwischen erweitertem CTL-Modell und Operateur konnten bei  $n = 8$ , entspricht 32%, nachgewiesen werden. Ein statistisch relevanter Zusammenhang konnte zwischen RSME- und CTL- Skalenbereichen nicht hergestellt werden. Der Zusammenhang zwischen den RSME-Werten und CTL-Skalenbereichen ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Korrelation (nach Spearman) zwischen RSME-Werten und dem Skalenbereich des erweiterten CTL-Modells unter Nutzung von TO

	CTL Skalenbereiche							
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	unterfordert (0-2)	Optimal (1,5-3,5)	Überfordert (3-5)
$r$	.11*	.03	.07	.09*	.12*	.14	.17*	.25**
$r^2$	1%	0%	1%	1%	1%	2%	3%	6%

\*  $p \leq .05$  (Korrelation ist signifikant unterschiedlich von Null mit  $\alpha = 5\%$ , zweiseitige Verteilung), \*\*  $p \leq .01$  (Korrelation ist signifikant unterschiedlich von Null mit  $\alpha = 1\%$ , zweiseitige Verteilung)

Doch welche Schlüsse können aus den präsentierten Daten gezogen werden? Als Grundlage für die Validierung dienten Daten einer Feldstudie, mit allen Vor- und Nachteilen eines solchen Untersuchungsdesigns. Bei einem Einfluss des Antwortungsverhaltens von  $> .3$  ist es erfreulich, dass das originale CTL-Modell eine Varianzaufklärung in der dargestellten Größenordnung aufweist und spricht für die Qualität des originalen CTL-Modells.

Die geringe Verbesserung der Varianzaufklärung des erweiterten CTL-Modells gegenüber dem Original kann ebenfalls als positiv bewertet werden. Die in Tabelle 2 dargestellten Zusammenhänge zeigen abermals den Einfluss des Untersuchungsdesigns. Darin wird der Grund gesehen, dass nicht über alle CTL-Skalenbereiche ein statistischer Zusammenhang zu den RSME-Werten nachgewiesen werden konnte.

#### **4 Fazit und Ausblick**

Den Ergebnissen der ersten Validierung folgend, soll abschließend ein Fazit gezogen werden. Aus der Berücksichtigung des Risikobereiches psychische Sättigung konnte nicht definitiv ein Vorteil erkannt werden. Neben modelltheoretischen Überlegungen kann dies aber auch den beobachteten Situationen der Feldstudie zugeschrieben werden. Die alternative Vorgehensweise über Fuzzy-Logik bestand darin, die theoretischen Zusammenhänge des originalen CTL-Modells direkt in Kombinationsregeln zu fassen. Damit ist der in der CTL-Theorie nicht direkt verankerte Zwischenschritt über die Bayes-Klassifizierung zukünftig nicht mehr erforderlich, was als Vorteil gesehen wird. Gegen die weitere Verwendung des Belastungsfaktors MO für die Prognose spricht vorrangig die nur marginal bessere Varianzaufklärung. Diese vermag es nicht, die modelltheoretischen Bedenken bei der Bestimmung des Belastungsfaktors MO im Rahmen der kognitiven Aufgabenanalyse aufzuwiegen.

Die Datenauswertung legt eine detaillierte Optimierung des Berechnungsalgorithmus nahe. Hierfür sollen Methoden aus dem maschinellen Lernen zum Einsatz kommen. Im Anschluss daran wird eine Laborstudie durchgeführt. Ziel ist, mit definierten Belastungssituationen individuelle Beanspruchungswerte 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. Auf die Laborstudie folgend soll abermals eine Feldstudie die Validität des Modells und der damit verbundenen Vorgehensweise sicherstellen.

Eingangs zu diesem Beitrag wurde die Frage aufgeworfen, wie viel Multitasking unter welchen Umständen zweckmäßig ist. Derzeit können auf Basis des CTL-Modells nur relative Aussagen getroffen werden. Es gilt, dass bei Unterforderung eine Belastungserhöhung durch Multitasking die Beanspruchung optimieren kann. Hingegen sollte bei Überforderung die Belastung durch Multitasking reduziert werden, um die Beanspruchung zu optimieren.

#### **5 Hinweis zur verwendeten Datengrundlage**

Die in dieser Veröffentlichung ausgewerteten Prozessdaten unterliegen der Vertraulichkeit. Die Prozessdaten wurden im Rahmen einer Feldstudie erhoben, unter wissenschaftlicher Begleitung der BAuA. Die Erhebung fand statt im Zeitraum Mai bis Oktober 2011 und wurde durch Mitarbeitende des Instituts für Arbeitswissenschaft an der RWTH Aachen und des Fraunhofer Instituts für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie durchgeführt. Die erhobenen Daten wurden an die BAuA zur weiteren wissenschaftlichen Verwendung übergeben. Um die geforderte Vertraulichkeit sowie die Echtheit der Daten zu gewährleisten, wurden die Originaldatensätze wie folgt verwendet:

1. Extrahieren der folgenden Daten aus Originaldatensätzen:
  - a) Prozessort, b) Prozessschritt und Erläuterungen, c) Uhrzeit, d) Dauer, und e) Subjektives Beanspruchungsmaß;
2. Umbenennen folgender Kategorien mit anonymen Bezeichnungen:
  - a) Prozessort, b) Prozessschritt und Erläuterungen; und
3. Zusammenführen der separaten Datensätze in einen Datensatz zur weiteren Verwendung (siehe Abschnitt 3.2.1)

## Literatur

- Altmann, E.M. & Trafton, J.G. (2007). Timecourse of recovery from task interruption: Data and a model. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14 (6), 1079–1084.
- Annett, J. (2004). Hierarchical Task Analysis. In N. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas & H. Hendrick (Eds.), *Handbook of Human Factor and Ergonomics Methods*. Boca Raton, FL: CRC Press Inc.
- Bailey, B.P. & Konstan, J.A. (2006). On the need for attention-aware systems: Measuring effects of interruption on task performance, error rate, and affective state. *Computers in Human Behaviour*, 22 (4), 685–708.
- Beevis, D. (1992). *Analysis techniques for man-machine systems design, Vol 1 & 2* (Technical Report Nr. AC/243(Panel 8)TR/7). Brüssel: NATO, Panel 8-RSG 14.
- Brixey, J.J., Robinson, D.J., Johnson, C.W., Johnson, T.R., Turley, J.P. & Zhang, J. (2007). A concept analysis of the phenomenon interruption. *Advances in Nursing Science*, 30 (1), 26–42.
- Colin, T.R., Mioch, T.T., Smets, N.J.J.M. & Neerincx, M.A. (2012). Estimating an operator's cognitive state in real time: A user modeling approach. *Proceedings of the 2012 IEEE RO-MAN*. Paris: IEEE — ISBN 978-1-4673-4604-7, S. 627–633.
- Colin, T.R., Smets, N.J.J.M., Mioch, T. & Neerincx, M.A. (2014). Real Time Modeling of the Cognitive Load of an Urban Search and Rescue Robot Operator. *Proceedings of the 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*. Edinburgh, Scotland.
- Drechsel, D. (1996). *Regelbasierte Interpolation und Fuzzy Control*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn — ISBN 3-528-05515-4.
- Endsley, M.R. & Kiris, E.O. (1995). The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors*, 37 (2), 381–394.
- Fahlbruch, B., Schöbel, M. & Domeinski, J. (2008). Sicherheit. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger, & K. Lauche (Hrsg.), *Human factors: Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 19–35). Heidelberg: Springer.
- Grootjen, M., Neerincx, M.A. & Veltman, J.A. (2006). Cognitive task load in a naval ship control centre: from identification to prediction. *Ergonomics*, 49 (12-13), 1238–1264.
- Grootjen, M., Neerincx, M.A., Weert, J.C.M. & Truong, K.P. (2007). Measuring Cognitive Task Load on a Naval Ship: Implications of a Real World Environment. In D.D. Schmorrow & L.M. Reeves (Eds.), *Foundations of Augmented Cognition*. Vol. 4565 (pp. 147–156). Berlin, Heidelberg: Springer — ISBN 978-3-540-73215-0.
- Jandova, A. (2009). *Zusammenhänge zwischen Arbeitssicherheit und psychischer Fehlbeanspruchung – Synergien aus der habituellen und täglichen sowie einmaligen Erfassungsebene*. Dresden: TU Dresden.

- Kaber, D.B. & Endsley, M.R. (1997). Out-of-the-loop performance problems and the use of intermediate levels of automation for improved control system functioning and safety. *Process Safety Progress*, 16 (3), 126–131.
- Loukopoulos, L.D., Dismukes, R.K. & Barshi, I. (2009). *The multitasking myth: handling complexity in real-world operations*. Farnham, England; Burlington, VT: Ashgate— ISBN 9780754673828.
- Lunze, J. (2010). *Künstliche Intelligenz für Ingenieure*. 2. Auflage. München: Oldenbourg — ISBN 978-3-486-70222-4.
- McFarlane, D. (2002). Comparison of Four Primary Methods for Coordinating the Interruption of People in Human–Computer Interaction. *Human Computer Interaction*, 17, 63–139.
- McFarlane, D. & Latorella, K. (2002). The Scope and Importance of Human Interruption in Human–Computer Interaction Design. *Human Computer Interaction*, 17, 1–61.
- Militello, L.G. & Hutton, R.B.J. (1998). Applied cognitive task analysis (ACTA): a practitioner’s toolkit for understanding cognitive task demands. *Ergonomics*, 41 (11), 1618.
- Neerincx, M.A. (2003). Cognitive Task Load Design: Model, Methods, and Examples. In E. Hollnagel (Ed.), *Handbook of Cognitive Task Design* (pp 283–305). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Neerincx, M.A., Rypkema, J. & Passenier, P.O. (2003). Cognitive and Functional (COLFUN) Framework for Envisioning and Assessing High-Demand Situations. *Proceedings of the 9th European Symposium on Cognitive Science Approches to Process Control*, (pp 11–16). Amsterdam: The EACE Conference Series.
- Neerincx, M.A. (1995). *Harmonizing Tasks to human Knowledge and Capacities*. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Neerincx, M.A., Harbers, M., Lim, D. & van der Tas, V. (2014). Automatic Feedback on Cognitive Load and Emotional State of Traffic Controllers. In D. Harris (Ed.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics 2014, Lecture Notes on Artificial Intelligence* (pp 42–49). Heraklion, Greece: Springer International Publishing Switzerland — ISBN 978-3-319-07514-3.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, knowledge; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13 (3), 257–266.
- Rasmussen, J. (1985). The role of hierarchical knowledge representation in decision making and system management. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15, 234–243.
- Rasmussen, J. (1986). *Information Processing and Human-Machine-Interaction: An Approach to Cognitive Engineering*. New York: Elsevier Science — ISBN 978-0444009876.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A.M. & Goodstein, L.P. (1994). *Cognitive systems engineering*. New York: Wiley & Sons — ISBN 9780471011989.
- Rubinstein, J.S., Meyer, D.E. & Evans, J.E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27 (4), 763–797.
- Salvucci, D.D. (2005). A multitasking general executive for compound continuous tasks. *Cognitive Science*, 29, 457–492.
- Saqr, H. & Parasuraman, R. (2014). Individual performance markers and working memory predict supervisory control proficiency and effective use of adaptive automation. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, 3 (1), 15–31.

- Schmidt, L. (2008). Ergonomie und Führungssysteme. In L. Schmidt, C. Schlick & J. Grosche (Hrsg.), *Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme* (S. 67–68). Berlin, Heidelberg: Springer — ISBN 978-3-540-78330-5.
- Siegrist, J., Dragano, N. & Wahrendorf, M. (2010). Arbeitsbelastungen und psychische Gesundheit bei älteren Erwerbstätigen: die Bedeutung struktureller Intervention. In B. Badura, H. Schröder, J. Klose & K. Macco (Hrsg.), *Arbeit und Psyche: Belastungen reduzieren - Wohlbefinden fördern. Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft* (Kap. 18). Heidelberg, Berlin: Springer. — ISBN 978-3-642-01077-4.
- Vicente, K.J. (1999). *Cognitive Work Analysis: Towards safe, productive, and healthy computer based work*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum — ISBN 9780805823967.
- Vicente, K.J., Rasmussen, J. (1992). Ecological interface design: theoretical foundations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22 (4), 589–606.
- Wild, P., Johnson, P. & Johnson, H. (2004). Towards a Composite Modelling Approach for Multitasking. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Task Models and Diagrams for user interface design*. (TAMODIA 2004), pp 17–24.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338–353.
- Zijlstra, F.R.H. (1993). *Efficiency in work behavior: A design approach for modern tools*. Delft, Delft University of Technology, PhD Thesis.

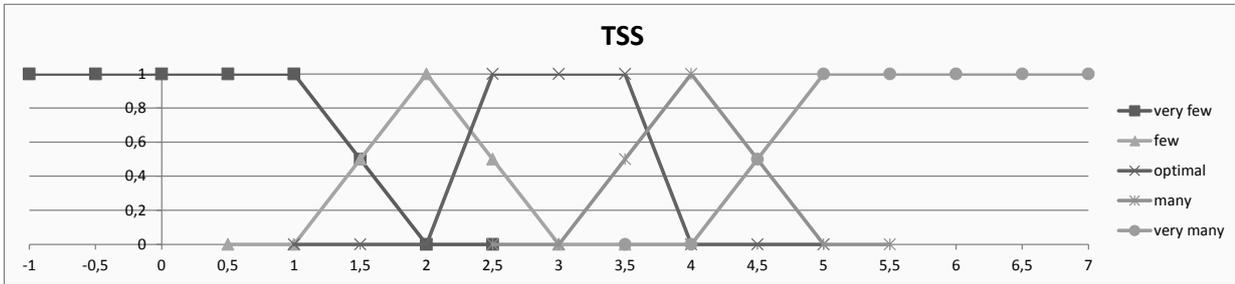
### **Autoren**

P. Jeschke, M.Eng.	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Dr. S.M.	Gruppe „Human Factors, Ergonomie“
Wischniewski	Dortmund
Dr. L. Adolph	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
	„Produkte und Arbeitssysteme“
	Dortmund

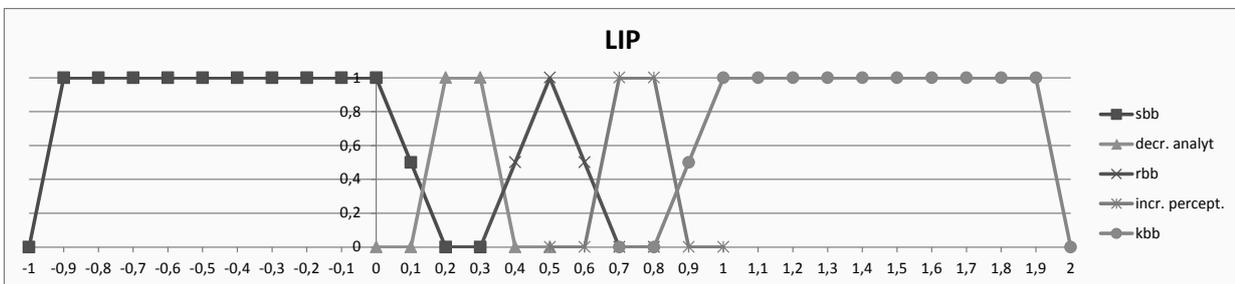
Kontakt: [jeschke.peter@baua.bund.de](mailto:jeschke.peter@baua.bund.de)

**Anhang: Zugehörigkeitsfunktionen (*membership functions*)**

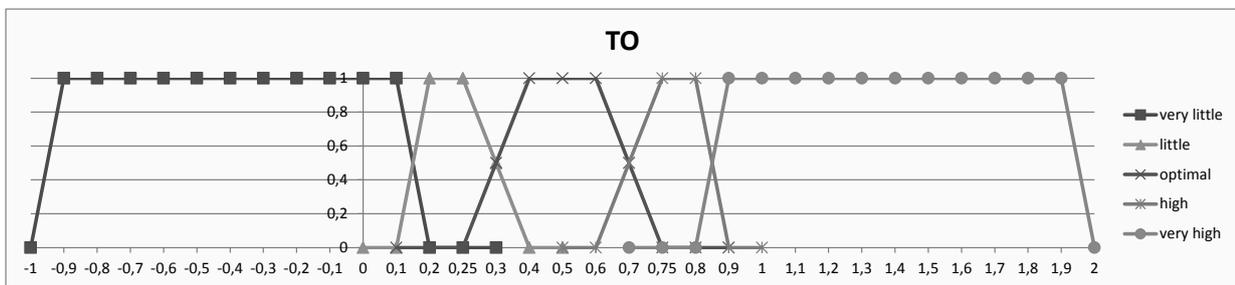
Fuzzifizierung der Eingangsparameter



Zugehörigkeitsfunktionen für Aufgabenwechsel

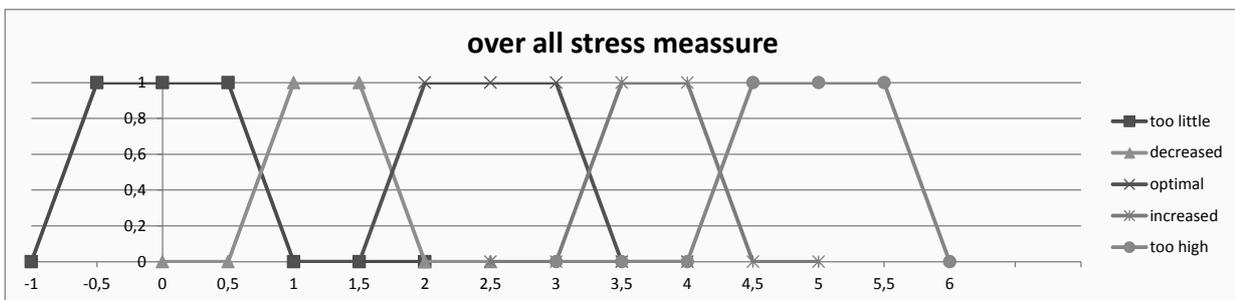


Zugehörigkeitsfunktionen für Ebenen der Informationsverarbeitung



Zugehörigkeitsfunktionen für zeitliche Auslastung

Defuzzifizierung des Ausgabewertes



Zugehörigkeitsfunktion des CTL-Wertes