



Entwicklung eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung in der Prozessführung

baua: Bericht

**Forschung
Projekt F 2359**

P. Jeschke

**Entwicklung eines analytischen
Modells zur Prognose der mentalen
Beanspruchung in der Prozessführung**

1. Auflage 2017
Dortmund/Berlin/Dresden

Diese Veröffentlichung entspricht der Dissertation „Entwicklung eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung in der Prozessführung“ im Rahmen des Projekts „Belastungsoptimierte Arbeitsgestaltung in Leitwarten beim Einsatz moderner IKT Teilprojekt 2.1 Belastung und Beanspruchung durch Multitasking in Leitwarten“ – Projekt F 2359 – der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

Zugl.: Dresden, Technische Universität, Diss., 2017.

Autor: Peter Jeschke, M. Eng. (UNSW), Dipl.-Ing. (FH)
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelfoto: Peter Jeschke
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Umschlaggestaltung: Vanessa Seeger
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herstellung: Druck & Verlag Kettler GmbH, Bönen

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund
Telefon 0231 9071-2071
Telefax 0231 9071-2070
E-Mail info-zentrum@buaa.bund.de
Internet www.buaa.de

Berlin: Nöldnerstraße 40 – 42, 10317 Berlin
Telefon 030 51548-0
Telefax 030 51548-4170

Dresden: Fabricestraße 8, 01099 Dresden
Telefon 0351 5639-50
Telefax 0351 5639-5210

Die Inhalte der Publikation wurden mit größter Sorgfalt erstellt und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die BAuA jedoch keine Gewähr.

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.



doi:10.21934/buaa:bericht20171011 (online)

www.buaa.de/dok/8730288

Entwicklung eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung in der Prozessführung

Von der Fakultät Maschinenwesen
der Technischen Universität Dresden

zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur (Dr.-Ing.)
angenommene Dissertation

von

Peter Jeschke, M. Eng. in Safety Science (UNSW), Dipl.-Ing. (FH)
geboren am 9. Januar 1980 in Jena

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder
Dir. und Prof. Dr. phil. Lars Adolph

Vorsitzender der Promotionskommission: Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Herlitzius

Tag des Rigorosums und der Disputation: Dresden, den 13. Juni 2017

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	9
Abstract	10
Liste korrespondierender Veröffentlichungen	11
1 Problemstellung und Lösungsansatz	12
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	12
1.2 Zielsetzung	14
1.3 Lösungsansatz	14
2 Stand der Wissenschaft und Technik	16
2.1 Prozessführung	16
2.1.1 Prozessführung unter dem Einfluss von Automatisierung und Digitalisierung	16
2.1.2 Multitasking in der Prozessführung	17
2.1.3 Auswirkungen auf die Aufgabenausführung	19
2.1.4 Schlussfolgerung	19
2.2 Belastung und Beanspruchung	19
2.2.1 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	19
2.2.2 Beanspruchungsfolgen	21
2.2.3 Beanspruchungsmessung	21
2.2.4 Schlussfolgerung	24
2.3 Stand der Wissenschaft zur Prognose der Beanspruchung	25
2.3.1 Anforderungen an ein analytisches Modell zur Prognose der Beanspruchung	25
2.3.2 Modellübersicht, Modellvergleich und Modellauswahl	26
2.3.3 Das Cognitive Task Load Modell	27
2.3.4 Bewertung des CTL-Modells	31
2.4 Stand der Technik in der Verarbeitung unscharfer Informationen	31
2.4.1 Methoden zur Verarbeitung unscharfer Informationen	32
2.4.2 Fuzzy Logik	33
2.4.3 Schlussfolgerung	37
2.5 Diskussion des vorgestellten Standes der Wissenschaft und Technik	38
3 Weiterentwicklung und Verifizierung eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung	40
3.1 Weiterentwicklung	40
3.1.1 Skalieren der Belastungsfaktoren	40
3.1.2 Grafische Darstellung	41
3.1.3 Mathematische Beschreibung der Beanspruchungsfolgen	42
3.1.4 Prognose der Beanspruchung mittels Fuzzy Logik	44
3.1.5 Implementierung	48
3.2 Verifizierung	48
3.2.1 Erfüllung der Anforderungen an die Weiterentwicklung des fuzzy CTL-Modells	48
3.2.2 Vergleich beider Modelltheorien	49

3.3	Zusammenfassung	49
4	Validierung des fuzzyCTL-Modells	51
4.1	Zielstellung	51
4.2	Operationalisieren des fuzzyCTL-Modells für den Laborversuch	52
4.2.1	Belastungsfaktor „Ebene der Informationsverarbeitung“	53
4.2.2	Belastungsfaktor „Aufgabensetwechsel“	53
4.2.3	Belastungsfaktor „zeitliche Auslastung“	54
4.3	Untersuchungsdesign	56
4.3.1	Hypothesen	56
4.3.2	Versuchsaufgaben	56
4.3.3	Versuchspersonenakquise und Vorversuche	60
4.3.4	Unabhängige Variablen	60
4.3.5	Abhängige Variablen	61
4.3.6	Kontrollvariablen	61
4.4	Durchführung	62
4.4.1	Versuchsstand und Laborumgebung	62
4.4.2	Messtechnik	64
4.4.3	Ablauf	66
4.4.4	Versuchsleitung	67
4.5	Datenaggregation und Datenverarbeitung	68
4.5.1	Subjektive Beanspruchung und deren Bewertung	69
4.5.2	Kardiologische Beanspruchungsreaktionen	69
4.5.3	Okulomotorische Beanspruchungsreaktionen	69
4.5.4	Leistungsdaten: Prozessüberwachungsaufgabe (Balkenaufgabe)	71
4.5.5	Leistungsdaten: Erfüllungsgrad Zusatzaufgabe	72
4.5.6	Sonstige Leistungsdaten	75
4.5.7	Kontrollvariablen	75
4.5.8	Aufbereitung der Daten für die Überführung in SPSS	76
4.5.9	Überprüfung der Integrität der Daten	76
4.6	Auswertung	77
4.6.1	Hinweise zur Auswertung	77
4.6.2	Allgemeines und Kontrollvariablen	79
4.6.3	Beanspruchungs- und Leistungsparameter	81
4.6.4	Bestimmung der Prognosegüte	90
4.7	Erfüllung der Anforderungen an die Weiterentwicklung des fuzzyCTL-Modells	92
5	Optimierung und Erweiterung des fuzzyCTL-Modells	95
5.1	Übereinstimmungen, Widersprüche und Indifferenzen	95
5.2	Optimierung des Fuzzy-Logik-Algorithmus	95
5.3	Erweiterung Ausgangsvariable subjektive Beanspruchungswerte RSME	96
5.4	Fazit	97
6	Anwendungsbeispiel zur Ableitung von Gestaltungshinweisen	99
6.1	Bewertungsebene	99
6.2	Faktorenebene	100
6.3	Anwendungsbeispiel	100
6.4	Fazit	102

7	Zusammenfassung und Diskussion	103
8	Ausblick	110
	Literaturverzeichnis	111
	Abkürzungsverzeichnis	121
	Abbildungsverzeichnis	122
	Tabellenverzeichnis	125
	Formelverzeichnis	127
	Anhang	128
	Anhang zu Kapitel 2	128
1	Hintergrund zum Nutzerzustand	128
2	Literaturrecherche: Modelle zur Prognose der Beanspruchung	130
3	Modellvergleich	131
4	Detailprüfung des CTL-Modells (Neerincx, 1995)	132
	Anhang zu Kapitel 3	136
5	Beschreibung der Eingangsvariablen	136
6	Beschreibung der Ausgangsvariablen	139
7	Darstellung der Regelbasis	140
8	Subjektive und prognostizierte Beanspruchung	142
	Anhang zu Kapitel 4	143
9	Beschreibung der Hauptaufgabe „Schleusung“	143
10	Beschreibung der Störungsmeldungen	150
11	Beschreibung der Zusatzaufgabe „Zutrittskontrolle“	154
12	Beschreibung der Zusatzaufgabe „Instandhaltung“	158
13	Beschreibung der Zusatzaufgabe „Administrative Aufgaben“	161
14	Beschreibung der Mathematikaufgaben	169
15	Versuchsaufgaben: Prozessschritte und Auswertung	170
16	Dundee Stress State Questionnaire short	211
17	RSME und subjektive Bewertung	212
18	RSME Gewöhnung	213
19	Technische Realisierung des Versuchsablaufs	214
20	Interner Ablauf der Prozesssteuerung	216
21	Messprotokoll Umgebungsbedingungen	218
22	Ablaufplan des Versuchstags	221
23	Interview mit Versuchsperson zur Aufgabenerfüllung	222
24	Ermüdungsempfinden	223
25	Rückmeldung zur Versuchsleitung	224
26	Dankeschön an Probanden	225
27	Informationen zur Versuchsdurchführung, Rolle der Versuchsleitung	226
28	Textbausteine für die Versuchsleitung	230
29	Handout Verfahrensanweisungen zu den Versuchsaufgaben	233
30	Funktionsweise der Artefaktminimierung bei kardiologischen Daten	239
31	Funktionsweise der Artefaktminimierung bei okulomotorische Daten	241
32	Rückmeldung über das Bearbeitungsverhalten	243

33	Ergebnisse der Mittelwertvergleiche soziodemografischer Daten	244
34	Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Belastungsfaktoren	248
35	Auswertung der Prozessüberwachungsaufgabe	249
36	Hintergrund zur Bestimmung der Prognosegüte	250
Anhang zu Kapitel 5		259
37	Optimierung des fuzzyCTL-Modells	259

Entwicklung eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung in der Prozessführung

Kurzreferat

Das qualitative Cognitive Task Load Modell (Neerincx, 1995 und 2003) wurde zu einem quantitativen Modell zur Prognose der mentalen Beanspruchung bei Prozessführungsaufgaben weiterentwickelt, verifiziert, validiert und optimiert.

Die Prozessführung, mit Überwachungs- und Bedienungsaufgaben sowie der Diagnose von Störungen, gewinnt in Zeiten zunehmender Vernetzung, z. B. in der Produktion, an Bedeutung. Arbeitsplätze in Leitwarten, genauso wie aus dem Umfeld von Industrie 4.0, können davon beeinflusst sein. Bereits bei der Planung der Prozessführungsaufgabe, der Arbeitsmittel und der Arbeitsplätze werden unter anderem die Fragen aufgeworfen:

1. Wie viel kann der Operateur (noch) bearbeiten? Und
2. Welchen Einfluss hat die Gestaltung der Arbeitsmittel (Mensch-Computer- bzw. Mensch-Maschine-Schnittstelle) auf die Bearbeitungsmenge?

Um sich diesen Fragen zu nähern, wurde das Cognitive Task Load Modell weiterentwickelt. Dabei standen im Mittelpunkt: Konformität zur Normung, Vereinfachung und Absicherung des Modells durch Reduktion systematischer Fehlerquellen, Verbesserung der Anwendbarkeit durch Nutzung effizienter Fuzzy-Logik-Algorithmen sowie Überführung der qualitativen in eine quantitative Modelltheorie. Aufbauend auf der Theorie des originalen Cognitive Task Load Modells wurde ein Fuzzy-Inferenz-System parametrisiert. Das so weiterentwickelte fuzzy Cognitive Task Load Modell wurde mit den Daten einer Feldstudie verifiziert. Validierung und anschließende Optimierung des fuzzy Cognitive Task Load Modells erfolgten mittels einer Laborstudie mit 29 berufstätigen Operateuren. In der Laborstudie wurden 41 unterschiedliche Prozessführungsaufgaben bearbeitet. Die dabei aufgetretene mentale Beanspruchung wurde mittels subjektiver und objektiver (kardiovaskulärer, okulomotorischer) Beanspruchungsdaten sowie verschiedener objektiver Leistungsdaten multidimensional erfasst. Den Abschluss der wissenschaftlichen Betrachtung bildeten Anwendungsbeispiele des fuzzy Cognitive Task Load Modells, in denen Gestaltungshinweise bezogen auf Arbeitsaufgabe und Arbeitsmittel abgeleitet wurden.

Schlagwörter:

analytische Prognose, mentale Beanspruchung, Prozessführung, Cognitive Task Load Modell, Validierung, RSME, multidimensional, Fuzzy Logik, Multitasking

Development of an analytical model for predicting mental workload in process control

Abstract

The scope of this PhD-Thesis was to elaborate the originally qualitative cognitive task load model (Neerincx, 1995 und 2003) into a quantitative model to predict mental workload in process control tasks. The quantitative cognitive task load model was verified, validated and optimized.

In industry 4.0 settings, communication networks between materials, machinery, and a global optimizing production regime are growing. Furthermore, process control as supervisory control tasks including diagnosis of disturbances is gaining more and more attention and takes effect on workplaces in control rooms as well as in context of industry 4.0. This situation poses two questions in early stages of the design process of tasks, work equipment, and workplaces:

1. With how many parallel tasks are operators able to cope? and
2. How does the design of work equipment, e. g. human -machine-interface, affect the quantitative workload?

To answer these questions, the original cognitive task load model was quantitatively elaborated with emphasis on conformity to international standards and improvement of the prediction algorithm by reducing systematic error sources as well as employing efficient fuzzy logic algorithms. A fuzzy inference system was parametrized based on the theoretical foundation of the original cognitive task load model. Further on, the fuzzy inference system was verified and validated. For its verification the data of a field study was used. The data of a lab study with 29 operators was designed for validation. The operators were asked to perform 41 supervisory control tasks. Along with performing the different tasks, mental workload was recorded multidimensionally using subjective, objective, and various performance data. At the end, examples of how to use the elaborated fuzzy cognitive task load model to inform the design process of tasks and work equipment were deducted.

Key words:

analytical prediction, mental workload, process control, cognitive task load, validation, RSME, multidimensional, Fuzzy Logic, multitasking

Liste korrespondierender Veröffentlichungen

Jeschke P, Adolph L, Wischniewski S (2017): „Anwendbarkeit eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung“, Tagungsband des 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft 2017, Dokument# B.1.6., Zürich und Olten, Schweiz, Dortmund: GfA-Press.

Jeschke P, Lafrenz B, Wischniewski S (2017): „Vergleich subjektiver und objektiver Beanspruchungsmessung bei dual-2-back-Tests“, Tagungsband des 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft 2017, Dokument# A.1.3., Zürich und Olten, Schweiz, Dortmund: GfA-Press.

Jeschke P, Lafrenz B, Wischniewski S (2016): „Vergleich subjektiver und objektiver Beanspruchungsmessung bei dual-2-back-Aufgaben“, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 70 (4), Seiten 211-219.

Jeschke P, Adolph L, Wischniewski S (2015): „Erweiterung des Cognitive Task Load Modells mit Fuzzy Logik - eine Validierungsstudie“, Tagungsband des 61. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft 2015, Dokument# E.7.2, Karlsruhe, Deutschland, Dortmund: GfA-Press.

Jeschke P, Adolph L (2014): „Operateure in Leitwarten – Die Multitasker der Automatisierung“, Tagungsband zur 56. Fachausschusssitzung Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt – Lilienthal-Oberth e.V. 2014, Seiten 155-170, Ottobrunn, Deutschland.

Jeschke P, Adolph L (2014): „Die Untersuchung der mentalen Belastung bei komplexen Prozessüberwachungs- und -steuerungsaufgaben“, Tagungsband des 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft 2014, Seiten 709-711, München, Deutschland, Dortmund: GfA-Press.

1 Problemstellung und Lösungsansatz

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Prozessführungsaufgaben, im Sinne von zentralisierten Steuerungs-, Überwachungs-, Diagnose- und Leitungsaufgaben, gewinnen in Zeiten zunehmender Digitalisierung und Automatisierung sowie Vernetzung von Produkten untereinander an Bedeutung. Verbunden mit der Flexibilisierung von Fertigungsprozessen sowie der Individualisierung von Warenströmen verschieben sich die früher „erschaffenden“ manuellen Tätigkeiten hin zu „verwaltenden“ kognitiven. Im Rahmen zentralisierter Prozessführungsaufgaben umfassen solche kognitiven Tätigkeiten das Überwachen von Prozessen, Bedienen von z. B. Stellteilen oder das Vorklären von Störungsursachen (Störungsdiagnose) (VDI 3699-2:2014).

Der Ort, an dem diese zentralisierten Prozessführungsaufgaben gewöhnlich stattfinden, ist der Leitplatz oder Leitstand (DIN EN ISO 11064-5:2008, VDI 3699-2:2014). Der Leitplatz oder Leitstand ist mit Leitstationen ausgerüstet, die als Funktionseinheit aus mehreren Monitoren und darauf wirkenden Bediengeräten, z. B. Maus und Tastatur (VDI 3699-1:2015), sowie Kommunikationseinrichtungen (DIN EN ISO 11064-5:2008) bestehen können. Dabei wird unter einem Prozess die „Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder Information umgeformt, transportiert oder gespeichert werden“, verstanden (VDI 3699-1:2015). Eine wichtige Eigenschaft von Prozessen, die im Rahmen dieser Arbeit behandelt werden, ist die Verarbeitung von anfallenden Informationen bzw. Daten durch den Operateur in Echtzeit. Operateure, Operators oder auch Anlagenfahrende sind die Personen, die mit der Wahrnehmung der Aufgabe „Prozessführung“ betraut sind (VDI 3699-1:2015). Als Arbeitsgebiete können exemplarisch Energieerzeugung, chemische Prozessindustrie oder Medien genannt werden. Die Definition lässt sich aber auch auf Verkehr, Sicherheit, Strafvollzug, Führung ferngesteuerter Vehikel, z. B. Schiffe oder unbemannte Luftfahrzeuge, und Arbeitsplätze aus dem Kontext Industrie 4.0¹ ausweiten.

Die eingangs beschriebene Veränderung hin zu verwaltenden, kognitiven Tätigkeiten kann aus soziodemografischen aber auch ökonomischen Gründen begleitet werden durch vertikale und horizontale Aufgabenerweiterung. Vertikale Aufgabenerweiterung, auch Aufgabenbereicherung oder -anreicherung, bedeutet im Sinne qualitativ verschiedener Aufgaben ein höheres Ausmaß an Kontrolle und Autonomie und somit anderer Qualifikationen. Bei horizontaler Aufgabenerweiterung, auch Aufgabenverdichtung, im Sinne einer quantitativen Erweiterung gleicher Tätigkeiten bedarf es hingegen keiner anderen Qualifikation. Beide Erweiterungen können dazu führen, dass z. B. mehrere Prozesse gleichzeitig überwacht, bedient und Störungen diagnostiziert sowie ergänzende administrative oder arbeitsvorbereitende Aufgaben übernommen werden müssen. Das wirkt sich ebenfalls auf die Arbeitsmittel aus, indem diese an Komplexität zunehmen.

Diese Veränderungen werfen die Frage auf, welche Auswirkungen z. B. auf die menschliche Leistungsfähigkeit und Anforderungen an Arbeitsaufgaben- und Arbeitsmittelgestaltung damit einhergehen können. Um Gestaltungsalternativen dahingehend zu bewerten und die Sicherheit in der Prozessführung von Anfang an zu ge-

¹ Mit Industrie 4.0 wird eine branchen- und technologieübergreifende Vernetzung von Prozessen und Systemen beschrieben. Das Ziel ist es, Fertigungsprozesse, Produkte und Informationstechnologien miteinander zu verknüpfen. Damit sollen z. B. Produktionszyklen verkürzt, Änderungen im Produktionsauftrag in Echtzeit in die Produktion einfließen oder Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben automatisiert werden (www.din.de, zuletzt zugegriffen am 15.06.2016).

währleisten, müssen potentiell auftretende Probleme in der Aufgabenausführung prognostiziert werden können, bevor diese tatsächlich eintreten (Reid und Colle 1988, Xie und Salvendy 2000, Grootjen et al. 2006). Als Probleme in der Aufgabenausführung mit potentieller Ursache in der Arbeitsaufgaben- und Arbeitsmittelgestaltung können zum Beispiel die Verlängerung der Bearbeitungszeit, Fehler in der Bearbeitung oder Vergessen von Informationen auftreten. Dem Operateur wird die Schlüsselrolle für eine sichere Prozessführung zugeschrieben (Henderson et al. 2002), so dass unter anderem die Fragen auftreten: 1. Wie viel kann der Operateur (noch) bearbeiten? und 2. Welchen Einfluss hat die Gestaltung der Arbeitsmittel (Mensch-Computer- bzw. Mensch-Maschine-Schnittstelle) auf die Bearbeitungsmenge?

Die Bearbeitungsgrenze (Frage 1) gibt an, wie viele Aufgaben in der zur Verfügung stehenden Zeit bearbeitet werden können. Zeitwirtschaftliche Methoden, wie die REFA-Methodenlehre, Methods-Time Measurement (Arbeitsablaufzeitanalyse) oder das Bemessungskonzept von Mertens et al. (2013) können dafür nur eine erste Annäherung liefern. Diese sind vorrangig auf manuelle Tätigkeiten ausgerichtet bzw. sehen mit pauschalisierten Zuschlägen Sicherheitspuffer vor. Bedingt durch horizontale und vertikale Aufgabenerweiterung, können parallel ablaufende Prozessführungsaufgaben mit dynamischen und sich gegenseitig beeinflussenden kognitiven Anforderungen und Auswirkungen einhergehen. Die Menge der zu bearbeitenden Aufgaben (Frage 1) und damit die Menge an zu verarbeitenden Informationen (Frage 2) kann die mentale Beanspruchung (Young et al. 2015, Wickens 2008) und damit z. B. auch die Leistung (Saquer und Parasuraman 2014) oder das Situationsbewusstsein² (Endsley 1999) in den Einzelaufgaben beeinflussen. Diese Beeinflussung kann sowohl aktivierend als auch beeinträchtigend wirken (DIN EN ISO 10075-1:2001) und sollte deshalb kontextbezogen bewertet werden. Weiterhin können die Arbeitsmittelgestaltung (Frage 2) und die aus eben dieser Gestaltung resultierenden kognitiven Anforderungen mit zeitwirtschaftlichen Methoden derzeit nur unzureichend abgebildet werden, da diese primär für die Gestaltung manueller Tätigkeiten entwickelt wurden. Zusammenfassend heißt das, dass in der betrieblichen Praxis Modelle oder Methoden benötigt werden, mit denen die Bearbeitungsgrenze in Abhängigkeit zu den verwendeten Arbeitsmitteln im Sinne einer roten Linie bereits im Gestaltungsprozess bestimmt werden kann (Reid und Colle 1988, Xie und Salvendy 2000, Grootjen et al. 2006).

Zur Ermittlung der Bearbeitungsgrenze bei kognitiven Aufgaben gibt es verschiedene analytische Prognosemodelle (Reid und Colle 1988, Xie und Salvendy 2000). Analytisch in diesem Zusammenhang heißt: die Beanspruchungsprognose erfolgt ohne Bearbeitung der eigentlichen Aufgabe (Linton et al. 1988). Um wie oben beschrieben die Bearbeitungsgrenze in Form einer roten Linie bestimmen zu können, liefern qualitative Beanspruchungsprognosen (z. B. gering oder hoch beanspruchend) meist unbefriedigende Ergebnisse. Erschwerend kommt hinzu, dass die Prognosemodelle nur eingeschränkt über die in der Validierung berücksichtigten Arbeitsgebiete hinaus verlässlich eingesetzt werden können.

² Situationsbewusstsein beschreibt die Kenntnis (des Operateurs), einen Zustand oder Prozess zutreffend zu beurteilen. Es setzt sich zusammen aus vollständiger Wahrnehmung der Situation (Wie entstand die Situation?), richtiger Interpretation dieser (Was bedeutet diese Situation?) und dem Ableiten adäquater Reaktionen auf Basis einer Prognose der zukünftigen Entwicklung (Was würde passieren wenn?) (Endsley, 1999).

Um für diese unbefriedigende Situation Abhilfe zu schaffen, werden quantitative Prognosemodelle benötigt, die einen generischen Ansatz verfolgen, um die mentale Beanspruchung in einem breiten Anwendungsfeld valide zu prognostizieren.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit war die Weiterentwicklung eines qualitativen analytischen Modells in ein quantitatives analytisches Modell zur Prognose der mentalen Beanspruchung im Arbeitsgebiet „Prozessführung“. Dafür wurde auf Basis eines Modellvergleichs existierender analytischer Prognosemodelle das für die Weiterentwicklung am besten geeignete Prognosemodell identifiziert.

Mit dem weiterentwickelten Modell sollte es möglich sein, bereits in der Arbeitsaufgaben- und Arbeitsmittelplanung die in der späteren realen Arbeitssituation erlebte mentale Beanspruchung zu prognostizieren. Damit sollten etwaige Probleme in der Aufgabenausführung (siehe oben) vor dem tatsächlichen Auftreten identifiziert werden können. Um die aus den Prozessführungsaufgaben resultierenden Anforderungen zu berücksichtigen, sollte das Prognosemodell die Arbeitsaufgabe, die Arbeitsmittel und die Folgen der mentalen Beanspruchung abbilden können.

Außerdem wurde in Anwendungsbeispielen gezeigt, wie das weiterentwickelte Prognosemodell zur Gestaltung der Arbeitsmittel und Arbeitsaufgaben im Anwendungsgebiet „Prozessführung“ genutzt werden kann. Damit wurde der aktuelle Stand der Wissenschaft im Bereich Aufgaben- und Arbeitsmittelgestaltung in der Prozessführung erweitert.

1.3 Lösungsansatz

Für die Weiterentwicklung eines Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung in der Prozessführung wird der in Abb. 1.1 dargestellte Lösungsansatz verfolgt.

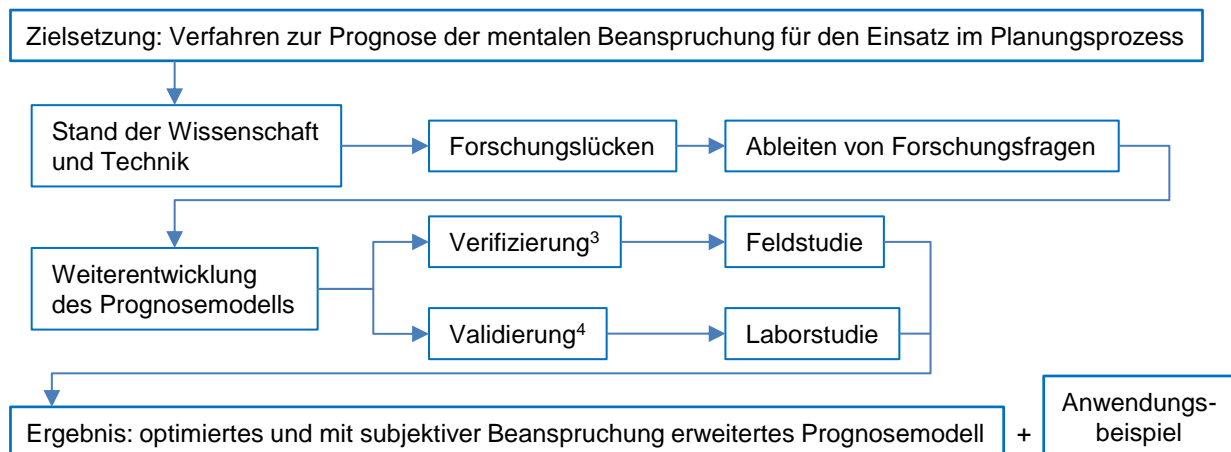


Abb. 1.1 Schematische Darstellung des Lösungsansatzes

Aufbauend auf dem Stand der Wissenschaft und Technik wurden Forschungslücken identifiziert, auf deren Grundlage die Forschungsfragen abgeleitet wurden (Kapitel 2) und eine Weiterentwicklung des Modells (Kapitel 3) vorgeschlagen wurde. Das weiterentwickelte Prognosemodell wurde dann anhand von Daten einer Feldstudie verifiziert. Dabei wurde überprüft, ob die modelltheoretischen Anforderungen an das ori-

³ Verifizierung ist die Prüfung, ob festgelegte (An-)Forderungen erfüllt sind (DIN EN ISO 9000:2015).

⁴ Validierung ist die Prüfung, ob die besonderen (An-)Forderungen für eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt sind (DIN EN ISO 9000:2015).

ginale Prognosemodell auch bei der Weiterentwicklung berücksichtigt wurden. Anschließend wurde das verifizierte weiterentwickelte Prognosemodell in einer Laborstudie validiert (Kapitel 4). Hierbei wurde überprüft, ob das weiterentwickelte Modell zur Beanspruchungsprognose eingesetzt werden konnte. Auf Basis der Laborstudie wurde das weiterentwickelte Prognosemodell optimiert und mit subjektiven Beanspruchungswerten erweitert (Kapitel 5). Den Abschluss bildet ein Anwendungsbeispiel zur Ableitung von Gestaltungshinweisen für Arbeitsaufgaben und Arbeitsmittel (Kapitel 6).

2 Stand der Wissenschaft und Technik

Die Aufbereitung des Standes der Wissenschaft und Technik beginnt mit den Grundlagen zu Multitasking in der Prozessführung, siehe Abb. 2.1. Daran anschließend wird das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept beschrieben. Hierbei liegt ein Schwerpunkt auf der Beanspruchungsmessung. Aufbauend auf dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept werden analytische Modelle zur Prognose der mentalen Beanspruchung vorgestellt und auf Anwendbarkeit im Zusammenhang mit der Zielstellung dieser Arbeit untersucht. Das am besten geeignetste Modell wird einer Detailprüfung unterzogen. Als Ergebnis der Detailprüfung werden Weiterentwicklungsbedarfe formuliert. Als viertes wird ein Überblick zum Stand der Technik in der Verarbeitung unscharfer und linguistischer Informationen gegeben, die typischerweise den Planungsprozess begleiten und die Informationsgrundlage für die Beanspruchungsprognose bilden. Den Abschluss dieses Kapitels bildet eine Bewertung des Standes der Wissenschaft und Technik, um darauf aufbauend Forschungsfragen zu identifizieren.

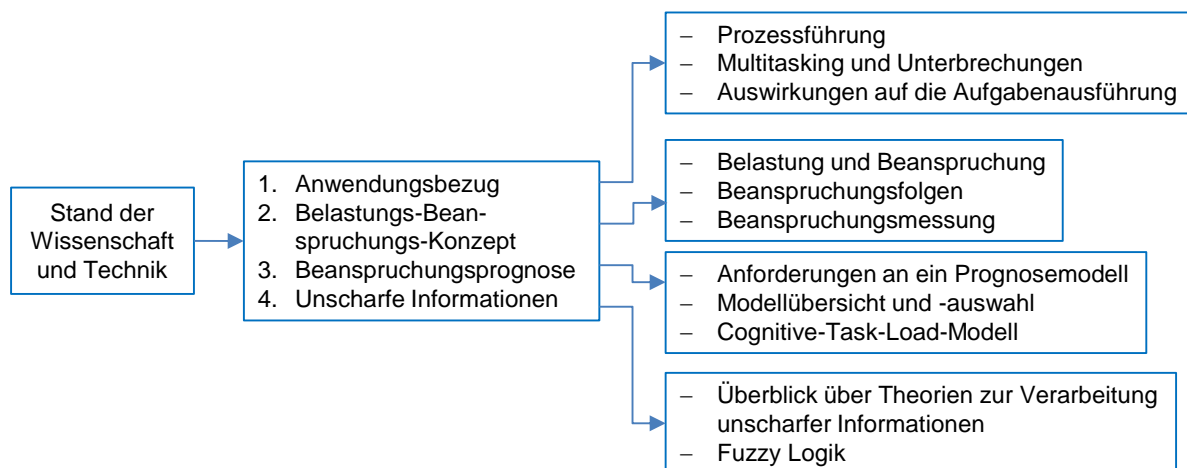


Abb. 2.1 Beschreibung des Standes der Wissenschaft und Technik

2.1 Prozessführung

Der technische Fortschritt im Bereich der Automatisierung und Digitalisierung ist einer der Haupteinflussfaktoren auf die Aufgabenausführung in der Prozessführung⁵ (Bockelmann et al. 2013, Ivergard und Hunt 2008). Hinzu kommen Einflüsse wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Entwicklungen. Darunter fallen zum Beispiel die Nachfrage nach neuen Produkten, effizientere und individuellere Fertigung oder das Älterwerden der Belegschaft. Diese Einflüsse wirken sich auf Arbeitsmittel, Arbeitsinhalte und Aufgabenausführung aus. Im Folgenden werden die Einflüsse und Auswirkungen von Automatisierung und Digitalisierung auf die Prozessführung herausgearbeitet.

2.1.1 Prozessführung unter dem Einfluss von Automatisierung und Digitalisierung

Automatisierung und Digitalisierung in der Prozessführung wirken sich nicht nur auf das Arbeitsumfeld aus, sondern beeinflussen in gleicher Weise die Arbeitsinhalte (Stanton et al. 2010). Veränderungen im Arbeitsumfeld betreffen vor allem die

⁵ Die Aufgabe der Prozessführung umfasst auf der Tätigkeitsebene die Überwachung, Bedienung und Diagnose, z. B. von Störungen (siehe Abschnitt 1.1, VDI 3699-1:2015 und VDI 3699-2:2014).

Mensch-Maschine-Interaktion und die zu überwachenden bzw. bedienenden Prozesskomponenten. Die Interaktion mit der Prozesstechnik findet meist digital per Bildschirmgerät und vom eigentlichen Ort des Geschehens entfernt statt. Mit der Entfernung vom eigentlichen Ort des Geschehens, also einer Zentralisierung, wird ein Trend verfolgt, der Prozesse oder Maschinen umfasst, ebenso wie eine Vielzahl von Anlagen und Anlagenarten, auch über Länder- oder Kulturgrenzen hinweg (Nachreiner et al. 2012).

Besonders Automatisierung kann zu einer Reduktion von Bedienhandlungen führen (Coy 2009, Sheridan 1980, Ivergard und Hunt 2008). Je nach Automatisierungsgrad ist das gleichzusetzen mit einer ausschließlichen Überwachung des Regelbetriebes. Die Bedienung des Prozessleitsystems, im Sinne der Beeinflussung der Arbeitsweise eines Systems, Gerätes oder Maschine bzw. der Ausführung einer Funktion (VDI 3699-1:2015), ist demzufolge nur bei teil- und nicht automatisierten Prozesszuständen angezeigt (siehe bspw. Bainbridge 1987).

Aufgrund der dabei freiwerdenden Handlungsspielräume können bspw. bestehende Aufgaben neu verteilt und neue Aufgaben übernommen werden. Resultierend kann das z. B. zu horizontaler und vertikaler Aufgabenerweiterung führen (siehe z. B. Shepard 1973, Michalos et al. 2013, Zimmer und Rigotti 2015). Konkret betrifft die Neu- bzw. Umverteilung, ergänzend zur Übernahme von weiteren Prozessführungsaufgaben, vor allem mittelbare und administrative Aufgaben (Bröhl et al. 2012). Bei der Übertragung weiterer Aufgaben muss einerseits berücksichtigt werden, dass die Zeitspanne der Prozessüberwachung nicht als Leerlaufzeit anzusehen ist (Jeschke et al. 2014). Andererseits sollte bei der Übertragung weiterer Aufgaben die aus der zeitlichen Auslastung resultierende Beanspruchung überprüft werden. Würden kontextspezifisch festgelegte Schwellenwerte dauerhaft überschritten, so wäre zu erwarten, dass Operateure Aufgaben nicht bearbeiten (Beevis 1992).

Grundsätzlich ist die Übernahme weiterer Aufgaben und die damit verbundene Effizienzsteigerung positiv zu werten, bedarf aber einer genaueren Betrachtung.

2.1.2 Multitasking in der Prozessführung

Wie zuvor geschildert, kann die Arbeitsorganisation zur Führung von Prozessen vorsehen, dass mehrere Aufgaben gleichzeitig wahrgenommen werden müssen. Zur Verdeutlichung wird im Folgenden eine beispielhafte Arbeitssituation beschrieben (siehe Abb. 2.2).

In der Zeitspanne vor der Unterbrechung werden drei Prozesse (A, B, C) von einem Operateur ergebnisbezogen überwacht. Parallel dazu wird eine Aufgabe X durchgeführt, die sich in insgesamt vier Teilaufgaben unterteilt. Währenddessen zeigt die Trendanzeige eines Parameters des Prozesses B an, dass eine Bedienhandlung in naher Zukunft notwendig wird. Diese Bedienhandlung ist nicht zeitkritisch und kann demnach geplant erfolgen. Parallel zur Wahrnehmung der Aufgabe X entscheidet sich demnach der Operateur, dass erst die zweite Teilaufgabe (X2) abgeschlossen wird, um sich dann dem Prozess B zu widmen. In Verbindung mit der Bedienhandlung in Prozess B wird ein Telefonanruf geführt. In der Zeitspanne vor der Unterbrechung überwacht der Operateur die Prozesse A, B und C parallel.

Nach einer bestimmten Zeitspanne tritt in Prozess C ein unerwartetes und kritisches Ereignis auf, worauf der Operateur unmittelbar reagieren muss (gelber Blitz). Wie schnell, und ob überhaupt adäquat, der Operateur nun handeln kann, ist eine Frage der Qualität der parallelen Überwachung. Wichtig ist hervorzuheben, dass während der Bedienhandlung (C1-C3), der Prozessparameter aus B noch nicht endgültig eingestellt wurde, und Prozesse A sowie B überwacht werden müssen.

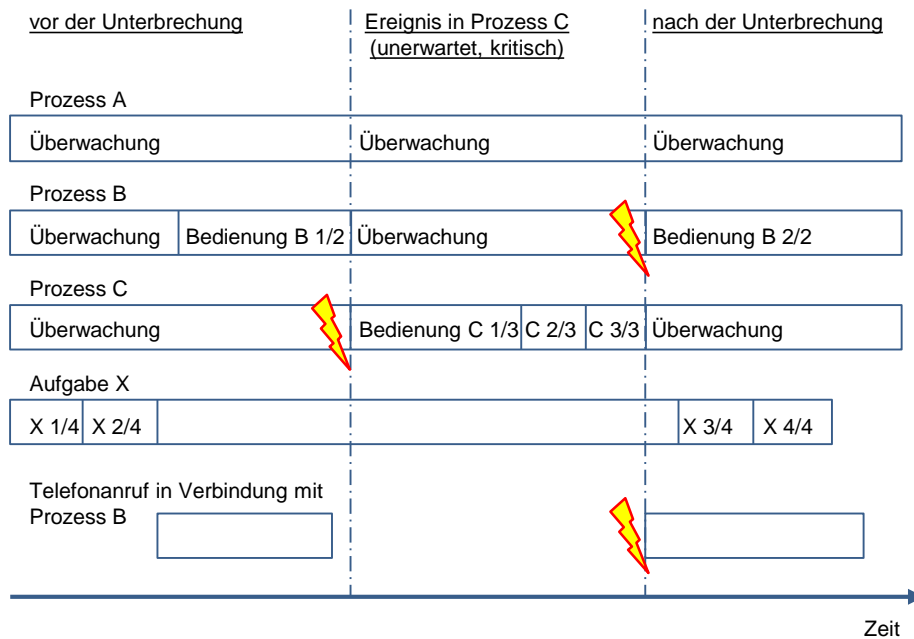


Abb. 2.2 Zeitverlauf einer Multitaskingsituation, in Anlehnung an Brixey et al. (2007)

Ist die Bedienhandlung in Prozess C abgeschlossen, verbleiben in der Phase nach der Unterbrechung das Beenden der Bedienhandlung in Prozess B, inklusive Telefonanruf, die Weiterbearbeitung der Aufgabe X sowie die Überwachung der Prozesse A und C. Die Bedienhandlung für Prozess B, inklusive Telefonanruf, sollte möglichst unmittelbar erfolgen (gelber Blitz). In Abhängigkeit des Inhaltes von Aufgabe X kann die Bearbeitung dieser ggf. ebenfalls zeitkritisch werden. Abschließend soll auch der Telefonpartner im Prozess B Erwähnung finden, da dessen Aufgabenausführung ggf. auch von der geschilderten Mehrfachaufgabensituation beeinflusst wurde.

Die geschilderte Arbeitsweise, also das simultane bzw. schnell wechselnde Bearbeiten, wird als task switching (Rubinstein et al. 2001) oder Multitasking bezeichnet.

Besondere Bedeutung wird beim Multitasking den Aufgabenwechseln beigemessen. Bei einer Unterbrechung treten immer zwei Wechsel auf: 1. von der unterbrochenen Aufgabe hin zur unterbrechenden und 2. von der unterbrechenden zurück zur unterbrochenen (siehe Abb. 2.2: 1. - von Bedienung B1/2 hin zu Bedienung C1/3 und 2. - von Bedienung C3/3 zurück zu Bedienung B2/2). Welche Mechanismen an diesen Stellen wirken, wird im Folgenden dargestellt.

Ein 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 während der Unterbrechung ruht (siehe Aufgabe X in Abb. 2.2) (Bailey et al. 2000). Die Überwachungstätigkeit hat hierbei eine Sonderrolle, da sie auch als generische Hintergrundaufgabe im Sinne einer Grundbelastung interpretiert werden kann (Colin 2013). Das bedeutet, dass diese weder unterbrochen werden noch ruhen kann. Werden die zeitlichen Effekte in der Gesamtbilanz betrachtet, können z. B. durch strategische Planung mehrerer Aufgabenwechsel auch verkürzte Gesamtbearbeitungszeiten nachgewiesen werden (Zijlstra et al. 1999). Weiterhin sind für die Bewertung von Unterbrechungen im Kontext der Prozessführung unter anderem folgende Aspekte relevant:

- Zeitpunkt der Unterbrechung bezogen auf den Bearbeitungsstand von Sinneinheiten der unterbrochenen Aufgabe (sog. task boundaries, Zijlstra et al. 1999, Janssen und Brumby 2010);

- Entscheidungsfindungsprozess über Annahme oder Ablehnung der unterbrechenden Aufgabe (Farmer 2010);
- Neuausrichtung des Arbeitsgedächtnisses bei Annahme der unterbrechenden Aufgabe bzw. bei Wiederaufnahme der unterbrochenen Aufgabe (Franke et al. 2002) sowie
- Häufigkeit gleichartiger Unterbrechungen (Altmann und Trafton 2007).

2.1.3 Auswirkungen auf die Aufgabenausführung

Aufbauend auf der Beschreibung der Mechanismen einer Unterbrechung ist das Ziel dieses Abschnittes, die Auswirkungen auf die Aufgabenausführung detaillierter aufzuzeigen. Neben negativen Effekten kann Multitasking auch positiv wirksam werden. Beides kann sich auf den Operateur und dessen Leistung bei der Prozessführung auswirken.

Positiv kann sich Multitasking z. B. auf die Aufrechterhaltung der Vigilanz (d. h. die Wachsamkeit gegenüber Veränderungen z. B. in Prozessparametern, Altmann und Trafton 2007) oder des Situationsbewusstseins (siehe Fußnote 2, Seite 13) auswirken. Durch die qualitative und quantitative Informationszunahme kann der Informationsstand komplettiert werden. Damit werden die übertragenen Prozesse besser koordiniert und in Konsequenz die Effizienz gesteigert (McFarlane 2002, McFarlane und Latorella 2002).

Im Gegensatz dazu kann ein Mehr an Informationen das Aufrechterhalten des Situationsbewusstseins gefährden. Werden Bedienhandlungen tatsächlich notwendig, können die Operateure außer Stande sein, kurzfristig adäquat zu reagieren - sie sind „out of the loop“ (siehe z. B. Kaber und Endsley 1997, Endsley und Kiris 1995, Saqer und Parasuraman 2014). Als negative Folgen können diesbezüglich auszugsweise benannt werden: Verlängerung der Bearbeitungszeit, Fehler in der Bearbeitung, Vergessen von Informationen, eingeschränktes Situationsbewusstsein (siehe z. B. Vicente und Rasmussen 1992, Endsley 1999, Wild et al. 2004, Salvucci 2005, Bailey und Konstan 2006, Loukopoulos et al. 2009, Siegrist et al. 2009).

2.1.4 Schlussfolgerung

Wie aus den Beschreibungen hervorgeht, können als Folgen von Multitasking z. B. eine Verlängerung der Bearbeitungszeit bezogen auf die einzelne Aufgabe oder Fehlhandlungen auftreten. Das Ziel des benutzerzentrierten Gestaltungsprozesses ist die Minimierung des Risikos von Fehlentscheidungen und -handlungen (Schmidt 2008). 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 mit seinen Besonderheiten zu berücksichtigen.

2.2 Belastung und Beanspruchung

Der vorherige Abschnitt brachte Multitasking mit Automatisierung und Digitalisierung in Zusammenhang. Im Vordergrund standen dabei die Auswirkungen auf die Arbeitsaufgabe. In diesem Abschnitt bilden nun die Auswirkungen auf den Menschen den Schwerpunkt. Um die Auswirkungen zu beschreiben, hat sich das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept etabliert. Nach einer kurzen Einführung dazu werden die Folgen des Multitaskings auf Operateure herausgearbeitet und ausgewählte Messmethoden vorgestellt.

2.2.1 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept

Um Auswirkungen von Arbeitsbedingungen auf den Menschen bewerten zu können, bringt das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept die äußere Ursache, also die Ar-

beitsbedingung, und die innere Reaktion des Menschen miteinander in Zusammenhang (Rohmert 1983, 1984). Hierbei stellt die Arbeitsbedingung die Belastung dar und die Reaktion des Menschen die Beanspruchung. Das Konzept beruht auf der Ursache-Wirkungs-Beziehung, die z. B. aus Werkstoffkunde oder technischer Mechanik bekannt ist. Das Konzept kann sowohl auf physische als auch psychische Belastungen angewendet werden (siehe Tab. 2.1).

Aus den Definitionen zur Beanspruchung in Tab. 2.1 wird deutlich, dass die Beanspruchung nicht ausschließlich von der Belastung abhängt, sondern auch durch individuelle Merkmale bestimmt wird (DIN EN ISO 10075-1:2000). Individuelle Merkmale sind hierbei beispielsweise Gesundheit, Motivation, Fertigkeiten und Bedürfnisse (DIN EN ISO 10075-1:2000, Schlick et al. 2010).

Tab. 2.1 Begriffsdefinitionen allgemeiner und psychischer Belastung und Beanspruchung

Rohmert (1983)	DIN EN ISO 10075-1:2000
<p>Belastung ist der Sammelbegriff für die exogenen [...] Einwirkungen des Mensch-Arbeits-Systems auf die Arbeitsperson.</p>	<p>Psychische Belastung ist die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken.</p>
<p>Beanspruchung ist die individuell unterschiedliche Beanspruchung, die sich in einer Reaktion physiologischer bzw. biochemischer Indikatoren [...] ausprägt und die als solche empfunden werden kann.</p>	<p>Psychische Beanspruchung ist die unmittelbare (nicht langfristige) Auswirkung der psychischen Belastung auf das Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien.</p>

Die Wirksamkeit der individuellen Merkmale kann jedoch für jeden Menschen unterschiedlich sein. Im Ergebnis kann somit die gleiche Belastung zu einer individuell unterschiedlichen Beanspruchung führen (siehe Abb. 2.3).

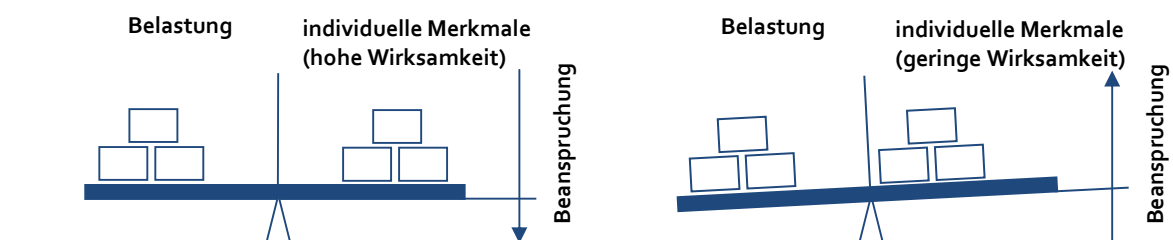


Abb. 2.3 Wirksamkeit der individuellen Merkmale auf die Beanspruchung

Die resultierende Beanspruchung kann nach der Herkunft unterschieden werden, z. B. in physische, mentale, emotionale Beanspruchung oder zeitliche Anforderungen. Die Aufgabeninhalte im Bereich der Prozessführung erzeugen hauptsächlich eine mentale Beanspruchung (Herczeg 2014). Nichts desto trotz können bestimmte Belastungen, wie sie bei Kommunikation oder bei Unfällen auftreten können, z. B. auch emotional beanspruchend wirken - was wiederum die Gesamtbeanspruchung beeinflusst.

2.2.2 Beanspruchungsfolgen

Der Begriff „Beanspruchung“ wird verwendet, ohne eine positive oder negative Wertung vorzunehmen. Die Auswirkungen der Beanspruchung, die sogenannten Beanspruchungsfolgen, können hingegen nach positiven und negativen Beanspruchungsfolgen unterschieden werden. Die Normenreihe unterscheidet einerseits positive Auswirkungen im Sinne von Anregungseffekten, wie Aktivierung. Andererseits beeinträchtigende Effekte, zu denen psychische Ermüdung, Monotonie, herabgesetzte Wachsamkeit oder psychische Sättigung zählen (DIN EN ISO 10075-1:2000, DIN EN ISO 10075-2:2000). Vor allem die negativen Beanspruchungsfolgen gilt es durch die Gestaltung der Prozessführungsaufgabe und Arbeitsmittel zu vermeiden (Colombi et al. 2012). Für ein besseres Verständnis der negativen Beanspruchungsfolgen werden diese kurz erläutert:

Psychische Ermüdung

Die in DIN EN ISO 10075-1:2000 aufgeführte Beanspruchungsfolge „psychische Ermüdung“ wird als vorübergehende Beeinträchtigung der psychischen sowie physischen Leistungsfähigkeit definiert. Sie wird beeinflusst durch Intensität, Dauer und Verlauf der vorangegangenen Beanspruchung (ebd.). Psychische Ermüdung tritt somit als vorübergehende Reaktion auf. Auf der Ebene des Individuums kann dies als eine (temporäre) Überforderung gewertet werden (Jandova 2009).

Monotonie

Die Beanspruchungsfolge „Monotonie“ ist ein langsam eintretender Zustand herabgesetzter Aktivierung, der u. a. durch Müdigkeit, Verminderung der Umstellungs- und Reaktionsfähigkeit bzw. Leistungsschwankungen und -abnahme begleitet wird (siehe DIN EN ISO 10075-1:2000, DIN EN ISO 10075-2:2000). Monotonie entsteht vor allem durch einen begrenzten Beobachtungsumfang bei lang andauernden, monotonen und sich wiederholenden Arbeitsaufgaben.

Herabgesetzte Wachsamkeit

Diese Beanspruchungsfolge bezieht sich auf Veränderungen in den zu überwachen- den bzw. zu bedienenden Prozessen. Ist die Wachsamkeit herabgesetzt, werden Veränderungen z. B. in den Prozessparametern verspätet oder gar nicht erkannt. Herabgesetzte Wachsamkeit kann bspw. bei abwechslungsarmen Überwachungsaufgaben oder langen Bearbeitungszeiten auftreten (siehe DIN EN ISO 10075-1:2000, DIN EN ISO 10075-2:2000).

Psychische Sättigung

Psychische Sättigung tritt auf als Ablehnung einer sich wiederholenden Tätigkeit mit dem Erleben des Auf-der-Stelle-Tretens und unterscheidet sich durch ein gesteigertes Aktivierungsniveau von psychischer Ermüdung (DIN EN ISO 10075-1:2000). Jandova (2009) bezieht die Beanspruchungsfolge „psychische Sättigung“ auch auf abwechslungsreiche Tätigkeiten und bestätigt die von Richter et al. (2002, zitiert nach Jandova 2009) beschriebene Überlappung zwischen psychischer Ermüdung und Monotonie.

2.2.3 Beanspruchungsmessung

Nach der Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Belastung und Beanspruchung und den Beanspruchungsfolgen ist der Gegenstand des folgenden Abschnittes die Messung der Beanspruchung. Der derzeitige Stand der Wissenschaft fordert die multidimensionale Erfassung der Beanspruchung (Matthews et al. 2001, Matthews et al. 2015). Für die Messung der Beanspruchung haben sich sowohl ob-

jektive als auch subjektive Verfahren bewährt. Da sich die Bearbeitungsleistung einer Aufgabe und die resultierende Beanspruchung moderieren, d. h. wechselseitig beeinflussen, können auch subjektive und objektive Leistungskenngrößen zur Messung der Beanspruchung verwendet werden (Easterbrook 1959, Eggemeier und Wilson 1991, Wickens und Hollands 1999). Diese Leistungskenngrößen wiederum unterliegen dem Einfluss weiterer Faktoren, die somit bei der Beanspruchungsmessung erfasst werden sollten. Diese Einflussfaktoren und deren dynamische Wechselwirkungen lassen sich in dem Konstrukt „Nutzerzustand“ zusammenfassen (Hockey 2003). Zusammenfassend heißt das, dass für eine multidimensionale Beanspruchungsmessung nach Matthews et al. (2001, 2015) empfohlen wird, subjektive und objektive Verfahren zur Messung der mentalen Beanspruchung und Leistungskenngrößen zu erfassen sowie den Nutzerzustand als Kontrollvariable zu erheben.

Subjektive Beanspruchungsmessung

Die subjektive Beanspruchungsmessung umfasst alle Verfahren, bei denen die ausführende Person die erlebte Beanspruchung aus der retrospektiven Ich-Perspektive berichtet. Hierbei können durch Verzerrungseffekte (Zimmermann 2001, Zapf 1989), wie bspw. soziale Erwünschtheit (Stocké und Hunkler 2004, Ozaki et al. 2012), die empfundene und berichtete Beanspruchung voneinander abweichen.

Zur Messung der subjektiven Beanspruchung werden ein- und mehrdimensionale Skalen verwendet. Eindimensionale Skalen fassen die erlebte Beanspruchung in einem Wert zusammen, wohingegen mehrdimensionale Skalen sensitiv gegenüber bestimmten Beanspruchungsvariablen sein können. Häufig angewendete Skalen sind nach Young et al. (2015): NASA Taskload Index (Hart und Staveland 1988), Subjective Workload Assessment Technique (Reid und Nygren 1988) und die Rating Scale of Mental Effort (Zijlstra 1993).

Welche Skala sich für die im späteren Verlauf durchgeführte Laborstudie am besten eignet, wurde anhand der von Eggemeier et al. (1991) aufgestellten Kriterien beurteilt:

- Sensitivität: Erkennt die Skala Unterschiede in der Beanspruchungshöhe?
- Diagnostizierbarkeit: Erkennt die Skala Gründe für die Unterschiede in der Beanspruchung?
- Selektivität und Validität: Ist die Skala robust gegenüber Beeinflussungen durch andere Beanspruchungsarten?
- Reliabilität: Erfolgt die Beanspruchungsmessung konsistent über verschiedene Beanspruchungshöhen?
- Beeinflussung des Untersuchungsgegenstandes: Die Benutzung der Skala wirkt sich nicht auf den Untersuchungsgegenstand aus?
- Anforderungen seitens der Versuchsdurchführung: Passen die Anforderungen an die Anwendung der Skala zu den Anforderungen aus der Versuchsdurchführung?
- Akzeptanz seitens der Versuchsperson: Wird die Skala als adäquates Mittel angesehen, die Beanspruchung zu bewerten?

Objektive Beanspruchungsmessung

Für die objektive Beanspruchungsmessung werden nicht beeinflussbare physiologische Reaktionen herangezogen (Manzey 1998). Nach Gramann und Schandry (2009) zählen hierfür unter anderem die Ableitung elektrodermal⁶, hirnelektrischer⁷,

⁶ Messgrößen: Leitfähigkeits- bzw. Potentialänderungen der Haut

⁷ Messgrößen: Verlauf der Reaktionen des zentralen Nervensystems

kardiovaskulärer⁸, okulomotorischer⁹ Aktivität oder elektrischer Muskelaktivität sowie bildgebende Verfahren als etabliert. Ergänzend dazu werden Nahinfrarot-Spektroskopie der frontalen Hirnregionen (z. B. Ishii et al. 2008), NO-Sättigung im Speichel (z. B. Kitamura et al. 2012), Saccadic Eye movement (z. B. Tokuda und Obinata 2012) und Fluktuationen der Pupillengröße (z. B. Reiner und Gelfeld 2014) in der aktuellen Forschung angewendet.

Zur Auswahl geeigneter Verfahren für die später durchzuführende Laborstudie wurden die oben aufgeführten Kriterien von Eggemeier et al. (1991) auf die objektive Beanspruchungsmessung übertragen und erweitert. Das Kriterium „Anforderungen seitens der Versuchsdurchführung“ wurde um das Kriterium „Hygiene“ erweitert. Damit wurde der wiederholten Verwendung der Messtechnik und den daraus resultierenden Anforderungen an Reinigung, Desinfektion und Trocknung Rechnung getragen. Außerdem wurde das Kriterium „Reliabilität“ um die Facette „Latenzzeit“ erweitert. Damit wurde die Zeit beurteilt, die eine physiologische Reaktion benötigt, um die erlebte Beanspruchung in Form von Messwertveränderungen abzubilden.

Leistungskenngrößen

Die Leistung in der Ausführung einer Aufgabe hängt unter anderem ab von den Zielen der ausführenden Person (Locke und Latham 2002), von Leistungsanreizen (Brightenburg et al. 2016) oder vom Umfeld, in dem die Aufgabe bearbeitet wird (Parsons 2000, Ramsey 1995, Baker und Holding 1993). Ein weiterer wesentlicher Faktor, der die Leistung bestimmt, ist die erlebte Beanspruchung (Easterbrook 1959). Die erbrachte Leistung ist bei geringer Beanspruchung minimal und verhält sich anfangs direkt proportional zur Beanspruchung. Nach einem Bereich hoher Leistung bei unkritischen Beanspruchungen, fällt die Leistung mit zunehmender Beanspruchung. Die Leistung und Beanspruchung sind dann indirekt proportional (siehe Abb. 2.4).

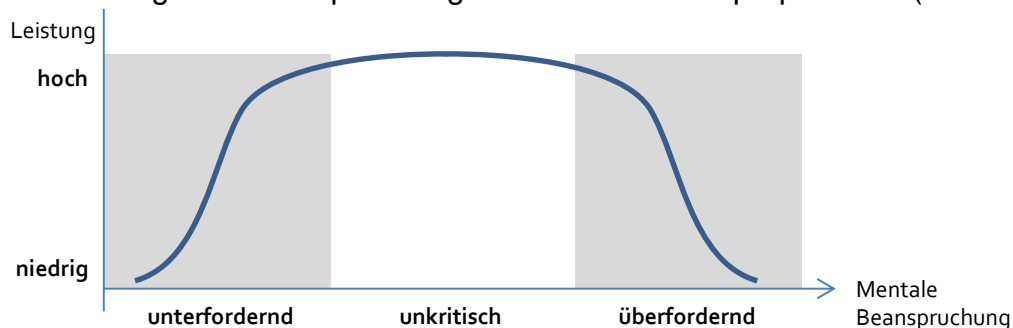


Abb. 2.4 Leistung und mentale Beanspruchung (in Anlehnung an Colle und Reid 2005)

Welche Aufgabenparameter als Leistungsdaten herangezogen werden können, wird von der jeweiligen Forschungsfragestellung bestimmt. Übliche Leistungsdaten sind zum Beispiel Reaktionszeiten (Klapp 2010), Bearbeitungsergebnis (Brookhuis und de Waard 2001), Bearbeitungsdauer (Bailey und Konstan 2006) oder die Leistung in der Bearbeitung von Sekundäraufgaben (Kaber und Riley 1999). Bei Experimenten mit Sekundäraufgaben werden die Versuchspersonen gebeten, in Ergänzung zur Hauptaufgabe eine zweite Aufgabe zu bearbeiten, ohne jedoch die Bearbeitung der ersten Aufgabe zu beeinträchtigen (Eggemeier und Wilson 1991).

⁸ Messgrößen: Herzfrequenz, Blutdruck bzw. periphere Gefäßmotorik

⁹ Messgrößen: Pupillenkoordinaten in x- und y-Richtung, Pupillenhöhe, Pupillenbreite

Nutzerzustand

Wie eingangs dargestellt, wird die Leistung auch durch Faktoren beeinflusst, die nicht mit der Arbeitsaufgabe im Zusammenhang stehen. Diese Einflussgrößen können im Konstrukt „Nutzerzustand“ zusammengefasst werden. Ein zentraler Faktor des Nutzerzustandes mit starken Auswirkungen auf die Leistung der Versuchsperson ist die oben beschriebene subjektive Beanspruchung (Pleydell-Pearce et al. 2000). Weitere Faktoren¹⁰ sind z. B. Motivation, emotionaler Zustand, Situationsbewusstsein, Müdigkeit, Bewältigungsstrategien, Aufmerksamkeit, situationelle oder individuelle Charakteristika wie Multitaskingfähigkeit sowie Umgebungsfaktoren (siehe z. B. Hockey 2003, Neerincx et al. 2014).

Um den Zustand des Nutzenden und damit die Einflussgrößen auf die Leistung ganzheitlich zu erfassen, hat sich das Dundee Stress State Questionnaire bzw. dessen Kurzform etabliert (DSSQ, Matthews et al. 2000, Matthews et al. 2001). Das DSSQ setzt sich aus mehreren eigenständigen Fragebögen zusammen, so z. B. dem NASA Taskload Index (Hart und Staveland 1988). Eine validierte deutsche Übersetzung liegt mit Langner (2010) vor. Es werden drei Dimensionen des Nutzerzustandes in verschiedenen Betrachtungszeiträumen beschrieben: Bindung an die Aufgabe (task engagement), Bedrängnis (distress) und Besorgnis (worry). Anhand der in diesen Dimensionen enthaltenen Kriterien werden alle der oben genannten Einflussgrößen abgedeckt, ausgenommen Multitaskingfähigkeit und Umgebungsfaktoren.

Nach König et al. (2005) wird Multitaskingfähigkeit, also die Leistung bei der Bearbeitung paralleler Aufgaben, vorrangig durch das Arbeitsgedächtnis bestimmt. Das Arbeitsgedächtnis dient zum simultanen Speichern und Verarbeiten, Überwachen kognitiver Prozesse sowie zum Koordinieren der Überführung von Informationseinheiten in mental verarbeitbare Strukturen (Oberauer et al. 2003). Um die Arbeitsgedächtnisleistung, im weiteren Sinne die Multitaskingfähigkeit, zu testen, können n-back-Tests verwendet werden (Owen et al. 2005). Bei diesen Tests müssen Informationen, die unter Störeinflüssen präsentiert werden, memoriert werden. Der Grad der Schwierigkeit hängt von den Störeinflüssen und der Erinnerungsspanne ab.

Die mit dem Nutzerzustand ebenfalls im Zusammenhang stehenden Umgebungsfaktoren (Beleuchtung, thermische und akustische Umgebung) werden, wie in Unterabschnitt 4.4.1 beschrieben, erfasst. Für weitere Details zu den zur Erfassung des Nutzerzustandes verwendeten Skalen sowie dem verwendeten n-back-Test wird auf Anhang 1 verwiesen.

2.2.4 Schlussfolgerung

Mit dem etablierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept können die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge in der Ausführung der Prozessführungsaufgabe abgebildet werden. Aus der Beschreibung der damit in Zusammenhang stehenden Beanspruchungsfolgen kann geschlussfolgert werden, dass auch diese auf das Arbeitsgebiet „Prozessführung“ angewendet werden können. Zur Messung der mentalen Beanspruchung wird ein multidimensionaler Ansatz empfohlen. Aufgrund der damit zu erzielenden Objektivität in der Beanspruchungsmessung soll dieser Ansatz für die im späteren Verlauf durchzuführende Laborstudie mit subjektiven und objektiven Beanspruchungsmessungen sowie objektiven Leistungsdaten und dem Nutzerzustand als Kontrollvariable verwendet werden.

¹⁰ Für eine ausführliche Beschreibung der Faktoren des Nutzerzustands und deren Wechselwirkungen siehe z. B. Schwarz und Fuchs (2014).

2.3 Stand der Wissenschaft zur Prognose der Beanspruchung

Im vorherigen Abschnitt wurde das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept erläutert, Beanspruchungsfolgen beschrieben und Methoden zur Beanspruchungsmessung bei der Ausführung der Arbeitsaufgabe vorgestellt. Wie in den vorangehenden Abschnitten auch gezeigt werden konnte, stehen mentale Beanspruchung und Leistung des Operateurs im Zusammenhang. Das wiederum kann die Effizienz des Gesamtsystems beeinflussen. Um z. B. Bedienfehler zu reduzieren, Systemsicherheit und Produktivität zu erhöhen, wird bereits im Planungsprozess der späteren Arbeitsaufgabe und der zu verwendenden Arbeitsmittel eine Auskunft über die zu erwartende Beanspruchung benötigt (Xie und Salvendy 2000). In diesem Stadium liegt noch keine real zu bedienende Anlage bzw. zu bearbeitende Aufgabe vor (sog. "no operator-in-the-loop", Linton et al. 1988), weswegen hierfür analytische Modelle zur Beanspruchungsprognose verwendet werden. Im folgenden Abschnitt werden Anforderungen an ein analytisches Prognosemodell aus der Zielstellung abgeleitet und zur Auswahl eines Modells eingesetzt. Abschließend wird das Modell ausgewählt, welches die meisten Anforderungen erfüllt, und vorgestellt.

2.3.1 Anforderungen an ein analytisches Modell zur Prognose der Beanspruchung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, bereits im Planungsprozess der späteren Prozessführungsaufgaben und der zu verwendenden Arbeitsmittel die mentale Beanspruchung bei der Ausführung der Prozessführungsaufgaben zu prognostizieren. Um die aus den Prozessführungsaufgaben resultierenden Anforderungen zu berücksichtigen, muss das Prognosemodell die Arbeitsaufgabe, die Arbeitsmittel und die Folgen der mentalen Beanspruchung abbilden können. Analytische Modelle, im Gegensatz zu empirischen, prognostizieren die mentale Beanspruchung ohne reale Aufgabenbearbeitung (siehe Linton et al. 1988) und müssen somit unabhängig von objektiven Beanspruchungsdaten Aussagen treffen können. Aufbauend auf Xie und Salvendy (2000) sollen die nachstehenden Anforderungen an ein Modell gestellt werden:

1. Multidimensionale Beschreibung der mentalen Beanspruchung
2. Berücksichtigen der Anforderungen des Arbeitsgebiets
3. Berücksichtigen individueller Unterschiede der Operateure, z. B. Erfahrung, Training etc.

Die von Xie und Salvendy (2000) an deren Modell gestellten Anforderungen wurden auf Modelle in verschiedenen Aufgabengebieten angewendet, so z. B. durch Gao et al. (2013) auf Prozessüberwachung in Kernkraftwerken, durch Benedetto et al. (2011) auf Informationssysteme in Fahrzeugen oder durch Holden et al. (2011) auf Sicherheit von Patienten und Arbeitszufriedenheit bei Pflegepersonal in Krankenhäusern. Die benannten grundlegenden Anforderungen (Xie und Salvendy 2000) lassen sich im Hinblick auf die Zielstellung dieser Arbeit anhand der nachstehenden Kriterien überprüfen:

1. Multidimensionale Beschreibung der mentalen Beanspruchung
 - K1. Kann die mentale Gesamtbeanspruchung anhand verschiedener Attribute wie durchschnittliche, kumulierte oder Spitzenbeanspruchung beschrieben werden?
 - K2. Sind die Beanspruchungsfolgen (DIN EN ISO 10075-1:2000) Bestandteil des Modells bzw. können diese integriert werden?

2. Berücksichtigen der Anforderungen des Arbeitsgebiets (Prozessführung, Multitasking, Arbeitsmittel)

K3. Prozessführung: Werden in der Literatur Referenzanwendungen aus dem Arbeitsgebiet der Prozessführung benannt?

K4. Multitasking: Kann das Prognosemodell Multitasking beschreiben?

K5. Multitasking: Werden Anforderungen zur Ausführung von Arbeitsaufgaben abgebildet?

K6. Arbeitsmittel: Werden Anforderungen zur Benutzung von Arbeitsmitteln abgebildet?

3. Berücksichtigen individueller Unterschiede der Operateure

K7. Können Erfahrung oder Trainingsgrad der Operateure abgebildet werden?

2.3.2 Modellübersicht, Modellvergleich und Modellauswahl

Auf Basis der im vorigen Abschnitt vorgestellten Anforderungen wird überprüft, ob existierende analytische Modelle diese Anforderungen erfüllen. Um eine Übersicht über existierende analytische Modelle zu erhalten, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt (siehe Anhang 2). Insgesamt können vier analytische Modelle für eine Detailbewertung herangezogen werden:

1. Framework for predicting mental workload (predMW, Xie und Salvendy 2000)

Dieses analytische Modell zeichnet sich durch die Berücksichtigung verschiedener Beanspruchungsgrößen aus, z. B. effektive und kumulierte Beanspruchung, sowie individueller Faktoren, hier besonders die Beanspruchungseffizienz. Als Validierungsstudie wurden 60 Bachelor- und Masterstudierende gebeten, den Inhalt von Internetseiten zu verändern und parallel Mathematikaufgaben zu berechnen. Xie und Salvendy (2000) ermittelten in einer linearen Regressionsanalyse für ihr entwickeltes Modell folgende Bestimmtheitsmaße zur Varianzaufklärung durch das Modell im Verhältnis zur Gesamtvarianz:

$$R_{NASA-TLX}^2 = .42; R_{Beanspruchung}^2 = .31; R_{Leistung}^2 = .78.$$

2. Cognitive task load model (CTL, Neerincx 2003)

Mit dem Modell werden aus drei Belastungsfaktoren (Aufgaben, Ebene der Informationsverarbeitung, Zeit) Aussagen über die zu erwartende Gesamtbeanspruchung getroffen. Deren Bewertung erfolgt durch Risikobereiche, in denen die Wahrscheinlichkeit z. B. für Fehlhandlungen erhöht ist. Als qualitative Validierungsstudie kann die Anwendung des Modells auf die Operationszentrale eines Schiffes der niederländischen Marine mit ca. 52 Versuchspersonen (in insgesamt 13 Teams) herangezogen werden (Grootjen et al. 2006). Es konnte anhand subjektiver Beanspruchung, Leistungsdaten und Expertenbewertungen gezeigt werden, dass die als unterschiedlich beanspruchend gestalteten Versuchsszenarien auch zu den erwarteten qualitativen Beanspruchungsausprägungen „niedrig“ und „hoch“ führten.

3. Analysing and predicting mental workload (anapredMW, Gregoriades und Sutcliffe 2008)

Es werden leistungsbeeinflussende Faktoren mittels eines Bayesnetzes modelliert. Der Gesamtwert der mentalen Beanspruchung wird anhand dreier Teilbeanspruchungen bewertet: Aufgabenbearbeitung, Kommunikation und Interaktion mit technischen Arbeitsmitteln. Die Validierung erfolgte mittels Datamining, um die Vorhersagen des von Gregoriades und Sutcliffe (2008) entwickelten Modells mit theoretischen Vorhersagen und Expertenmeinungen zu vergleichen. Die Prognosen konnten hauptsächlich bestätigt werden.

4. Predictive mental workload modelling (predMWMod, Colombi et al. 2012)

Basierend auf der Auslastung der einzelnen Informationsverarbeitungs Kanäle der Multiplen Ressourcen Theorie (Wickens 2002) und subjektiven Bewertungen der jeweiligen Aufgabenausführung wird die mentale Beanspruchung über eine Software ermittelt und bewertet. Die Validierung erfolgte anhand 75 verschiedener Aufgabenkombinationen über einen Versuchszeitraum von zwölf Stunden. Mit dem von Colombi et al. (2012) entwickelten Modell konnten in Übereinstimmung mit Experteneinschätzungen verschiedene Aufgabenkombinationen identifiziert werden, die zu hohen mentalen Beanspruchungen führten.

Modellvergleich

Nachdem die identifizierten Modelle vorgestellt wurden, werden diese anhand der im vorangehenden Abschnitt vorgestellten Kriterien bewertet (siehe Anhang 3).

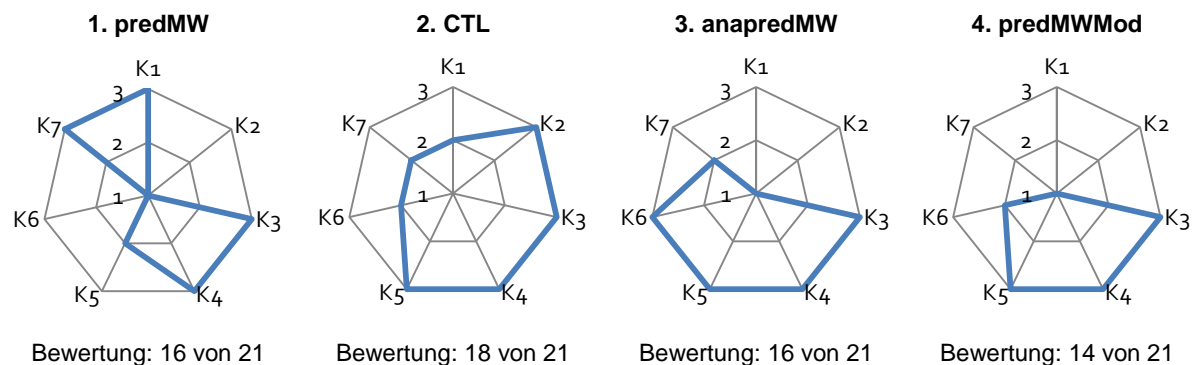


Abb. 2.5 Ergebnisübersicht der Bewertung identifizierter Prognosemodelle

Bewertung (optimal: blaue Linie auf äußerem Rand): 1 - nicht erfüllt | 2 - mit Einschränkungen erfüllt | 3 - erfüllt

Legende: **K1** - Unterscheidung verschiedener mentaler Beanspruchungswerte | **K2** - Integration der Beanspruchungsfolgen nach DIN EN ISO 10075-1:2000 | **K3** - Anwendungsgebiet Prozessführung | **K4** - Beschreibung von Multitaskingsituationen | **K5** - Abbilden der Anforderungen seitens der Arbeitsaufgaben | **K6** Abbilden der Anforderungen seitens der Arbeitsmittel | **K7** - Abbilden von Erfahrung oder Trainingsgrad der Operateure

Wie aus der Bewertung der analytischen Prognosemodelle (siehe Abb. 2.5 und Anhang 3) ersichtlich wird, erfüllt das Cognitive Task Load Modell (kognitive Beanspruchungsmodell, Neerincx 2003) die meisten der im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Anforderungen (ca. 86 %). Den übrigen Modellen ist gemeinsam, dass diese keine Verbindung zwischen den prognostizierten Beanspruchungswerten und den sich daraus ergebenden Beanspruchungsfolgen (DIN EN ISO 10075-1:2000) herstellen (Kriterium 2). Auf Basis der Bewertungsergebnisse wird das Cognitive Task Load Modell für die weitere Bearbeitung der Zielsetzung dieser Arbeit ausgewählt. Eine detaillierte Beschreibung des Modells erfolgt im nächsten Abschnitt.

2.3.3 Das Cognitive Task Load Modell

Das Cognitive Task Load Modell (CTL-Modell) besitzt seinen Ursprung in der Softwareentwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle für die Prozessführung. Mit dem Modell wurde das Ziel verfolgt, die psycho-mentale Belastung der Operateure optimal zu gestalten (Neerincx 2003). Somit konnte das Modell über die Schnittstellenentwicklung hinaus auch zur Aufgabenallokation verwendet werden (ebd.). Die ers-

ten Überlegungen hierzu gingen aus der Dissertationsschrift über Aufgabenallokation in Verkehrsleitzentralen der Niederländischen Eisenbahn hervor (Neerincx 1995). Weitere Anwendungsbeispiele sind:

- Beanspruchungsprognose in der Operationszentrale einer Fregatte der königlichen Niederländischen Marine (Grootjen et al. 2006, Grootjen et al. 2007, Neerincx et al. 2009);
- Echtzeit-Beanspruchungsermittlung bei der Bedienung eines „Urban Search and Rescue Robots“ (Colin et al. 2012, Colin 2013, Colin et al. 2014) und
- Ermittlung der mentalen und emotionalen Beanspruchung von Operateuren in Verkehrsleitzentralen der niederländischen Eisenbahn (Neerincx 1995, Harbers et al. 2014, Neerincx et al. 2014).

Dieses qualitative Modell bildet für diese Arbeit die Basis zur quantitativen Weiterentwicklung eines Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung. Es wurde ausgewählt, da es den Anforderungen an ein solches Prognosemodell am ehesten gerecht wird und explizit für Mehrfachaufgabenkonstellationen in der Prozessführung in Leitwarten angewendet werden kann.

Belastungsfaktoren

Um die mentale Beanspruchung ableiten zu können, beschreibt Neerincx (1995) drei Belastungsfaktoren:

1. Aufgabensetwechsel;
2. Ebene der Informationsverarbeitung und
3. Anteil der durch die Aufgabenwahrnehmung beanspruchten Zeit.

Der Belastungsfaktor „Aufgabensetwechsel“ (task set switches, TSS) erfasst den Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben anhand der Belegung des Arbeitsgedächtnisses. Die Belegung des Arbeitsgedächtnisses wird beschrieben mittels Informationsdomänen (information domain, ID). Diese schließen neben den für die Aufgabenausführung benötigten Informationen ebenfalls die Anforderungen seitens der Umgebung ein, z. B. durch Arbeitsmittel (Neerincx 2003, Grootjen et al. 2006). Je mehr dieser Informationsdomänen ausgetauscht werden müssen, desto größer ist der Belastungsfaktor „Aufgabensetwechsel“.

Der zweite Belastungsfaktor beschreibt die „Ebene der Informationsverarbeitung“ (level of information processing, LIP). Um diesen Faktor zu operationalisieren, verwendet Neerincx die Forschungsarbeiten von Rasmussen über die Ebenen der kognitiven Kontrolle (Rasmussen 1983, Rasmussen und Goodstein 1985, Rasmussen 1986). Die Ebenen der kognitiven Kontrolle beschreiben die verschiedenen Mechanismen der menschlichen Informationsverarbeitung. Dafür wurde unterschieden in:

- fertigkeitsbasierte Informationsverarbeitung (skill based behaviour, SBB);
- regelbasierte Informationsverarbeitung (rule based behaviour, RBB) und
- wissensbasierte Informationsverarbeitung (knowledge based behaviour, KBB).

Fertigkeitsbasierte Informationsverarbeitung steht dabei für hochautomatisiertes Bearbeitungsverhalten ohne bewusste Aufmerksamkeitsallokation - und folglich der geringsten Beanspruchung (Rasmussen 1983). Wenn-Dann-Beziehungen, also Regeln, bestimmen die regelbasierte Informationsverarbeitung. Beispielsweise kann diese Informationsverarbeitung in bekannten Arbeitssituationen beobachtet werden. Die notwendigen Regeln werden permanent weiterentwickelt durch bereits erlebte erfolg-

reiche Erfahrungen (Rasmussen 1983). Bei der Lösungsfindung für unbekannte Prozesszustände oder anderer unbekannter Probleme kann die wissensbasierte Informationsverarbeitung beobachtet werden. Wissensbasierte Informationsverarbeitung wird auch als analytische Informationsverarbeitung definiert (Rasmussen 1983). Die Informationsverarbeitung für alle drei Ebenen läuft seriell.

Der dritte Belastungsfaktor „zeitliche Auslastung“ (time occupied, TO) beschreibt das Verhältnis aus der für die Aufgabenbearbeitung zur Verfügung stehenden Zeit zur Gesamtdauer des Betrachtungszeitraumes.

Ableitung der mentalen Beanspruchung

Nachdem die drei Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“ definiert wurden, stellt sich die Frage, wie daraus ein Beanspruchungsmaß abgeleitet werden kann. Neerincx (2003) führt dafür den Begriff „load space“ (Belastungsraum) ein. Der Belastungsraum ist ein dreidimensionaler Raum, aufgespannt durch die drei Belastungsfaktoren (siehe Abb. 2.6). Neerincx (2000) erläutert die Ableitung des cognitive task loads (mentale Beanspruchung) wie folgt: „Je höher die zeitliche Auslastung, je höher die Informationsverarbeitungsebene und je mehr Aufgabensetwechsel, umso höher die Beanspruchung - und umgekehrt“. Das bedeutet, dass auf dieser Basis nur qualitative Aussagen zu den Anforderungen der Multitaskingsituation und respektive zur Beanspruchung abgeleitet werden können.

In einer späteren Modellversion von Colin et al. (Colin et al. 2012, Colin 2013, Colin et al. 2014) wird eine Berechnung der mentalen Beanspruchung vorgeschlagen. Aus den drei Belastungsfaktoren wird der mentale Beanspruchungswert (mental work load, MWL) errechnet. Dieser vorerst abstrakte Wert errechnet sich aus: $MWL = d_{Nullpunkt} - \frac{1}{d_{Diagonale}}$. Hierbei ist $d_{Nullpunkt}$ der Abstand zum Koordinatenursprung und $d_{Diagonale}$ der lotrechte Abstand zum Ortsvektor $\vec{v} = \langle 1|1|1 \rangle$ (Diagonale). 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). Auf Basis dieser Trainingswerte kann im Originalmodell die Aussage getroffen werden, ob der CTL optimal ist oder nicht.

Risikobereiche

Im Belastungsraum (siehe Abb. 2.6) kann die Belastung durch eine Multitaskingsituation dargestellt werden. Mittels des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes folgt auf die Belastung eine individuelle Beanspruchung. Diese Beanspruchung führt wiederum zu Beanspruchungsfolgen. Hierfür werden nur die kurzfristigen Beanspruchungsfolgen berücksichtigt. Von besonderem Interesse sind die negativen Beanspruchungsfolgen, da diese der Leistung des Operateurs abträglich sind. Neerincx (2003) beschreibt als Konsequenz der kognitiven Anforderungen einer Multitaskingsituation die sogenannten Risikobereiche (siehe Abb. 2.6):

- Unterforderung (underload);
- Vigilanzprobleme (vigilance problems);
- Kognitive Fixierung (cognitive lockup); und
- Überforderung (overload).

Als Unterforderung wird ein Bereich beschrieben, in dem alle drei Belastungsfaktoren sehr gering ausgeprägt sind. Im Gegensatz dazu steht Überforderung: In diesem Risikobereich sind alle Belastungsfaktoren maximal ausgeprägt. Vigilanzprobleme treten auf bei einer hohen zeitlichen Auslastung in Kombination mit geringen Anforderungen durch die Informationsverarbeitung und wenigen Aufgabensetwechselln. Es beschreibt die aus unterfordernden Aufgabensituationen resultierende herabgesetzte Signalentdeckungsleistung. Kognitive Fixierung beschreibt ein Bearbeitungsverhalten zur Lösung von Problemen, bei dem nur eine mögliche Lösung in Betracht gezogen wird. Dabei werden Hinweise, die auf andere Lösungen hindeuten, nicht beachtet. Außerdem wird bei diesem Verhalten die Kontrolle von anderen Prozessen bzw. Subsystemen vernachlässigt.

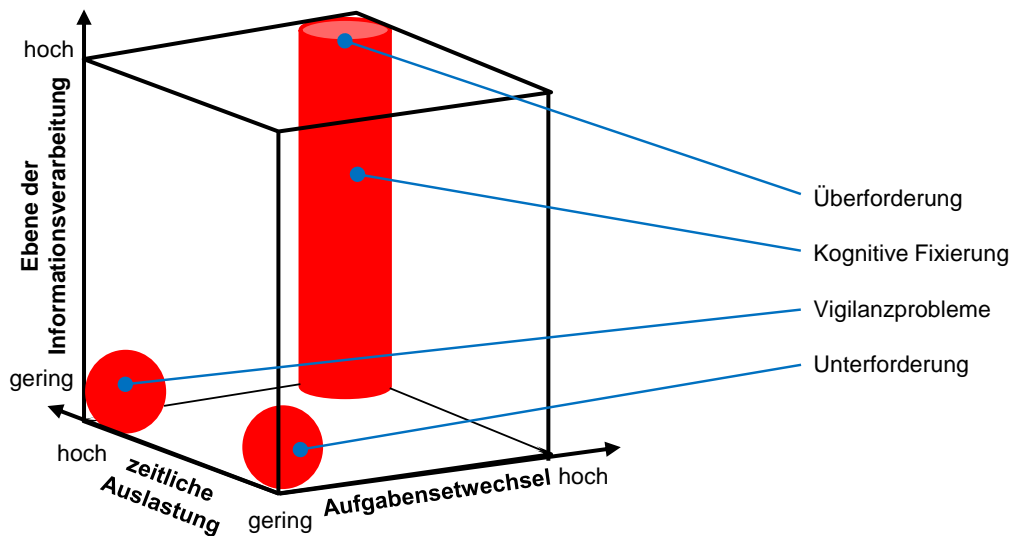


Abb. 2.6 Belastungsraum (qualitativ von „gering“ bis „hoch“), inkl. Risikobereiche (nach Neerincx 2003)

Bereich der optimalen Beanspruchung

So wie im Belastungsraum Bereiche mit negativen Beanspruchungsfolgen definiert wurden, können ebenfalls positive Beanspruchungsfolgen abgebildet werden. Grootjen et al. (2006) führten als Gegensatz zu den Risikobereichen einen Bereich der optimalen Beanspruchung ein.

Hierfür interpretieren Grootjen et al. (2006) das Konzept der kognitiven Kontrolle als ein Kontinuum und nicht als diskrete Ebenen. Bedingt durch komplexe¹¹ Wechselwirkungen innerhalb der zu bearbeitenden Aufgaben, interagieren die Ebenen der kognitiven Kontrolle miteinander (Rasmussen und Vicente 1989) und bilden fließende Übergänge. Grootjen et al. (2006) nahmen den Bereich der optimalen Beanspruchung als Kugel an (siehe Abb. 2.7).

¹¹ Als komplex werden nicht planbare, intransparente, umfangreiche, dynamische und sich untereinander beeinflussende Aufgabeninhalte summiert.

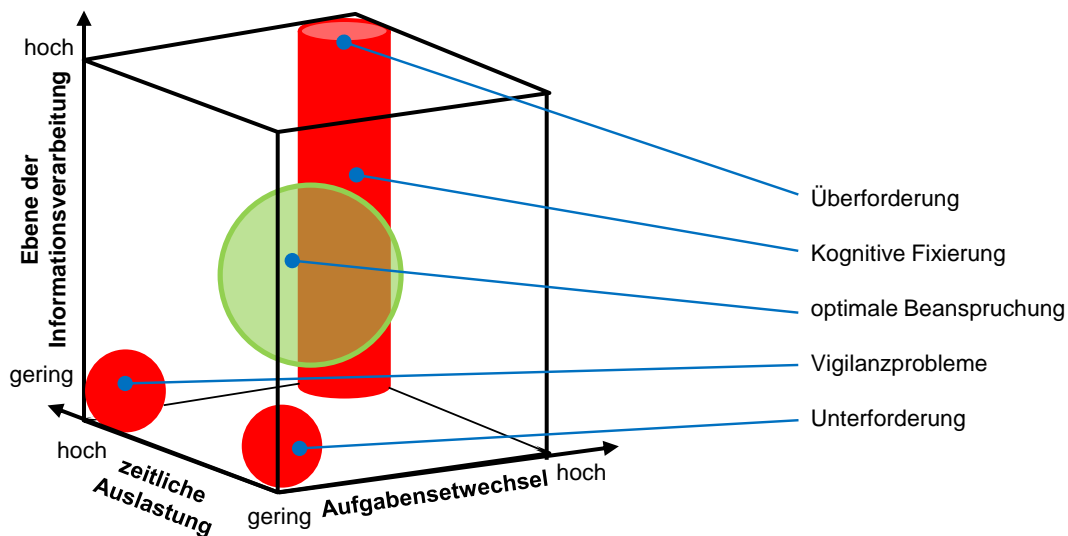


Abb. 2.7 Bereich der optimalen Beanspruchung (nach Grootjen et al. 2006)

2.3.4 Bewertung des CTL-Modells

In einer Literaturrecherche wurden vier analytische Modelle zur Beanspruchungsprognose identifiziert. Die Bewertung dieser Modelle erfolgte auf Basis von Anforderungen, die sich aus Xie und Salvendy (2000) und der Zielstellung dieser Arbeit ableiten. Als Ergebnis erfüllte das CTL-Modell (Neerincx 2003) die meisten Kriterien und wurde als Modell für die Beanspruchungsprognose im Rahmen dieser Arbeit ausgewählt. Die Detailprüfung des CTL-Modells auf systematische Fehlerquellen (siehe Anhang 4) ergab folgende Weiterentwicklungsbedarfe:

1. Überführung des qualitativen Originalmodells in ein quantitatives Modell.
2. Die Beanspruchungsfolge „psychische Sättigung“ (DIN EN ISO 10075-1:2000) wird nicht erfasst.
3. Im Originalmodell werden die Beanspruchungsfolgen zur Bewertung der prognostizierten mentalen Beanspruchung nur ungenügend berücksichtigt.
4. Die Ableitung und Bewertung der mentalen Beanspruchung mittels Bayes-Klassifikator ist nicht in der Modelltheorie verankert. Das stellt eine potentielle systematische Fehlerquelle dar.
5. Im Originalmodell wird ein Bereich der optimalen Beanspruchung propagiert, der in der auf das Modell bezogenen Literatur nicht hergeleitet wurde. Das stellt eine potentielle systematische Fehlerquelle dar.

Trotz der Vielzahl der Weiterentwicklungsbedarfe wird das CTL-Modell für die Bearbeitung der Zielstellung dieser Arbeit herangezogen.

2.4 Stand der Technik in der Verarbeitung unscharfer Informationen

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die mentale Beanspruchung bereits im Planungsprozess der späteren Arbeitsaufgaben und der zu verwendenden Arbeitsmittel zu prognostizieren. Dafür wurde im vorherigen Abschnitt ein Prognosemodell identifiziert und einer Detailprüfung unterzogen. Unter anderem wurde in dieser festgestellt, dass die Ableitung und Bewertung der mentalen Beanspruchung eine systematische Fehlerquelle aufweist. Um diese zu beheben, wird eine alternative Methode zur Verarbeitung nicht konkreter Informationen benötigt. Denn die für die Prognose der mentalen Beanspruchung notwendige Informationsgrundlage wird erst während des Planungs-

prozesses konkretisiert und durch iteratives Vorgehen weiterentwickelt. Weiterhin zeichnet sich der Planungsprozess durch Interdisziplinarität aus (DIN EN ISO 11064-1:2001), was sich ebenfalls auf die Informationsgrundlage auswirkt. Ein Ziel des Planungsprozesses ist es, optimale Gestaltungslösungen für beides, Arbeitsaufgabe und Arbeitsmittel, zu finden. Optimal ist in dem Fall eine auf den funktionalen Zweck¹² ausgerichtete Kompromisslösung, bspw. zwischen Sicherheit und Ressourceneinsatz (Naikar et al. 2005). Das iterative Vorgehen zeichnet sich dadurch aus, dass keine gesicherten Informationen über die spätere Realisierung verfügbar sein können, diese unvollständig und nur in linguistischer Form vorliegen können. Linguistisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass aufgrund des Planungsstadiums Informationen eher qualitativ im Sinne von „schwierig“, „viel“, „ganz schön anspruchsvoll“ unterschieden werden, die mathematisch nicht eindeutig beschrieben werden können. Interdisziplinarität begünstigt, z. B. durch disziplinspezifischen Jargon, sprachliche Inkorrektheiten beim Austausch von (linguistischen) Informationen (Bell et al. 1996).

Diese Faktoren, also nicht gesicherte, unvollständige bzw. linguistische Informationen sowie Interdisziplinarität, können eine Informationsgrundlage für die Prognose der Beanspruchung begünstigen, die als objektiv und subjektiv unscharf bezeichnet wird (Richter 1988, zitiert nach Mayer et al. 1993). Als objektiv unscharf werden Informationen bezeichnet, die eigentlich präzise zu ermitteln sind, aber derzeit nicht präzise ermittelt werden können, z. B. der Temperaturgradient in der Aussage „Die Prozesstemperatur steigt langsam.“. Subjektiv unscharf sind linguistische Informationen, die z. B. von individuellen Erfahrungen abhängen. Ein Beispiel hierfür ist „Unter diesen Bedingungen ist die Prozesstemperatur eigentlich hoch“.

Um dennoch die Beanspruchung auf Basis der vorhandenen dynamischen, sich gegenseitig beeinflussenden, ungewissen und ggf. linguistischen Informationsgrundlage zu prognostizieren, können quantitative Informationsverarbeitungsmethoden die Entscheidungsfindung vereinfachen und verbessern (Mayer et al. 1993). Im Folgenden wird eine quantitative Informationsverarbeitungsmethode zum Einsatz in der quantitativen Beanspruchungsprognose ausgewählt und detailliert beschrieben.

2.4.1 Methoden zur Verarbeitung unscharfer Informationen

Nach Lunze (2010) können vage und unsichere, aber auch unvollständige, mehrdeutige, widersprüchliche Informationen mit symbolischen oder numerischen Informationsverarbeitungsmethoden quantitativ verarbeitet werden. Zu symbolischen Methoden der Informationsverarbeitung zählen z. B. Standardannahmelogik (Default-Logik), zu numerischen Verfahren z. B. Evidenz- oder Fuzzy-Theorie.

Symbolische Informationsverarbeitungsmethoden basieren auf dem Ansatz der klassischen Logik, welche eindeutige binäre Informationszustände (Wahrheitswerte) voraussetzt, in der Regel wahr/ falsch [0;1]. Damit eignet sich klassische Logik und darauf basierende symbolische Methoden nicht zur Beschreibung komplexer Zusammenhänge (Bojadziev und Bojadziev 2007), bei denen durch die Vielzahl von Wechselwirkungen Informationen unvollständig sein können.

Bei numerischen Informationsverarbeitungsmethoden wird der Informationszustand (Wahrheits- oder Zugehörigkeitswert, w) in der Regel mit normierten Zahlenwerten im Bereich $0 \leq w \leq 1$ beschrieben (Lunze 2010, 2016). Damit eignen sich numerische Methoden insbesondere zur Beschreibung komplexer und unvollständiger Zu-

¹² Die in der ökologischen Schnittstellengestaltung (Gibson, 1979) verwendete höchste Abstraktionsebene. Der Zweck lässt sich mit dem übergeordneten „Warum?“, „Wozu?“, „Wofür?“ beschreiben; das konkrete „Wie?“ wird über die Ebene der Aufgabe vermittelt (Burns und Hadjukiewicz, 2004).

sammenhänge. Nach Ruser und León (2007) werden numerische Informationsverarbeitungsmethoden¹³ üblicherweise in merkmalsbasierte, probabilistische und neuronale Methoden sowie Fuzzy¹⁴ Logik unterteilt.

Von den genannten numerischen Methoden eignet sich vorrangig Fuzzy Logik, um objektiv und subjektiv unscharfe, linguistische (sprachliche) Informationen zu verarbeiten (Lunze 2010). Der Unterschied zu probabilistischen Methoden (Vertrauensintervalle, im Sinne von Wahrscheinlichkeitsfunktionen) besteht darin, dass für diese Methoden der Folgezustand und dessen Eintrittswahrscheinlichkeit bekannt sein müssen. Das ist bei der im Planungsprozess zu erwartenden dynamischen, sich gegenseitig beeinflussenden, ungewissen und ggf. nur sprachlich vorliegenden Informationsgrundlage (siehe oben) nicht gegeben.

Mit der Verwendung von Fuzzy Logik können einerseits die Ergebnisse reproduziert werden - konstante Eingangsgrößen vorausgesetzt. Andererseits ist die Ergebnisgewinnung transparent und kann somit nachvollzogen werden. Die Transparenz in der Ergebnisgewinnung ist in der Funktionsweise der Fuzzy Logik begründet. So benötigt Fuzzy Logik eine eindeutig formulierte Regelbasis, um zu funktionieren, d. h. logisch schließen zu können. Diese Regelbasis entsteht durch Modellierung bzw. Abbildung von explizitem Wissen in eindeutigen Regeln. Mit explizitem Wissen können Ergebnis und Ergebnisgewinnung exakt formuliert werden (Polany 1985). Dem gegenüber steht implizites Wissen, bei dem nur das Ergebnis exakt formuliert werden kann, aber nicht die Ergebnisgewinnung (black box, Polany 1985). Durch die damit einhergehende Transparenz können alle Ergebnisse nachvollzogen werden und Wiederholungsfehler durch ein Anpassen in der Fuzzy Logik vermieden werden.

2.4.2 Fuzzy Logik

Die Fuzzy Logik, die Theorie der unscharfen (fuzzy) Mengen, geht auf Zadeh (1965) zurück. Laut Mayer et al. (1993) führten Probleme in der allgemeinen Systemtheorie, vage Begrifflichkeiten mathematisch eindeutig zu lösen, Zadeh dazu, die Theorie der unscharfen Mengen zu entwickeln. Fuzzy Logik erweitert die klassische binäre Logik $[0;1]$ um beliebig viele Zwischenwerte (Erfüllungs- bzw. Zugehörigkeitsgrade¹⁵, $[0 \dots 1]$) und ermöglicht so eine präzise mathematische Beschreibung unpräziser Information und näherungsweise Schlussfolgerungen ("precise logic of imprecision and approximate reasoning", Zadeh 2008). Fuzzy Logik wird neben der Anwendung in der Steuerung technischer Prozesse, vom Haushaltsgerät über Verkehrsmittel bis zur Großanlage, unter anderem auch als Entscheidungshilfe für Experten zur Nutzung von Fachwissen (Mayer et al. 1993, Bojadziev und Bojadziev 2007, Singh et al. 2013) verwendet. Der folgende Abschnitt erläutert die Strukturelemente des Fuzzy-Schlussfolgerungsmechanismus unter Einbeziehung eines allgemeinen Beispiels zur Regelung der Raumtemperatur.

Für die Regelung der Raumtemperatur werden im hier benutzten Beispiel die Eingangsvariablen Innen- und Außentemperatur sowie die Ausgangsvariablen Heizung (kontinuierliche Einstellung [aus ... voll auf]) und Fenster (diskrete Einstellung [geschlossen, geöffnet]) verwendet. In Realität würden sich zur Modellierung zusätzliche Variablen wie z. B. Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit oder Verdunkelungseinrichtung sowie die Ist-Stellgrößen der Aktoren empfehlen. Für weitere

¹³ Für eine Beschreibung der Informationsverarbeitungsmethoden wird im Allgemeinen auf Lunze (2010, 2016) und in Bezug auf Informationsfusion auf Ruser und León (2007) verwiesen.

¹⁴ aus dem Englischen: unscharf, verschwommen, vage

¹⁵ Zugehörigkeit ist der Grad an Unschärfe, mit dem ein Ereignis eintritt. Im Gegensatz dazu ist Wahrscheinlichkeit die stochastische Unsicherheit, ob ein Ereignis eintritt. Die stochastische Unsicherheit kann durch Messwiederholungen verringert werden, Unschärfe hingegen nicht (Schulte 1993).

praktische Fallbeispiele wird auf das Handbuch¹⁶ zu GNU Octave fuzzylogictoolkit verwiesen.

Ein Fuzzy-System als Schlussfolgerungsmechanismus ist allgemein strukturiert in (1) Fuzzyfizierung, (2) Regelbasis und Inferenzmechanismus sowie (3) Defuzzyfizierung.

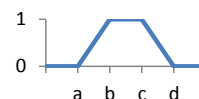
(1) Fuzzyfizierung

Zunächst müssen die benötigten Eingangsvariablen in eine für die Fuzzy Logik verständliche Semantik überführt werden: die Fuzzyfizierung oder linguistische Interpretation. Die linguistische Interpretation wird für jede Eingangsvariable vorgenommen und besteht aus drei Festlegungen: (1) Wertebereich, (2) Ausprägungen (auch linguistischer Term) und (3) Zugehörigkeitsfunktionen. Als Zugehörigkeitsfunktion steht jede mathematische Funktion zur Verfügung, sowohl kontinuierliche als auch diskrete Verteilungen, sog. Singletons. Um die Unschärfe linguistischer Variablen abzubilden, werden Zugehörigkeitsfunktionen gewählt, die sich in den Grenzbereichen überlappen. Eine wichtige Eigenschaft der Fuzzy Logik ist, dass bei komplettem Verzicht auf sich überlappende Zugehörigkeitsfunktionen der Schließungsmechanismus der Fuzzy Logik dem der klassischen binären Logik gleicht. Die Fuzzyfizierung der Eingangsvariablen für das Beispiel Raumtemperatur ist in Tab. 2.2 dargestellt.

Tab. 2.2 Exemplarische Fuzzyfizierung der Eingangsvariablen Innen- und Außentemperatur

	Wertebereich	Ausprägungen	Zugehörigkeitsfunktionen [a, b, c, d] in °C	Anmerkung: Die Zugehörigkeitsfunktionen entsprechen einer Trapezfunktion, mit a, b, c, d:
Innentemperatur	[18 - 27 °C]	zu kalt angenehm zu warm	[14, 16, 20, 22] [20, 22, 23, 24] [23, 24, 30, 31]	
Außentemperatur	[-20 - 35 °C]	sehr kalt kalt angenehm warm heiß	[-40, -35, -5, 0] [-5, 0, 10, 15] [10, 15, 22, 25] [22, 25, 27, 30] [27, 30, 40, 43]	

Anmerkung:
Die Zugehörigkeitsfunktionen entsprechen einer Trapezfunktion, mit a, b, c, d:



(2) Regelbasis und Inferenzmechanismus

Um die Zusammenhänge und Wechselwirkungen innerhalb der Eingangsgrößen sowie zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen für die Fuzzy Logik zugänglich zu machen, werden diese in Wenn-Dann-Regeln formalisiert. Eine Wenn-Dann-Regel besteht aus Prämisse (Wenn) und Konklusion (Dann). Die dadurch entstehende Regelbasis ist erweiterbar, modular, modifizierbar, transparent und auch für Nichtexperten nachvollziehbar. Bei der Erstellung der Regelbasis ist zu beachten, dass diese vollständig und widerspruchsfrei sein sollte (Mayer et al. 1993).

Aufgrund der linguistischen Beschreibung können für die exakt messbaren Eingangsvariablen Innen- und Außentemperatur mehrere Ausprägungen (linguistische Terme) zutreffen (siehe Tab. 2.3). Das führt dazu, dass ebenfalls mehrere Regeln zutreffen, die wiederum zu mehreren Ausprägungen der Ausgangsvariablen führen können. Je nach festzulegenden Schwellen oder Sicherheitsfaktoren sind üblicherweise alle Regeln mit einem Erfüllungsgrad $\mu > 0$ anwendbar.

¹⁶ octave.sourceforge.net/fuzzy-logic-toolkit/overview.html, letzter Zugriff: 18. September 2016

Tab. 2.3 Übersicht der anwendbaren Regeln, mit Erfüllungsgrad der Eingangsvariablen

Regel	Prämisse (Eingangsvariablen)				Konklusion (Ausgangsvariablen)		
	Innentemperatur (20,5 °C)		Außentemperatur (14,0 °C)		Thermostat (Stufe)		Fenster
WENN 1	zu kalt, $\mu = 0,75$	UND	kalt, $\mu = 0,20$	DANN	fast voll auf	UND	geschlossen
ODER 2	zu kalt, $\mu = 0,75$	UND	angenehm, $\mu = 0,80$	DANN	halb/ halb	UND	geöffnet
ODER 3	angenehm, $\mu = 0,25$	UND	kalt, $\mu = 0,20$	DANN	fast aus	UND	geschlossen
ODER 4	angenehm, $\mu = 0,25$	UND	angenehm, $\mu = 0,80$	DANN	aus	UND	geöffnet

Legende: μ - Erfüllungsgrad

Anmerkung: Ausgangsvariablen sind zu diesem Zeitpunkt noch ohne Erfüllungsgrad, da dieser von der Inferenz abhängt.

Nun folgt die Inferenz der Eingangsvariablen, die sich aus Aggregation (2a), Implikation (2b) und Akkumulation (2c) zusammensetzt. Besteht eine Prämisse aus verschiedenen Teilen (Eingangsvariablen), werden die Erfüllungsgrade der einzelnen linguistischen Terme zusammengefasst. Dieser Vorgang wird Aggregation (2a) genannt. Dafür können Aggregationsoperatoren eingesetzt werden, wie z. B. ein Durchschnitt-, Minimum- oder Maximum-Operator. In Tab. 2.3 (Spalte 3) wirkt der Minimumoperator auf die UND-Verknüpfung.

Die aggregierten Erfüllungsgrade der einzelnen Prämissen werden über die Implikation (2b) auf die Zugehörigkeitsfunktionen der Ergebnismenge übertragen. Dafür werden Inferenz-Operatoren verwendet, wie bspw. das Algebraische Produkt (die Ergebnismenge wird auf Höhe des Erfüllungsgrades abgeschnitten und auf die Breite bei Erfüllungsgrad $\mu = 1$ verjüngt) oder der Minimum-Operator (die Ergebnismenge wird auf Höhe des Erfüllungsgrades abgeschnitten) (siehe Abb. 2.8). Je nach verwendetem Inferenz-Operator wird die Größe der resultierenden unscharfen Menge beeinflusst, was als Wichtung genutzt werden kann.

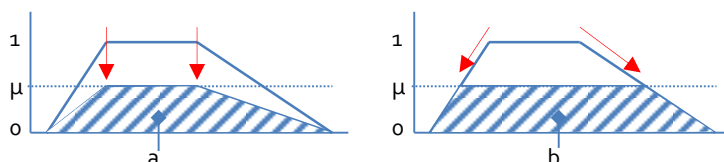


Abb. 2.8 Inferenzoperatoren: links Algebraisches Produkt, rechts Minimum-Operator; hierbei ist die x-Koordinate des Flächenschwerpunkts, mit $a < b$

Der letzte Verarbeitungsschritt des Inferenzmechanismus ist die Akkumulation (2c). Aus den ermittelten Teil-Ergebnismengen (Inferenz) wird ein Gesamtergebnis gebildet, was weiterhin eine unscharfe Menge ist. Erfolgt die Akkumulation aus mehreren Teil-Ergebnismengen ist es wahrscheinlich, dass die Gesamt-Ergebnismenge eine irreguläre Fläche bildet (siehe Abb. 2.11).

An dieser Stelle soll der im Beispiel „Raumtemperaturregelung“ verwendete Inferenzmechanismus zusammengefasst und erläutert werden: für die Aggregation (2a) wird ein Minimum-Operator benutzt, für die Implikation (2b) ein Algebraischer Produkt-Operator sowie für die Akkumulation (2c) der Summen-Operator. Die Aggregation mittels des Minimum-Operators führt dazu, dass der Eingangswert mit dem geringsten Erfüllungsgrad den Erfüllungsgrad der Prämisse (Wenn-Teil) bestimmt (siehe Abb. 2.9).

Die Implikation überträgt den Erfüllungsgrad der Prämisse auf die Konklusion, d. h. auf die durch Regeln identifizierte linguistischen Terme der Ausgangsvariablen. Im Beispiel bewirkt der Algebraische Produkt-Operator eine Veränderung des Flächeninhaltes der Zugehörigkeitsfunktion durch „Verkleinern“ der Dreiecksfunktion auf die Höhe des Erfüllungsgrades der Prämisse der anzuwendenden Regel (siehe Abb. 2.10). Der Summen-Operator der Akkumulation addiert die Erfüllungsgrade der Konklusionen der anzuwendenden Regeln (siehe Abb. 2.11).

(3) Defuzzifizierung

Um aus der durch Inferenz ermittelten unscharfen Ergebnismenge (siehe Abb. 2.11) Schlüsse ziehen zu können, kann diese in einen scharfen Ausgangswert transformiert werden. Die Umwandlung wird als Defuzzifizierung bezeichnet und kann für jede Ausgangsvariable erfolgen. Für die Defuzzifizierung gibt es mathematische Operationen, wie z. B. die Flächenschwerpunktmethod (Center of Gravity, COG), Flächenmittelpunktmethod (Center of Area, COA) oder das erste bzw. letzte Maximum. Im Gegensatz zur COA werden bei COG durch Berücksichtigung der Anzahl anzuwendender Regeln auch überlagerte Teilflächen für die Auswertung berücksichtigt.

Auf das Beispiel der Raumtemperaturregelung bezogen wird zur Ermittlung der Stellgröße des Thermostats (defuzzifizierter Ausgangswert) die COA und zur Ermittlung des Fensterzustandes das erste Maximum eingesetzt. Gerade bei Singletons (wie beim Fensterzustand oder Umfahren eines Hindernisses) können symmetrische Ausgangssets (z. B. bei $\mu_1 = \mu_2$) auftreten, die auf zwei gleichberechtigte Resultate hinweisen. Solche Pattsituationen (das Fenster weder geschlossen noch geöffnet bzw. das Hindernis weder links noch rechts zu umfahren) können umgangen werden, indem eine Ausprägung der Ausgangsvariablen priorisiert wird. Am Beispiel des Fensterzustandes ist dies der geschlossene Zustand bzw. beim Umfahren des Hindernisses z. B. links vorbei.

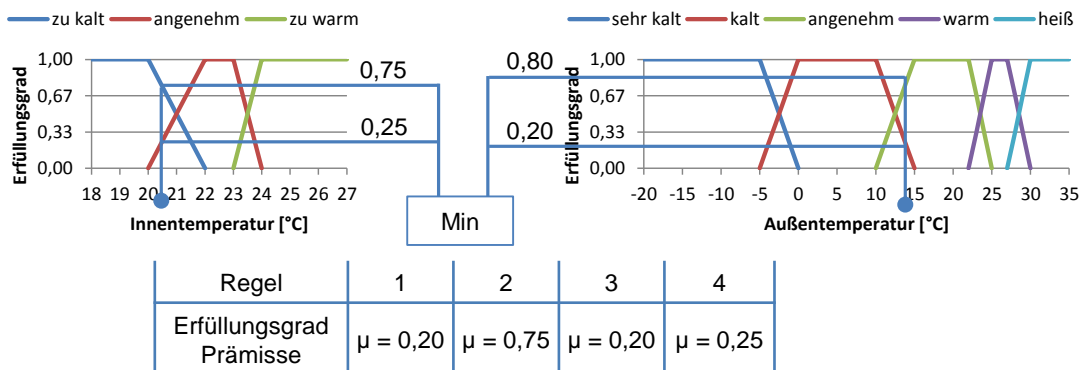


Abb. 2.9 Aggregation der Eingangsvariablen mittels Minimum-Operator und den sich aus den zutreffenden Regeln ergebenden Erfüllungsgraden der Prämissen

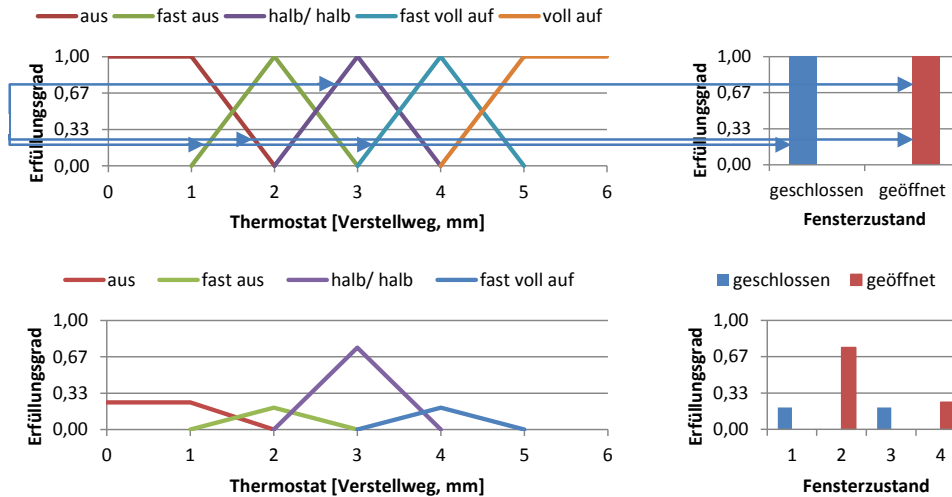


Abb. 2.10 Implikation zur Ermittlung der Erfüllungsgrade der Konklusionen (Algebraisches Produkt-Operator)

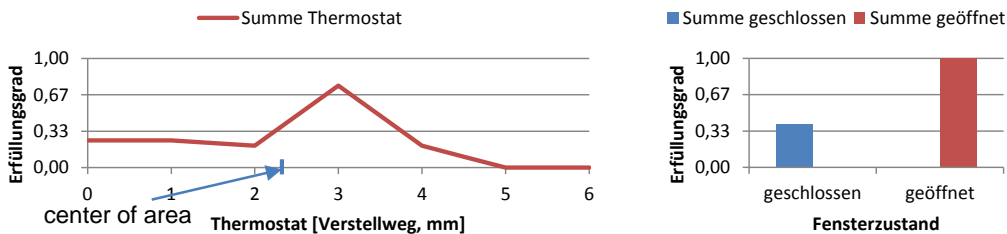


Abb. 2.11 Akkumulation (Summen-Operator) führt bei Ergebnismenge zu irregulärer Fläche (links)

Das Fuzzy-Inferenz-System ermittelt basierend auf den Eingangsvariablen $T_{\text{innen}} = 20,5 \text{ °C}$ und $T_{\text{außen}} = 14 \text{ °C}$ die Ausgangsvariablen Stellgröße des Thermostats mit $\text{Verstellweg} = 2,4 \text{ mm}$ und Fensterzustand = geöffnet. Der Verstellweg des Thermostats von 2,4 mm entspricht „fast aus“ mit einem Erfüllungsgrad von 0,6 und „halb/ halb“ von 0,4.

2.4.3 Schlussfolgerung

Im Planungsprozess der späteren Arbeitsaufgaben und zu verwendenden Arbeitsmittel stehen objektiv und subjektiv unscharfe linguistische Informationen zur Verfügung - bedingt durch iteratives Vorgehen und Interdisziplinarität. Auf Basis der Anforderungen dieser Informationsgrundlage wurde der Herleitung Lunzes (2016, 2010) gefolgt und eine Theorie zur Verarbeitung unscharfer Informationen aus dem Spektrum quantitativer Informationsverarbeitungsmethoden identifiziert: Fuzzy Logik. Die Fuzzy Logik wird eingesetzt, um die zur Verfügung stehenden linguistischen Informationen mathematisch eindeutig beschreiben sowie transparent, nachvollziehbar und reproduzierbar auswerten zu können. Bezogen auf das in Abschnitt 2.3 identifizierte CTL-Modell (Neerinx 1995) kann die diesem zugrundeliegende Modelltheorie direkt und transparent mit der Regelbasis des Fuzzy-Inferenz-Systems beschrieben werden. Das bedeutet auch, dass die eigentliche Beanspruchungsprognose aus der Modelltheorie direkt und nachvollziehbar abgeleitet werden kann. Die konkrete Anwendung der Fuzzy Logik zur Beanspruchungsprognose wird in Unterabschnitt 3.1.4 beschrieben.

2.5 Diskussion des vorgestellten Standes der Wissenschaft und Technik

Das Ziel dieser Arbeit ist die Weiterentwicklung eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung im Arbeitsgebiet „Prozessführung“ in Leitwarten. Im Rahmen dieses Kapitels wurde der Stand der Wissenschaft und Technik zu den für die Zielstellung relevanten Themengebieten dargestellt und Forschungslücken identifiziert. Dafür wurden eingangs die Auswirkungen des Multitaskings beschrieben und in diesem Zusammenhang die Beanspruchungsfolgen aufgezeigt. Es wurden Bewertungskriterien für ein analytisches Prognosemodell abgeleitet. Eine Literaturrecherche identifizierte vier analytische Prognosemodelle, auf die diese Bewertungskriterien angewendet wurden. Das Prognosemodell mit den meisten erfüllten Kriterien wurde einer Detailüberprüfung auf systematische Fehlerquellen und Weiterentwicklungsbedarfe unterzogen (siehe Anhang 4). Abschließend wurden Theorien zur Verarbeitung unscharfer Informationen bewertet.

Die Vielzahl der in der Detailprüfung identifizierten Weiterentwicklungsbedarfe führt nicht zu einem nachträglichen Ausschluss des CTL-Modells. Vielmehr können auf Basis dieser Weiterentwicklungsbedarfe Anforderungen abgeleitet werden, die bei der Überführung des CTL-Modells in ein quantitatives Prognosemodell berücksichtigen müssen:

- zu 1. - Skalieren der Belastungsfaktoren zur Überführung in ein quantitatives Modell.
- Validieren des quantitativen Modells in einer Laborstudie.
- zu 2. - Beschreiben der Beanspruchungsfolge „psychische Sättigung“ mit den drei Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“ sowie Integration der Beanspruchungsfolge in das Modell.
- zu 3. - Differenzieren der Beanspruchungsprognose in „unterfordernd“, „unkritisch“ und „überfordernd“, um die Beanspruchungsfolgen zu berücksichtigen.
- zu 4. - Direktes Aufbauen eines Fuzzy-Logik-Algorithmus auf der Modelltheorie von Neerincx (1995) zur Beanspruchungsprognose und deren Bewertung.
- Implementieren eines Fuzzy-Logik-Algorithmus zur Berechnung und Bewertung der Beanspruchung.
- zu 5. - Ersetzen des Begriffs „optimaler Bereich“ durch „unkritischer Bereich“.
- Empirisches Überprüfen der Übergänge des Bereichs unkritischer Beanspruchung in die Bereiche der negativen Beanspruchungsfolgen in einer Laborstudie.

Für die unter Punkt 1 geforderte Laborstudie wird ein multidimensionaler Ansatz zur Messung der Beanspruchung nach Matthews et al. (2001, 2015) gewählt. Die dafür anzuwendenden Messmethoden werden auf Basis des in Abschnitt 2.2 dargestellten Standes der Wissenschaft und Technik ausgewählt. Unter Berücksichtigung der Kriterien von Eggemeier et al. (1991, siehe Unterabschnittabschnitt 2.2.3) wird folgender multidimensionaler Messansatz zur Bestimmung der Beanspruchung abgeleitet:

- Subjektive Beanspruchung: Bewertungsskala der mentalen Anstrengung (rating scale of mental effort, Zijlstra 1993, siehe Unterabschnitt 4.3.6);
- Objektive Beanspruchung: kardiovaskuläre und okulomotorische Aktivität (siehe Unterabschnitte 4.4.2, 4.5.2 bzw. 4.5.3);

- Leistungsdaten: Reaktionszeiten, Bearbeitungsergebnis, Bearbeitungsdauer (siehe Unterabschnitte 4.5.4 bis 4.5.6) und
- Nutzerzustand als Kontrollvariable: deutsche Kurzform des Dundee Stress State Questionnaire (Langner et al. 2010, siehe Anhang 16), dual-2-back-Test (Arbeitsgedächtnisleistung) und Protokollieren der Umgebungsfaktoren (siehe Unterabschnitt 4.5.7).

Unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Weiterentwicklung des CTL-Modells lassen sich zur Bearbeitung der identifizierten Forschungslücken und der Zielstellung dieser Arbeit folgende vier Forschungsfragen ableiten:

#	Forschungsfrage	Bearbeitung in
1.	Welche negativen Beanspruchungsfolgen lassen sich für Prozessführungsaufgaben identifizieren, und wie können diese für eine quantitative Bewertung der Beanspruchung operationalisiert werden?	Kapitel 3
2.	Wie kann die quantitative Bewertung (aus 1.) automatisiert, transparent und reproduzierbar erfolgen?	Kapitel 3
3.	Lassen sich die Operationalisierung der negativen Beanspruchungsfolgen (aus 1.) und das zur quantitativen Bewertung entstandene Modell (aus 2.) empirisch belegen?	Kapitel 4
4.	Wie kann die subjektive Beanspruchung in die Bewertung (aus 2.) einbezogen werden?	Kapitel 3, 4 und 5

3 Weiterentwicklung und Verifizierung eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung

Im vorherigen Kapitel wurde das Cognitive Task Load Modell (CTL-Modell) zur Verwendung für die Beanspruchungsprognose ermittelt. Basierend auf der Zielstellung dieser Arbeit und der Detailprüfung (siehe Abschnitt 2.5) wurden fünf Weiterentwicklungsbedarfe identifiziert und mit Anforderungen untersetzt. Von diesen können in diesem Kapitel teilweise umgesetzt werden:

- Skalieren der Belastungsfaktoren zur Überführung in ein quantitatives Modell.
- Beschreiben der Beanspruchungsfolge „psychische Sättigung“ mit den Belastungsparametern „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“ sowie Integrieren dieser in das Modell.
- Differenzieren der Beanspruchungsprognose in „unterfordernd“, „unkritisch“ und „überfordernd“, um die Beanspruchungsfolgen zu berücksichtigen.
- Direktes Aufbauen eines Fuzzy-Logik-Algorithmus auf der Modelltheorie von Neerincx (1995) zur Beanspruchungsprognose und deren Bewertung. Implementieren eines Fuzzy-Logik-Algorithmus zur Berechnung und Bewertung der mentalen Beanspruchung.

Das weiterentwickelte CTL-Modell wird anschließend verifiziert. Die Verifizierung ist eine Prüfung, ob festgelegte (An-)Forderungen erfüllt sind (DIN EN ISO 9000:2015). Bezogen auf das weiterentwickelte CTL-Modell wird überprüft, ob die weiterentwickelte Modelltheorie den Anforderungen entspricht, die der Modelltheorie des Originalmodells zu Grunde liegen.

3.1 Weiterentwicklung

Eingangs wird eine Skalierung des originalen (qualitativen) CTL-Modells vorgeschlagen. Um die mathematischen Zusammenhänge im Modell besser sichtbar zu machen, wird darauf aufbauend eine überarbeitete grafische Darstellung des CTL-Modells vorgestellt. Daran anschließend werden die Beanspruchungsfolgen um „psychische Sättigung“ erweitert und mathematisch beschrieben. Auf diesen Grundlagen wird die alternative Berechnung und Bewertung der prognostizierten Beanspruchung mittels Fuzzy Logik vorgestellt.

3.1.1 Skalieren der Belastungsfaktoren

Der Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung des CTL-Modells ist die Skalierung der Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“. Mit der Skalierung wird eine quantitative Prognose der mentalen Beanspruchung ermöglicht.

Für eine Alternative des ursprünglichen CTL-Modells wurde durch Colin et al. (2012) eine Skalierung vorgenommen. Diese soll als Orientierung herangezogen werden. Zur Veranschaulichung der Skalierung wurde folgendes nicht empirisch belegtes, dennoch nachvollziehbares, Beispiel von Colin et al. (2012) aufgeführt: die Beanspruchungsfolge „Überforderung“ wird bei einer Belastung durch „Aufgabensetwechsel“ > 5 , „Ebene der Informationsverarbeitung“ > 2 und „zeitlicher Auslastung“ $> 80\%$ exemplarisch verortet.

Folgende Skalierung der Koordinatenachsen wird im weiterentwickelten Modell verwendet:

- x-Achse (Aufgabensetwechsel): Teilung in mindestens fünf Intervalle, $x_{\max} = 5$
- y-Achse (Ebene der Informationsverarbeitung): Teilung in drei Intervalle, $y_{\max} = 3$
- z-Achse (zeitliche Auslastung): Teilung in fünf Intervalle, $z_{\max} = 1$

3.1.2 Grafische Darstellung

Für eine bessere Visualisierung der modelltheoretischen Zusammenhänge wird das originale CTL-Modell in ein kartesisches Koordinatensystem überführt (siehe Abb. 3.1).

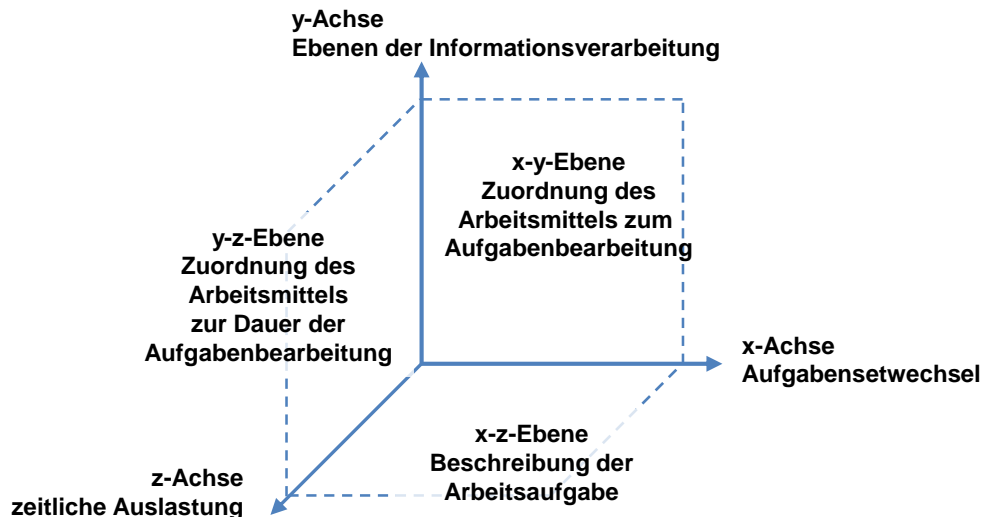


Abb. 3.1 Überführung des CTL-Modells in ein kartesisches Koordinatensystem

Das dreidimensionale Koordinatensystem wird durch die Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebenen der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“ aufgespannt. Wechselwirkungen zwischen den Belastungsfaktoren können im Raum bzw. in der Ebene stattfinden. Die Wechselwirkung im Raum entspricht der mentalen Beanspruchung des Operateurs. Die Wechselwirkungen in der Ebene sind in Abb. 3.1 dargestellt und werden im Folgenden kurz erläutert. In der x-z-Ebene wird die Arbeitsaufgabe anhand der „Aufgabensetwechsel“ und „zeitlichen Auslastung“ beschrieben. Die mit der Ausführung der Arbeitsaufgabe einhergehenden Anforderungen an die Informationsverarbeitung werden bei Prozessführungsaufgaben maßgeblich durch die Arbeitsmittelgestaltung bestimmt. Die Wechselwirkungen zwischen Arbeitsmittel und Arbeitsaufgabe können in der x-y-Ebene (Auswirkungen auf die Aufgabensetwechsel) und y-z-Ebene (Auswirkungen auf die zeitliche Auslastung) sichtbar gemacht werden. Die Darstellung dieser Wechselwirkungen kann einerseits genutzt werden, um die mentale Beanspruchung zu prognostizieren (siehe Unterabschnitt 3.1.4) und andererseits, um Gestaltungshinweise für die Arbeitsaufgabe und die Arbeitsmittel abzuleiten (siehe Kapitel 6).

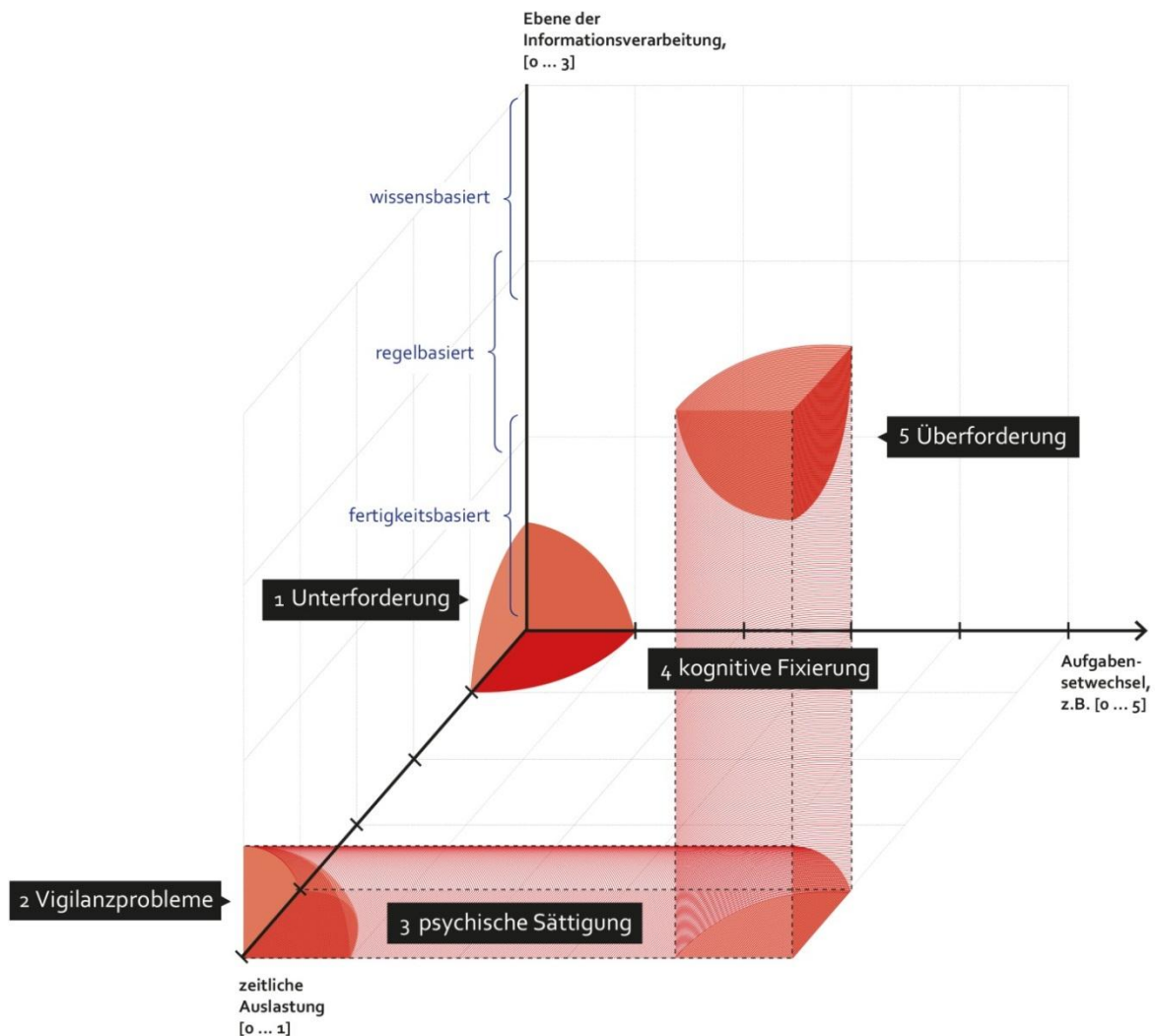


Abb. 3.2 Belastungsraum mit Beanspruchungsfolgen

Ausgehend von Abb. 3.1 werden in Abb. 3.2 die Details zu den Koordinatenachsen und den Beanspruchungsfolgen integriert. Es wird die in Unterabschnitt 3.1.1 vorgestellte Skalierung übernommen. Die Beschriftung an der y-Achse entspricht der sprachlichen Interpretation des Belastungsfaktors „Ebene der Informationsverarbeitung“.

Die Größe der in Abb. 3.2 integrierten Beanspruchungsfolgen ist exemplarisch dargestellt. Es ist das Ziel der Laborstudie (Kapitel 4), die Übergänge des Bereichs unkritischer Beanspruchung in die Bereiche der negativen Beanspruchungsfolgen empirisch zu überprüfen.

Für die im Folgenden vorgenommene mathematische Beschreibung der Beanspruchungsfolgen dient Abb. 3.2 als Referenzdarstellung.

3.1.3 Mathematische Beschreibung der Beanspruchungsfolgen

Zunächst wurde überprüft, ob die in der Normung aufgeführten Beanspruchungsfolgen durch das CTL-Modell abgebildet werden bzw. abgebildet werden können (siehe Anhang 4). Die Weiterentwicklung des CTL-Modells im Vordergrund, wird die von Neerincx (1995, 2003) verwendete Terminologie zur Beschreibung der Beanspruchungsfolgen übernommen: Unterforderung, Vigilanzprobleme (herabgesetzte Wachsamkeit), psychische Sättigung, kognitive Fixierung und Überforderung. Die folgende mathematische Beschreibung ist unter der Voraussetzung gültig, dass an den Grenzen des Belastungsraumes die Belastungsfaktoren ihr Maximum erreichen.

Diese Grenzen sind definiert mit $x_{\max} = 5$, $y_{\max} = 1$ und $z_{\max} = 1$. Die in den folgenden Beschreibungen verwendeten Radien sind hypothetische Werte, die erst in der Laborstudie (Kapitel 4) empirisch überprüft werden.

1. Unterforderung

Unterforderung tritt auf, wenn die mentale Belastung die kognitiven Fähigkeiten unterschreitet. Basierend auf der Modelltheorie wird dieser Risikobereich durch geringe Ausprägungen der drei Belastungsfaktoren charakterisiert. Zur mathematischen Beschreibung dient hierfür ein Kugelsegment in der Größe von 1/8 Kugel mit Mittelpunkt $\vec{M} = [0,0,0]$ (Koordinatenursprung):

Formel 1:
Unterforderung
$$\text{Unterforderung} = [\vec{x}]^2 \leq r^2, \text{ mit } 0 < r \leq 0,2$$

2. Vigilanzprobleme

Herabgesetzte Wachsamkeit gegenüber Veränderungen, auch Vigilanzprobleme genannt, entsteht durch abwechslungsarme Beobachtungstätigkeiten (DIN EN ISO 10075-1:2000). Dieser Bereich wird im Belastungsraum bei geringen Ausprägungen der Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und hoher Ausprägung der „zeitlichen Auslastung“ verortet. Zur mathematischen Beschreibung dient hierfür ebenfalls ein Kugelsegment in der Größe von 1/8 Kugel mit Mittelpunkt $\vec{M} = [0,0,1]$:

Formel 2:
Herabgesetzte Wachsamkeit/ Vigilanzprobleme
$$\text{Vigilanzprobleme} = \left[\vec{x} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right]^2 \leq r^2, \text{ mit } 0 < r \leq 0,2$$

3. Psychische Sättigung

Psychische Sättigung tritt auf als Beanspruchungsfolge bei geringen Anforderungen an die Informationsverarbeitung und hoher „zeitlicher Auslastung“. Da psychische Sättigung auch bei abwechslungsreichen Tätigkeiten auftreten kann, umfasst der Wertebereich des Belastungsfaktors „Aufgabensetwechsel“ geringe bis hohe Ausprägungen. Die Integration im Belastungsraum erfolgt als ein Viertelzylinder mit folgender mathematischer Beschreibung:

Formel 3:
Psychische Sättigung
$$\text{psychische Sättigung} = [\vec{x} - \vec{g}_M]^2 \leq r^2, \text{ mit } 0 < r \leq 0,2$$

und der Mittelpunktsgeraden
$$\vec{g}_M = \begin{bmatrix} 5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \vec{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

4. Kognitive Fixierung

Als kognitive Fixierung wird ein Verhalten bezeichnet, bei dem zur Bearbeitung einer Arbeitsaufgabe ein mentales Modell verwendet wird, das für die Aufgabe nicht adäquat ist. Gleichzeitig werden Hinweise ignoriert, die auf die inadäquate Passung hindeuten (Masson und Cacciabue 1989, zitiert nach Nickel und Nachreiner 2005, S. 44). Dadurch können unter anderem relevante Indizien übersehen bzw. falsch interpretiert oder die Bearbeitungszeit erhöht werden. In Folge dessen kann die Bearbeitung weiterer Aufgaben verzögert werden, was gerade in Gefahrensituationen kritisch zu bewerten ist (Mioch et al. 2010). Auch dieser Risikobereich wird durch einen Viertelzylinder repräsentiert. Hohe Ausprägungen der Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“ und „zeitliche Auslastung“ mit sich verändernden „Ebenen der Informationsverarbeitung“ begründen diese Beschreibung:

Formel 4:
Kognitive Fixierung $kognitive\ Fixierung = [\vec{x} - \vec{g}_M]^2 \leq r^2$, mit $0 < r \leq 0,2$
und der Mittelpunktsgeraden $\vec{g}_M = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \vec{x} + \begin{bmatrix} 5 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

5. Überforderung

Überforderung tritt ein bei hohen Ausprägungen der drei Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitlicher Auslastung“. Zur mathematischen Beschreibung dient hierfür ein Kugelsegment in der Größe von $1/8$ Kugel mit Mittelpunkt $\vec{M} = [5,1,1]$:

Formel 5:
Überforderung $\overforderung = \begin{bmatrix} \vec{x} - 1 \\ 5 \\ 1 \end{bmatrix}^2 \leq r^2$, mit $0 < r \leq 0,2$

3.1.4 Prognose der Beanspruchung mittels Fuzzy Logik

Die vorgeschlagene Alternative zur Prognose der mentalen Beanspruchung bezieht sich auf die Berechnung und Bewertung der zu erwartenden Beanspruchung (siehe Abb. 3.3 Mitte und rechts) und wird im Folgenden überblicksartig dargestellt. Die Belastungsfaktoren werden mittels des Fuzzy-Logik-Schlussfolgerungsalgorithmus kombiniert und in Abhängigkeit ihrer Lage zu den Beanspruchungsfolgen quantitativ bewertet. Diese Vereinfachung der Bewertung auf einer abstrakteren Unterscheidungsebene mit den Beanspruchungsbereichen „unterfordernd“, „unkritisch“ und „überfordernd“ wird zur Verbesserung der Anwendbarkeit als zweckmäßig erachtet. Ergänzend dazu soll die Prognose der mentalen Beanspruchung um die Bewertungsskala für mentale Anstrengung (rating scale of mental effort, RSME (Zijlstra 1993, ins Deutsche übersetzt und validiert von Eilers et al. 1996)) erweitert werden. Die empirischen Daten dazu werden erst in der Laborstudie (Kapitel 4) erhoben und in Abschnitt 5.3 in das Modell integriert. Diese Situation wird im folgenden Unterabschnitt mittels eines Platzhalters angezeigt.

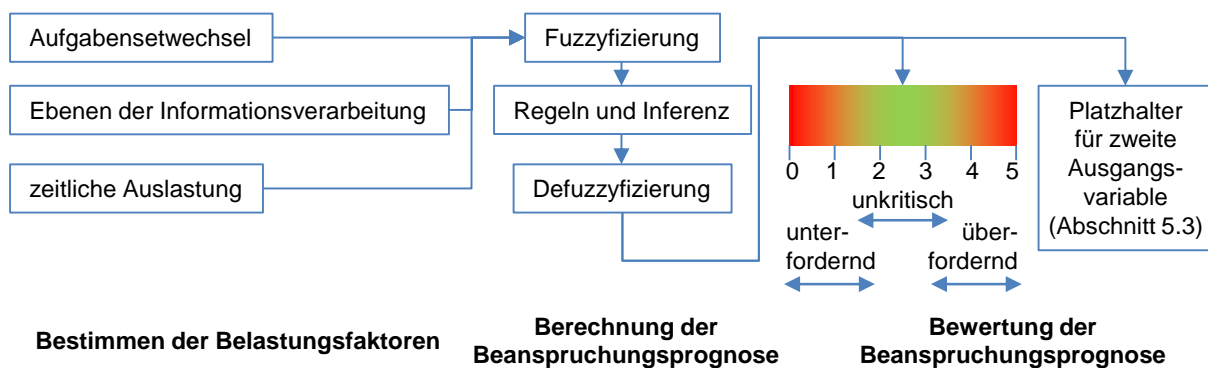
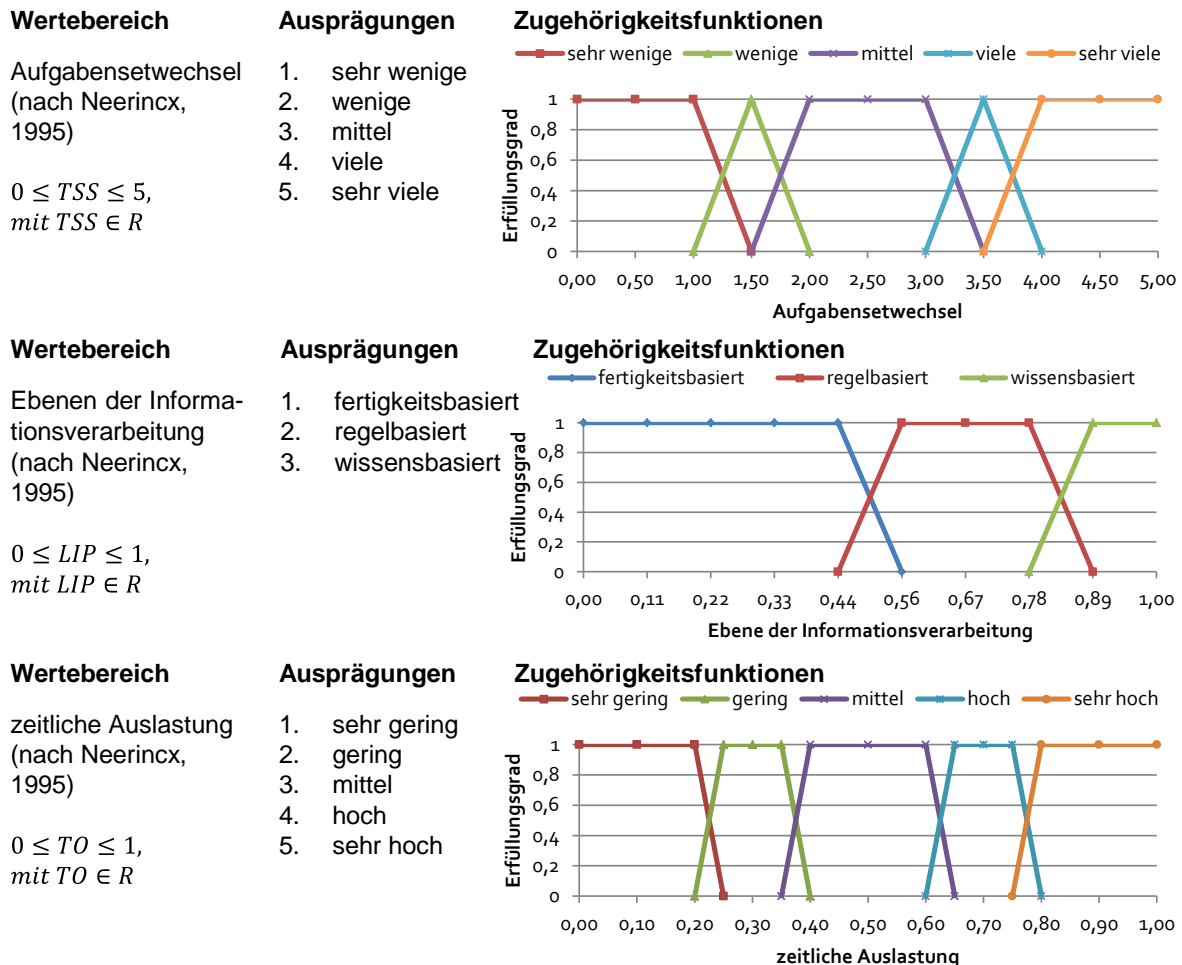


Abb. 3.3 Vorgehen zur Prognose der mentalen Beanspruchung (Berechnung und Bewertung)

Berechnung - Fuzzyfizierung

Die vorgeschlagene Berechnung setzt nach der Bestimmung der Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebenen der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“ an. Als Eingangswerte der Belastungsfaktoren stehen entweder sprachliche (linguistische) Beschreibungen, wie z. B. zeitliche Auslastung $TO = sehr\ gering$ oder scharfe Werte, z. B. $TO = 0,625 = 63\%$, zur Verfügung. Zur Fuzzyfizierung der Ein-

und Ausgangsvariablen werden Wertebereiche, Ausprägungen (linguistische Terme) und Zugehörigkeitsfunktionen benötigt (siehe Anhang 5):



Berechnung - Regeln und Inferenz

Nach der Fuzzyifizierung der Ein- und Ausgangsvariablen können diese mittels Regelbasis und Inferenzmechanismus miteinander verrechnet werden (siehe Abb. 3.5). Bezogen auf die drei Belastungsfaktoren mit den jeweiligen linguistischen Termen umfasst die Regelbasis zur Prognose der Beanspruchung $\prod_{i=1}^n \text{Ausprägungen}_i = 5 \times 3 \times 5 = 75$ Regeln, mit $i = \text{Belastungsfaktor}$ und $n = \text{Anzahl der Belastungsfaktoren}$. Eine Anforderung an die Weiterentwicklung des CTL-Modells ist die unmittelbare Verknüpfung der Beanspruchungsprognose mit der Modelltheorie des originalen CTL-Modells. Um die Modelltheorie vollständig abzubilden, wurde die Regelbasis (75 Regeln) um weitere 13 Regeln ergänzt und umfasst somit insgesamt 88 Regeln. Ein Überblick über alle Regeln wird in Abb. 3.4 gegeben. Die Darstellung zeigt linksseitig den Belastungsraum mit den Beanspruchungsfolgen (analog zu Abb. 3.2). Demgegenüber sind rechtsseitig die Konklusionen der Regeln, also die prognostizierte Beanspruchung, dargestellt. Die drei dargestellten Schnittebenen entsprechen den Ebenen der Informationsverarbeitung. Die jeweilige Ausprägung der Zugehörigkeitsfunktion ($LIP_{\text{fertigkeitsbasiert}} = 0,33$; $LIP_{\text{regelbasiert}} = 0,67$; $LIP_{\text{wissensbasiert}} = 1,00$) besitzt hierbei einen Erfüllungsgrad $\mu = 1$. Das im rechten Teil der Abbildung dargestellte Oberflächenprofil gibt die prognostizierte Beanspruchung im Wertebereich [1...5] wider (siehe Absatz „Berechnung - Fuzzyifizierung“). Folgende Farbkodierung wird für die unterschiedlichen Beanspruchungsniveaus verwendet:

- unterfordernd: Dunkelblau / Rot;
- unkritisch: Rot / Grün / Lila und
- überfordernd: Lila / Hellblau.

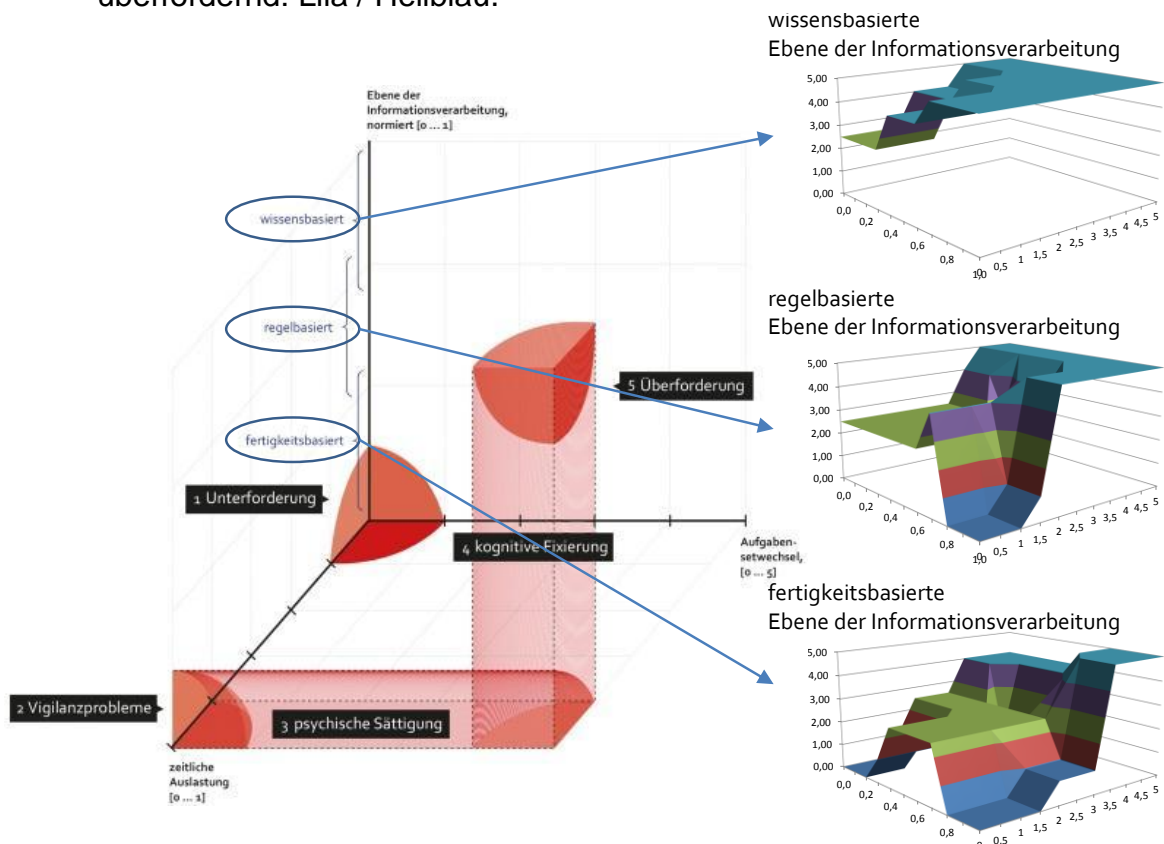


Abb. 3.4 Grafische Darstellung der Regelbasis des fuzzyCTL-Modells

Der Inferenzmechanismus verwendet den Minimum-Operator jeweils zur Aggregation (Ermitteln der Erfüllungsgrade der Prämissen) und Implikation (Übertragen der Erfüllungsgrade der Prämisse auf die Konklusion)¹⁷ bzw. den Maximum-Operator zur Akkumulation (Zusammenführen der Erfüllungsgrade der Konklusion). Mit dieser sogenannten Max-Min-Inferenz wird eine etablierte, vom Berechnungsaufwand günstige sowie konservative Ergebnisprognose gewährleistet (z. B. Watanabe et al. 1996, Montazer et al. 2009). Nach Zadeh (1965) kommt die Max-Min-Inferenz dem Expertenverständnis und -vorgehen sehr nahe bzw. führt zu erwartungskonformen Ergebnissen.

¹⁷ Für eine Darstellung der Wirkweise des Minimum-Operators zur Implikation siehe Abb. 2.8 (Seite 33).

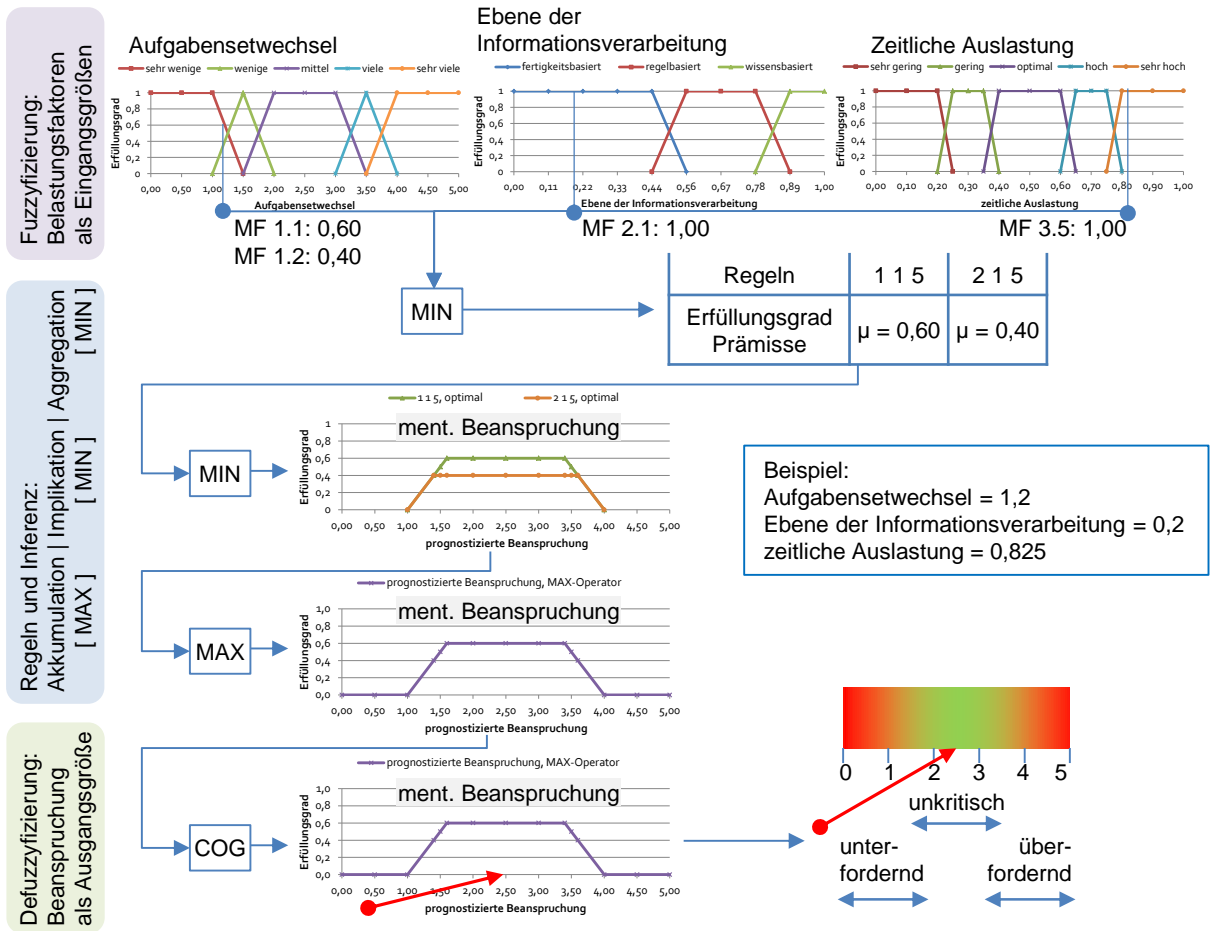


Abb. 3.5 Funktionsweise des Inferenzmechanismus

Berechnung - Defuzzifizierung

Das Ergebnis der Inferenz ist wiederum eine unscharfe Menge, die zur Interpretation durch einen scharfen Wert (x-Koordinate) charakterisiert werden kann (siehe Anhang 6):

Wertebereich

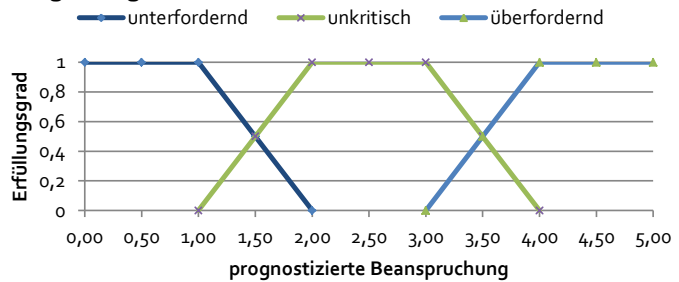
prognostizierte Beanspruchung (CTL)

$$0 \leq CTL_{prog} \leq 5, \text{ mit } CTL_{prog} \in R$$

Ausprägungen

1. unterfordernd
2. unkritisch
3. überfordernd

Zugehörigkeitsfunktionen



Zur Defuzzifizierung wird die Flächenschwerpunktmethod (Center of Gravity, COG) herangezogen (siehe Formel 6):

Formel 6:

Ermittlung der x-Koordinate des Flächenschwerpunkts nach (Kahlert und Frank 1993): links exakt und rechts als Näherung

$$S_x = \frac{\int_a^b x \cdot f(x) dx}{\int_a^b f(x) dx} \triangleq \frac{\sum_{i=1}^m X_{Si} \times \mu_i}{\sum_{i=1}^m \mu_i} \text{ im Intervall } [a, b], \text{ mit } X_{Si} \text{ als x-Koordinate des Flächenschwerpunktes der Teilfläche } i, \mu_i \text{ als Höhe (Erfüllungsgrad) der Teilfläche } i \text{ und } m \text{ die Anzahl der Teilflächen } i$$

Die Funktionsweise wird an einem hypothetischen Beispiel veranschaulicht (siehe Abb. 3.5). Die Eingangsgrößen betragen für „Aufgabensetwechsel“ $TSS = 1,2$, „Ebene der Informationsverarbeitung“ $LIP = 0,2$ und für „zeitliche Auslastung“ $TO = 0,825$. Die prognostizierte Beanspruchung beträgt $CTL_{prog} = 2,50$ (roter Pfeil). Um die prognostizierte Beanspruchung interpretieren zu können, wird abschließend eine Bewertung vorgenommen.

Bewertung

Der prognostizierte Beanspruchungswert wird zur Bewertung auf eine fünfstufige Likert-Skala übertragen (siehe Abb. 3.3). Auf dieser Skala werden drei Beanspruchungsbereiche unterschieden: Unterforderung, unkritische Beanspruchung und Überforderung. Die Defuzzyfizierung ergab eine Beanspruchungsprognose von $CTL_{prog} = 2,50$, was mit „unkritisch“ bewertet wird. Wird der Erfüllungsgrad für die jeweilige Ausprägung benötigt, muss der linguistische Term der Ausgangsvariablen (Beanspruchungsprognose) herangezogen werden. Für die hypothetische Beanspruchungsprognose von $CTL_{prog} = 2,50$ ergibt sich, dass der linguistische Term „unkritische Beanspruchung“ mit $\mu = 1,00$ zutrifft.

Das somit weiterentwickelte CTL-Modell wird im Folgenden als fuzzy Cognitive Task Load Modell, kurz fuzzyCTL-Modell bezeichnet.

3.1.5 Implementierung

Das fuzzyCTL-Modell wurde in GNU OCTAVE, Version 3.6.2, implementiert. Es wurde das Skriptpaket „fuzzy-logic-toolkit“ (Version 0.4.2) verwendet.

3.2 Verifizierung

Im vorherigen Abschnitt wurde die Weiterentwicklung zum fuzzyCTL-Modell beschrieben. Es soll nun im Rahmen der Verifizierung überprüft werden, ob

- die Weiterentwicklung den gestellten Anforderungen (Vorgaben aus der Bewertung des Originalmodells und der Zielsetzung) entspricht (Unterabschnitt 3.2.1) und
- wie stark die Modelltheorie des fuzzyCTL-Modells mit der Modelltheorie des Originalmodells zusammenhängt (Unterabschnitt 3.2.2).

3.2.1 Erfüllung der Anforderungen an die Weiterentwicklung des fuzzyCTL-Modells

Für den derzeitigen Entwicklungsstand des Modells wurden folgende Anforderungen (aus Abschnitt 2.5) im Sinne von Überprüfungs-kriterien relevant:

- Skalieren der Belastungsfaktoren zur Überführung in ein quantitatives Modell.
- Beschreiben der Beanspruchungsfolge „psychische Sättigung“ mit den Belastungsparametern „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“ sowie Integrieren dieser in das Modell.
- Differenzieren der Beanspruchungsprognose in „unterfordernd“, „unkritisch“ und „überfordernd“, um die Beanspruchungsfolgen zu berücksichtigen.
- Implementieren eines Fuzzy-Logik-Algorithmus zur Berechnung und Bewertung der mentalen Beanspruchung.
- Ersetzen des Begriffs „optimaler Bereich“ durch „unkritischer Bereich“.

Für die Belastungsfaktoren wurde eine Skalierung vorgeschlagen. Die negativen Beanspruchungsfolgen, so auch „psychische Sättigung“, wurden im fuzzyCTL-Modell als Risikobereichen integriert. Die Weiterentwicklung erfolgte auf Basis eines Fuzzy-Inferenz-Systems. Im Fuzzy-Inferenz-System sind die negativen Beanspruchungsfol-

gen in den korrespondierenden Regeln konklusionsseitig hinterlegt. Die Bewertung des Berechnungsergebnisses erfolgt dann auf „unterfordernd“, „unkritisch“ oder „überfordernd“. Liegt bspw. eine prognostizierte Beanspruchung im Bereich der Unterforderung, wird das in der Bewertung auch als solche angezeigt. Wird eine Beanspruchung im Bereich der kognitiven Fixierung prognostiziert, wird die Bewertung eine Überforderung ergeben. Der Begriff „optimal“ wurde durch „unkritisch“ ersetzt. Damit werden alle Überprüfungskriterien erfüllt. Das fuzzyCTL-Modell entspricht den Anforderungen.

3.2.2 Vergleich beider Modelltheorien

Der zweite Teil der Verifizierung umfasst den Vergleich der den beiden Modellen zu Grunde liegenden Modelltheorien. Sind die Modelltheorien vergleichbar, kann erwartet werden, dass die Modelle signifikant und hoch miteinander in Zusammenhang stehen.

An dieser Stelle wird der für die Verifizierung relevante Vergleich der Modelltheorien aus Jeschke et al. (2014) zitiert¹⁸:

Tab. 3.1 Übersicht über Modellvergleich und modellspezifische Prognoseleistung (Spearman-Koeffizienten)

	subjektive Beanspruchung vs. Originalmodell	subjektive Beanspruchung vs. fuzzyCTL-Modell	Originalmodell vs. fuzzyCTL-Modell
r	.39**	.41**	.86**
r ²	16 %	16 %	75 %

** $p \leq .001$ (Korrelation ist signifikant unterschiedlich von Null mit $\alpha = 0,1\%$, zweiseitige Verteilung)

Aus Tab. 3.1 (zweite Spalte) wird ersichtlich, dass das Originalmodell eine signifikante Prognoseleistung von mittlerer Effektstärke aufwies. Gleiches kann für das fuzzyCTL-Modell festgehalten werden - mit einem geringfügig höheren Zusammenhangsmaß (dritte Spalte). Bezogen auf den Vergleich zwischen beiden Modellen (vierte Spalte) wurde ein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen, $r_s = .86$, $p \leq .001$. Damit konnten ca. 75 % der aufgetretenen Varianz aufgeklärt werden.

Auf Basis dieser Berechnungen kann geschlussfolgert werden, dass dem fuzzyCTL-Modell eine dem Originalmodell vergleichbare Modelltheorie zu Grunde liegt.

3.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das fuzzyCTL-Modell vorgestellt. Die Weiterentwicklung umfasste folgende Punkte:

- Skalieren der Belastungsfaktoren;
- Beschreiben der Beanspruchungsfolge „psychische Sättigung“;
- Implementieren eines Fuzzy-Logik-Algorithmus;
- Ersetzen des Begriffs „optimaler Bereich“ durch „unkritischer Bereich“ und
- Differenzieren der Beanspruchungsprognose in „unterfordernd“, „unkritisch“ und „überfordernd“.

Um die Beanspruchungsfolgen in das Modell integrieren zu können, wurden sie zunächst mathematisch aufbereitet. Daran anschließend wurde der Fuzzy-Logik-Berechnungsalgorithmus zur Beanspruchungsprognose vorgestellt. Das Berech-

¹⁸ Die Ergebnisse des Modellvergleichs wurden in Jeschke et al. (2014) bereits umfassend veröffentlicht. Für die Beschreibung des Erhebungssettings, der Datengrundlage und -aufbereitung und weiterer Ergebnisse wird auf diese Publikation verwiesen.

nungsergebnis wurde auf einer dreistufigen Likert-Skala auf „unterfordernd“, „unkritisch“ oder „überfordernd“ bewertet.

Außerdem wurde das fuzzyCTL-Modell verifiziert. Dabei wurde überprüft, ob es (1) den gestellten Anforderungen gerecht wird, und ob es (2) auf eine dem Originalmodell vergleichbare Modelltheorie aufbaut. Das fuzzyCTL-Modell erfüllte alle Anforderungen und der Modellvergleich zwischen fuzzyCTL- und Originalmodell ergab einen signifikanten Zusammenhang ($r_S = .86$, $p < .001$).

Zur Bearbeitung der Zielstellung dieser Arbeit und der identifizierten Forschungslücken wurden folgende Forschungsfragen in Abschnitt 2.5 abgeleitet:

#	Forschungsfrage	Bearbeitung in
1.	Welche negativen Beanspruchungsfolgen lassen sich für Prozessführungsaufgaben identifizieren, und wie können diese für eine quantitative Bewertung der Beanspruchung operationalisiert werden?	Kapitel 3
2.	Wie kann die quantitative Bewertung (aus 1.) automatisiert, transparent und reproduzierbar erfolgen?	Kapitel 3
3.	Lassen sich die Operationalisierung der negativen Beanspruchungsfolgen (aus 1.) und das zur quantitativen Bewertung entstandene Modell (aus 2.) empirisch belegen?	Kapitel 4
4.	Wie kann die subjektive Beanspruchung in die Bewertung (aus 2.) einbezogen werden?	Kapitel 3, 4 und 5

Aufbauend auf dem derzeitigen Entwicklungsstand des fuzzyCTL-Modells (Weiterentwicklung und Verifizierung des Prognosemodells) konnten die Forschungsfragen 1 und 2 vollständig sowie Forschungsfrage 4 teilweise beantwortet werden:

- zu 1. Nach DIN EN ISO 10075 Teil 1:2000 und Teil 2:2000 können als negative Beanspruchungsfolgen identifiziert werden: Unterforderung, Vigilanzprobleme, psychische Sättigung, kognitive Fixierung und Überforderung. Um eine quantitative Bewertung der Beanspruchung vornehmen zu können, wurden die Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“ in Anlehnung an Colin et al. (2012) skaliert. Anhand der in Unterabschnitt 3.1.3 vorgenommenen mathematischen Beschreibung der negativen Beanspruchungsfolgen sowie der in Unterabschnitt 3.1.4 und Anhang 7 eingeführten Regelbasis des Fuzzy-Inferenz-Systems können diese Beanspruchungsfolgen zur Bewertung der Beanspruchung operationalisiert werden.
- zu 2. Eine automatisierte, transparente und reproduzierbare Berechnung und Bewertung der prognostizierten Beanspruchung erfolgt durch ein Fuzzy-Inferenz-System (siehe Unterabschnitt 3.1.4 und Anhänge 5 bis 7)
- zu 4. Das aus der Modelltheorie abgeleitete Fuzzy-Inferenz-System (siehe Unterabschnitt 3.1.4) kann um weitere Ausgangsvariablen erweitert werden, wie z. B. die subjektive Beanspruchung (siehe Abschnitt 5.3). Die dafür notwendigen Grundlagen liegen erst nach Auswertung der Validierungsstudie (Kapitel 4) vor.

Die verbleibenden Forschungsfragen werden in den folgenden Kapiteln adressiert.

4 Validierung des fuzzyCTL-Modells

In Kapitel 3 wurde die Weiterentwicklung des Cognitive Task Load Modells (CTL-Modell) zum fuzzyCTL-Modell vorgestellt. Ein Schwerpunkt in der Weiterentwicklung war die Überführung des qualitativen Originalmodells von Neerincx (1995, 2003) in ein quantitatives Modell zur Prognose der mentalen Beanspruchung. In diesem Kapitel steht nun die Validierung des fuzzyCTL-Modells im Mittelpunkt. Die Validierung ist eine Prüfung, ob die besonderen Anforderungen für eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt sind (DIN EN ISO 9000:2015). Die beabsichtigte Anwendung des fuzzyCTL-Modells ist die analytische Beanspruchungsprognose bei Prozessführungsaufgaben in Leitwarten. Somit ist die Genauigkeit der Beanspruchungsprognose, d. h. die Prognosegüte, des fuzzyCTL-Modells Gegenstand der Überprüfung.

Der Aufbau des Kapitels orientiert sich am Ablauf der Überprüfung: Definieren der Zielstellung, Operationalisieren der unabhängigen Variablen, Untersuchungsdesign, Durchführung und Auswertung. Aufbauend auf den Ergebnissen der Überprüfung werden im nächsten Kapitel eine Optimierung und Erweiterung des fuzzyCTL-Modells vorgenommen.

4.1 Zielstellung

Wie einführend beschrieben wurde, ist die Prognosegüte des fuzzyCTL-Modells Gegenstand der Überprüfung (Validierung). Daraus lassen sich folgende zwei Ziele identifizieren:

1. der Vergleich von mit dem fuzzyCTL-Modell prognostizierten Beanspruchungen mit real ermittelten Beanspruchungen auf Basis anwendungskontextspezifischer, standardisierter Belastungen sowie
2. die Überprüfung der Übergänge des Bereichs unkritischer Beanspruchung in die Bereiche der negativen Beanspruchungsfolgen.

Wie eingangs erläutert, erfolgt eine Validierung für eine spezifische beabsichtigte Anwendung. Dieser spezifische Anwendungskontext ist für das fuzzyCTL-Modell Multitasking bei Prozessführungsaufgaben in Leitwarten. Um die Besonderheiten des Anwendungskontextes (siehe Abschnitt 2.1) angemessen berücksichtigen zu können, wurde für die Gestaltung der Versuchsaufgaben auf die abstrakten Tätigkeiten des Multitasking-Frameworks¹⁹ (Wetherell und Carter 2014) zurückgegriffen. Der spezifische Aufgabenbezug wurde dadurch erreicht, dass die abstrakten Aufgaben auf das exemplarische Arbeitsgebiet „Verkehrsführung“ übertragen wurden. Die Verkehrsführung bestand hier in der Überwachung, Bedienung und Diagnose von z. B. Störungen einer Schiffsschleuse. Schiffsschleusen sind Bauwerke an staugeregelten Wasserstraßen zur Überwindung einer Fallstufe, d. h. zur Überwindung unterschiedlicher Wasserspiegel durch Füllen oder Leeren der Schleusenkammer (DIN 4054:1977). Es wurde diese Art der Prozessführungsaufgabe ausgewählt, da sie auf einfach nachzuvollziehenden physikalischen Grundprinzipien beruht und über entsprechend aufbereitete grafische Benutzungsschnittstellen im Laborkontext schnell zu erlernen war. Ergänzend dazu rundeten Zusatzaufgaben wie Zugangskontrolle, administrative Aufgaben oder Instandhaltungskoordination das einer Prozessführung ähnliche Aufgabenspektrum ab. Dieses Aufgabenspektrum wurde aus der in Ab-

¹⁹ Das Multitasking Framework umfasst parallel zu bearbeitende kontinuierliche Aufgaben und zeitlich begrenzte Aufgaben, die zufällig dargeboten werden. Zu den Aufgaben gehören die Überwachung von visuellen und akustischen Informationen, Bearbeiten von Mathematikaufgaben sowie das Selektieren von, Reagieren auf und Ignorieren von Störreizen.

schnitt 3.2 zitierten Feldstudie (Jeschke et al. 2014) abgeleitet. Vergleichbare Aufgabenspektren und Arbeitsmittel wurden z. B. von Bröhl et al. (2012) oder Schulze-Kissing und Eißfeldt (2015) berichtet.

Um Belastungen standardisiert darbieten zu können, eignen sich Laborversuche. Im Vergleich zu Feldversuchen können in Laborversuchen relevante Einflussgrößen systematisch variiert bzw. kontrolliert werden.

4.2 Operationalisieren des fuzzyCTL-Modells für den Laborversuch

Zur Ermittlung der Prognosegüte und der Abgrenzung der Beanspruchungsfolgen wurden Überprüfungspunkte anhand folgender Bedingungen abgeleitet:

1. Extremwerte der Belastungsfaktoren (Aufgabensetwechsel, Ebene der Informationsverarbeitung und zeitliche Auslastung) sowie
2. theoretisch vorhergesagte Position der Übergänge des Bereichs unkritischer Beanspruchung in die Bereiche der negativen Beanspruchungsfolgen.

Die Überprüfungspunkte konnten im dreidimensionalen Belastungsraum des fuzzyCTL-Modells visualisiert werden (siehe Abb. 4.1). Dafür wurde auf drei Schnittebenen ein fünfmal fünfstufiges Raster eingebettet. Die Schnittebenen orientierten sich an den drei Ebenen der Informationsverarbeitung (siehe Absatz „Berechnung - Regelbasis und Inferenzmechanismus“ in Unterabschnitt 3.1.4). Das fünfmal fünfstufige Raster ergab sich aus der Unterteilung Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“ und „zeitliche Auslastung“ in fünf Stufen. Auf Basis der eingangs zu diesem Abschnitt formulierten Bedingungen konnten nun die 41 Überprüfungspunkte abgeleitet werden (siehe Abb. 4.1, rechte Seite (Draufsicht)).

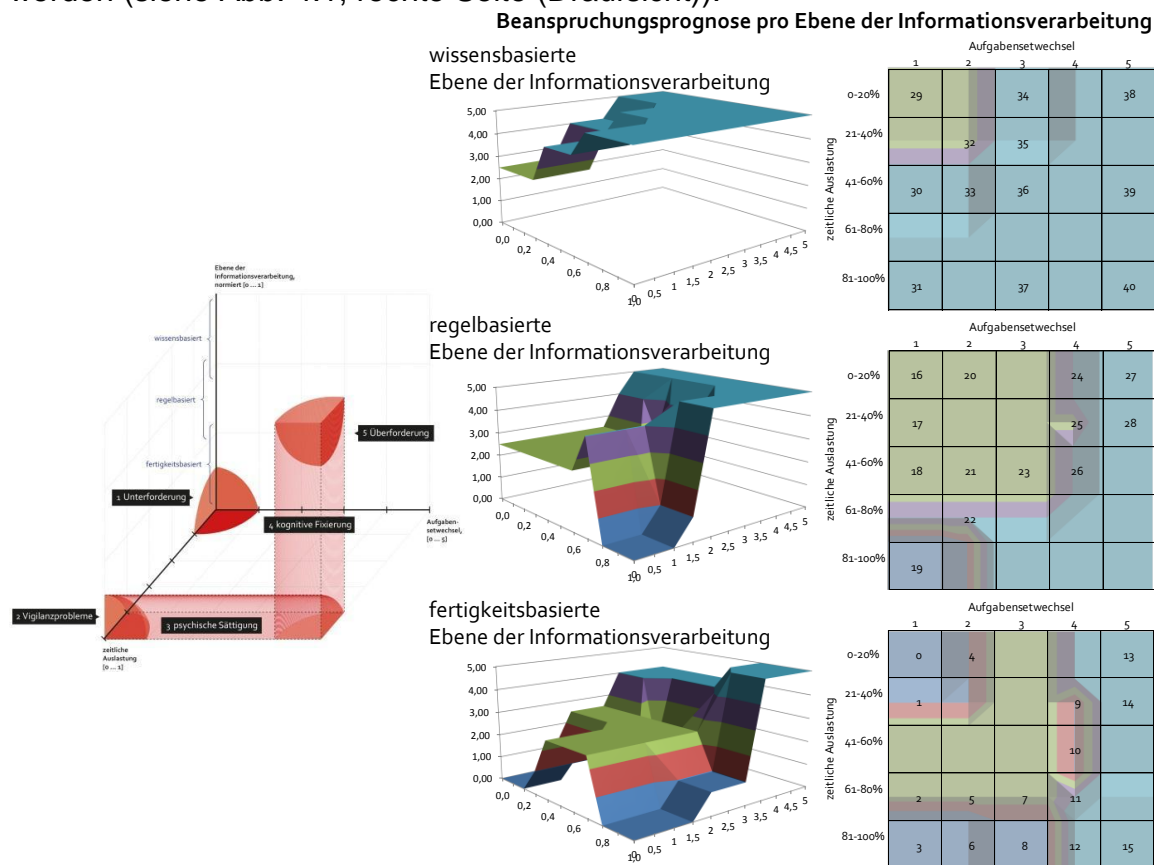


Abb. 4.1 Dreidimensionaler Belastungsraum (links) mit Schnittebenen zur Ableitung der Überprüfungspunkte (Beanspruchungsprognose: perspektivisch (Mitte) und Draufsicht mit Überprüfungspunkten (rechts))

Farbverwendung: Dunkelblau/ Rot: unterfordernd | Rot/ Grün/ Lila: unkritisch | Lila/ Hellblau: überfordernd

Die in Abb. 4.1 visualisierten Überprüfungspunkte mit ihren spezifischen Belastungen bildeten den Ausgangspunkt für die Ableitung der Versuchsaufgaben. Jedem Überprüfungspunkt wurde im späteren Versuch eine spezifische Versuchsaufgabe zugeschrieben. Jede Versuchsaufgabe und die damit induzierte Belastung war einzigartig. Eine Versuchsaufgabe konnte anhand ihrer Lage, im engeren Sinne Belastung, im dreidimensionalen Belastungsraum eindeutig beschrieben werden.

Die nächsten Unterabschnitte erläutern im Detail, wie die Belastungsfaktoren auf Basis der Anforderungen aus der Theorie für die Laborversuche aufbereitet wurden.

4.2.1 Belastungsfaktor „Ebene der Informationsverarbeitung“

Die für diesen Belastungsfaktor zu Grunde liegende Theorie beschreibt drei Ebenen der Informationsverarbeitung (LIP): Ebene 1: fertigkeitsbasiert, als „reflexartiges“ Handeln, Ebene 2: regelbasiert, als durch Wenn-Dann-Beziehungen geleitetes Handeln und Ebene 3: wissensbasiert, als durch Lösen unbekannter Probleme charakterisiertes Handeln.

Für den Versuch wurden diese drei Ebenen als Schnittebenen im dreidimensionalen Belastungsraum eingeführt. Aufbauend auf der Diskussion um die zeitliche Abhängigkeit von LIP (siehe Anhang 5) wurde für die Gestaltung der Versuchsaufgaben die von der zeitlichen Auslastung bereinigte LIP verwendet - mit folgendem Wertebereich: $LIP \in R^{>0}$, mit $0 < LIP \leq 1$.

Eine Schnittebene diene gleichzeitig als oberste Organisationsstufe für die Ableitung der Versuchsaufgaben. An einem Beispiel verdeutlicht heißt das, dass alle Versuchsaufgaben der zweiten Schnittebene (entspricht regelbasierter Informationsverarbeitung) mittels Wenn-Dann-Beziehungen erfüllt werden können mussten: „Wenn der Listeneintrag älter als 45 Tage ist, dann diesen Listeneintrag ‚Rot‘ markieren“.

4.2.2 Belastungsfaktor „Aufgabensetwechsel“

Multitasking ist dadurch charakterisiert, dass zwei oder mehr Aufgaben „parallel“ bearbeitet werden. Das zieht nach sich, dass die Aufgaben wechselseitig bearbeitet werden und sich somit gegenseitig unterbrechen. Der Belastungsfaktor „Aufgabensetwechsel“ (TSS) erfasst bei solchen Wechseln das Verhältnis zwischen Informationen, die im Arbeitsgedächtnis aufgabenabhängig ausgetauscht werden, zur für die Aufgaben benötigten Gesamtinformation. Die Informationen werden dazu z. B. in aufgabeninhaltlichen, arbeitsmittel- oder umgebungsbezogenen Informationsblöcken (information domains, IDs) strukturiert. Bei sehr unterschiedlichen Aufgaben werden viele IDs pro Aufgabenwechsel ausgetauscht. Das Verhältnis zwischen ausgetauschten und gesamten IDs strebt in solchen Fällen (hohe Belastung pro Wechsel) gegen eins. Bei mehreren Wechseln werden die Verhältnisse summiert. Für die Laborversuche galt: $TSS \in R^{>0}$, mit $0 < TSS \leq 5$.

Um alle Versuchsaufgaben in allen drei Ebenen zu beschreiben, wurden folgende IDs verwendet:

ID 01: GUI-Schleuse (Schleuse, Verkehrstagebuch)	ID 06: Dokument
ID 02: Prozesszeitpunkt	ID 07: Statistikvorlage
ID 03: mentales Modell der Schleuse	ID 08: Aktualisierungstabelle
ID 04: Schiff (Ankunft, Abfahrt)	ID 09: Prozessunterlagen
ID 05: Instandhaltungsauftrag	ID 10: Zugangsberechtigungen

Das in Tab. 4.1 dargestellte Beispiel zeigt, wie eine Versuchsaufgabe mittels IDs beschrieben wird, und die sich durch den effizientesten Versuchsablauf ergebenden

TSS. Das Beispiel greift die oben beschriebene Wenn-Dann-Beziehung auf und beschreibt eine Versuchsaufgabe, in der zusätzlich zur Prozessführung Listeneinträge mit einem Datumswert verglichen und entsprechend markiert oder nicht markiert werden sollten.

Es ist zu beachten, dass das wiederholte Wechseln zwischen Zusatzaufgabe und Prozessüberwachung nicht zu einer Erhöhung des Belastungsfaktors „Aufgabensetwechsel“ beitrug (Colin 2013). In den Vorversuchen wurde deutlich, dass die Versuchspersonen häufig zwischen Zusatz- und Prozessüberwachungsaufgabe wechseln. Die Rückmeldung der Versuchspersonen, dass dies aufgrund der Gestaltung der Prozessüberwachungsaufgabe nicht mit einer Belastung des Arbeitsgedächtnisses einhergeht, führte schließlich zu einer einmaligen Veranschlagung (siehe Tabellenzeile 7 „Prozessüberwachung“, TSS = 1,00).

Tab. 4.1 Beschreibung einer Versuchsaufgabe anhand der Aufgabenschritte und Informationsblöcke (IDs) mit Berechnung der Aufgabensetwechsel (TSS) | *Für alle Aufgabenschritte beträgt LIP = 2.

Aufgabenschritte*	Informationsblöcke (IDs)								
	GUI Schleuse	Prozesszeitpunkt	mental. Modell der Schleuse	Schiff	Aktualisierung	Prozessunterlagen	auszutauschende IDs	alle IDs	TSS
Schleusungsanmeldung eines Schiffes	x	x	0	x	0	0			0,00
Tor öffnen	x	x	0	0	0	0	1	3	0,33
Einfahrt Grün	x	x	0	0	0	0	0	2	0,00
Tor schließen und Schleusung startet automatisch	x	x	0	0	0	0	0	2	0,00
Zusatzaufgabe Teil 1: Datum vergleichen	0	0	0	0	0	0	3	3	1,00
Zusatzaufgabe Teil 2: Markieren der entsprechenden Zellen	0	0	0	0	0	x	1	2	0,50
Prozessüberwachung	0	0	0	0	0	x	4	4	1,00
Tor öffnen	x	x	0	0	x	x	0	2	0,00
Ausfahrt Grün	x	x	0	0	0	0	0	2	0,00
Tor schließen	x	x	0	0	0	0	0	2	0,00
Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	x	x	0	x	0	0	1	3	0,33
Summe TSS									3,17

4.2.3 Belastungsfaktor „zeitliche Auslastung“

Als letzter Belastungsfaktor wird die zeitliche Auslastung (TO) benötigt, um eine Versuchsaufgabe eindeutig im Belastungsraum zu beschreiben. Die zeitliche Auslastung beschreibt das Verhältnis der für die Aufgabenbearbeitung benötigten Zeitspanne zu der gesamt zur Verfügung stehenden Zeitspanne. Es gilt $TO \in R^{>0}$, mit $0 < TO \leq 1$. Die für die Bearbeitung der Versuchsaufgaben zur Verfügung stehende Zeitspanne

betrug 240 sek. Die Operationalisierung für die Laborversuche berücksichtigte folgende Überlegungen:

Jeder Bearbeitungsschritt einer Versuchsaufgabe wurde mit einer in den Vorversuchen überprüften Bearbeitungsdauer beschrieben. Die Bearbeitungsschritte ergaben durch LIP und TSS eine Abfolge (Versuchsaufgabe). Bedingt durch die verschiedenen Aufgabeninhalte ergaben sich unterschiedliche Bearbeitungszeiten. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Versuchsaufgaben zu erhöhen, mussten die Bearbeitungszeiten vereinheitlicht werden, ohne den Aufgabenablauf oder die Aufgabenschwierigkeit zu ändern. Eine Änderung beider Belastungsfaktoren hätte sich auf die LIP- und TSS-Werte ausgewirkt. Alternativ wurde die Prozessgeschwindigkeit angepasst. Das wiederum resultierte in häufigeren Wechseln zwischen Zusatzaufgabe und Prozessüberwachungsaufgabe - wie oben beschrieben ohne Auswirkungen auf den TSS-Wert. Wie in Unterabschnitt 4.2.2 erläutert, wurde der Wechsel zwischen Zusatz- und Prozessüberwachungsaufgabe einmalig mit $TSS = 1$ berücksichtigt. Die Prozessgeschwindigkeit variierte im Bereich zwischen 4 und 199 sek.

Durch die unterschiedlich langen Prozesszeiten variierten ebenfalls die nicht aufgabengebundenen Zeiträume vor und nach der Aufgabenbearbeitung. Besonders bei geringen Bearbeitungsdauern, z. B. zeitliche Auslastungen von $\frac{36 \text{ sek}}{240 \text{ sek}} = 0,15$ (15 %), waren die nicht aufgabengebundenen Zeiträume länger (siehe Formel 7) als die aufgabengebundenen.

Formel 7:

Berechnung der nicht aufgabengebundenen Zeiträume vor und nach der Prozessdurchführung

$$\begin{aligned} T_{\text{nicht aufgabengebunden}} &= T_{\text{ges}} - T_{\text{bearb,Soll}} \\ &= 240 \text{ sek} - 36 \text{ sek} = \frac{204 \text{ sek}}{2} = 102 \text{ sek} \end{aligned}$$

Die Vorversuche zeigten, dass es für die Versuchspersonen herausfordernd war, auch in diesen Zeiträumen die Versuchsaufgabe konzentriert zu bearbeiten. Um die Aufmerksamkeit der Versuchsperson aufrecht zu erhalten, wurde sich einer Coverstory bedient. Den Versuchspersonen wurde erläutert, dass die nicht aufgabengebundenen Zeiträume darauf zurückgehen, dass Schifffahrtstreibende in der Realität unterschiedlich genau die Ankunftszeit an der Schleuse benennen. Die Versuchspersonen wurden gebeten, sich in dieser Zeit in Bereitschaft zu halten, um bei Ankunft des Schiffes schnellstmöglich mit der Schleusung beginnen zu können. Gleiches galt auch für die nicht aufgabengebundene Zeit nach Beendigung der Schleusung. Hierzu wurde den Versuchspersonen erläutert, dass ein weiteres Schiff angemeldet wurde, man aber nicht sicher sein konnte, ob es in der verbleibenden Zeit einträte. Die in Formel 7 ermittelten 102 sek galten hauptsächlich für die Bereitschaftszeit vor Beginn der Aufgabenbearbeitung. Durch versuchspersonenindividuelle Bearbeitungsstrategien und respektive Bearbeitungszeiten variierte der nicht aufgabengebundene Zeitraum nach der Prozessdurchführung.

Die vorherigen drei Unterabschnitte erläuterten die Aufbereitung der Belastungsfaktoren für die Laborversuche und welche Anforderungen dabei berücksichtigt wurden. Anhand dieser Struktur und der in Unterabschnitt 4.3.1 abgeleiteten Hypothesen können die Versuchsaufgaben eindeutig beschrieben und inhaltlich konzipiert werden.

4.3 Untersuchungsdesign

Im folgenden Abschnitt wird das Untersuchungsdesign beschrieben. Beginnend mit der Beschreibung der Hypothesen werden darauf aufbauend die Versuchsaufgaben vorgestellt. Weiterhin werden die Versuchspersonenakquise, Vorversuche sowie abhängige, unabhängige und Kontrollvariablen erläutert.

4.3.1 Hypothesen

Die Laborstudie wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Prognosegüte des fuzzyCTL-Modells zu untersuchen.

Daraus ergaben sich zwei Hypothesen:

- H1. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der prognostizierten bzw. tatsächlichen Multitaskingsituation²⁰ und der mentalen Beanspruchung des Operateurs.
- H2. Die prognostizierte bzw. tatsächliche Bewertung der mentalen Beanspruchung kann in drei Bereiche unterschieden werden: Unterforderung, unkritische Beanspruchung und Überforderung. Diese Bereiche lassen sich anhand der Ausprägung der Leistungsparameter²¹ sowie der subjektiven und objektiven Beanspruchungsparameter unterscheiden.

Hierbei diene H1 der Überprüfung, ob Effekte aufgrund der unterschiedlichen Belastungen nachgewiesen werden konnten - also ob sich das Untersuchungsdesign grundsätzlich eignete, die Zielstellung zu bearbeiten. Mit H2 wurden die Zusammenhänge zwischen den drei Bewertungsstufen, den Beanspruchungsmaßen bzw. den Leistungswerten untersucht.

4.3.2 Versuchsaufgaben

Eine Versuchsaufgabe bestand aus Hauptaufgabe (Prozessführung) und, je nach Ausprägung der Belastungsfaktoren, aus Zusatzaufgaben. Insgesamt mussten 41 verschiedene Versuchsaufgaben bearbeitet werden. Um die spätere Vergleichbarkeit zwischen den Aufgaben zu erhöhen, lagen den 41 Aufgabenvariationen nur drei verschiedene Zusatzaufgabentypen zu Grunde. Innerhalb der Zusatzaufgabentypen blieben die Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“ (TSS) und „Ebenen der Informationsverarbeitung“ (LIP) konstant. Die Bearbeitungsdauer (im engeren Sinne zeitliche Auslastung, TO) und respektive die Bearbeitungsinhalte wurden variabel ausgelegt.

Die Gestaltung der Versuchsaufgaben baut auf der Operationalisierung der Belastungsfaktoren (Abschnitt 4.2) und der Ableitung der Hypothesen (Unterabschnitt 4.3.1) auf. In diesem Unterabschnitt werden die Inhalte der Versuchsaufgaben skizziert. Für ausführliche Beschreibungen zu Hintergrund, Ablauf, Instruktionen, grafische Benutzungsschnittstelle, möglichen Bedienfehlern und der verwendeten grafischen Benutzungsschnittstelle wird auf Anhang 9 bis 14 verwiesen. Eine Übersicht über alle 41 Versuchsaufgaben und deren Bearbeitungsschritte bietet Anhang 15.

Hauptaufgabe

Die Hauptaufgabe bestand darin, ein Schiff zu schleusen. Sie unterteilte sich in einen Bedienungs- und einen Überwachungsaufgabenteil mit etwaigen Störungen.

²⁰ Die Multitaskingsituation, d. h. Belastungssituation, wurde beschrieben durch Wechsel des Aufgabensets (TSS), Ebenen der Informationsverarbeitung (LIP) und zeitlicher Auslastung (TO).

²¹ Leistungsparameter umfassten Fehlhandlungen (Signalentdeckungsleistung, Bedienfehler), Bearbeitungsfehler (bzgl. Kontrollfragen, Zusatz- und Matheaufgaben) und die Ist-Bearbeitungsdauer.

Der Bedienungsaufgabenteil bestand darin, das ankommende Schiff im Verkehrstaugebuch zu vermerken, dem Schiff Einfahrt in die und Ausfahrt aus der Schleusenkammer zu gewähren sowie den Pegelausgleich in der Schleusenkammer einzuleiten. Für jede Ebene der Informationsverarbeitung (LIP) gab es eine separate grafische Benutzungsschnittstelle (graphical user interface, GUI). Die drei GUIs unterschieden sich in der Art der Operatorführung und der vorhandenen Verriegelungen²². Eine exemplarische GUI ist in Abb. 4.2 links dargestellt.

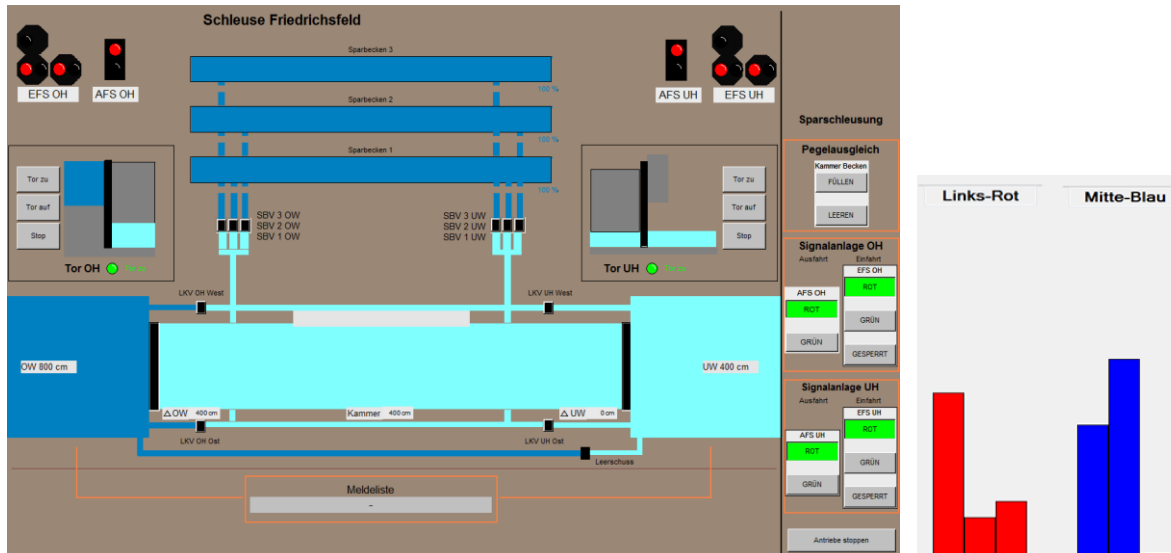


Abb. 4.2 Exemplarische grafische Benutzungsschnittstelle, links zur Bedienung der Schiffsschleuse und rechts zur Überwachung

Je nach Versuchsaufgabe beinhaltete der Bedienungsaufgabenteil auch das Quittieren²³ von Störungsmeldungen. Insgesamt gab es fünf verschiedene Störungsmeldungen zu verschiedenen Themen des Anlagenbetriebs, wie z. B. ausgefallene Beleuchtung auf der Schleusenplattform, gestörtes Einfahrtssignal oder unterbrochene Datenverbindung zur zentralen Steuerung (siehe Anhang 10). Beim Quittieren der Störungsmeldungen wurde nicht nach Ebenen der Informationsverarbeitung unterschieden, da keine direkte Bearbeitung daraus resultierte. Die Störungsmeldungen wurden unter Berücksichtigung der entsprechenden Empfehlungen erstellt (DIN EN ISO 11064-5:2008, Nickel und Nachreiner 2005, Errington et al. 2009).

Im Rahmen des Überwachungsaufgabenteils wurden die Versuchspersonen gebeten, für drei Prozessparameter den letzten protokollierten Zustand mit dem derzeitigen Ist-Zustand zu vergleichen (siehe Abb. 4.2 rechts sowie Anhang 9). Den Versuchspersonen wurde über eine Coverstory wiederholt vermittelt, dass die Prozessparameter verlässlich überwacht werden müssen. Die Prozessparameter wurden in Form dreier Balken visualisiert, die sich in Länge und Farbe zufällig änderten. Die drei Balken standen für Krängung (Neigung um Längsachse), Trimm (Neigung um Querachse) und Position innerhalb der Nutzlängenmarkierungen²⁴. Sobald der

²² Eine Verriegelung ist eine Sicherheitsfunktion in der Prozessleittechnik. Sie wird erreicht durch absichtliches Blockieren von Schalt- oder Stellvorgängen durch logische bzw. zuständige Abhängigkeiten.

²³ Quittieren ist die bestätigte Kenntnisaufnahme angezeigter Zustandsänderungen durch den Nutzenden gegenüber dem Prozessleitsystem (nach VDI 3699-1:2015).

²⁴ Nutzlängenmarkierungen sind Markierungen in der Schleusenkammer. Als Nutzlänge einer Schleuse bezeichnet man die maximal nutzbare Länge der Schleusenkammer zum sicheren Schleusen. Die Nutzlänge ist die durch Drempele oder andere bauliche Eigenschaften geminderte Kammerlänge.

protokollierte vom Ist-Zustand abwich, waren die Versuchspersonen gehalten, den derzeitigen Ist-Zustand über entsprechende Tasten schnellstmöglich zu protokollieren. Die Überwachungsaufgabe war nur während des Pegelausgleichs zu bearbeiten.

Die Auswertung der Hauptaufgabe erfolgte für die drei Belastungsfaktoren in Form der Abweichung der Ist-Werte von den Soll-Werten sowie über das Auftreten von Bedienfehlern. Falls es Störungsmeldungen zu quittieren gab, wurden den Versuchspersonen nach Beendigung der Versuchsaufgabe drei Multiple-Choice-Fragen zum Inhalt der Störungsmeldung gestellt. Es wurden die genannten richtigen Antworten im Verhältnis zu den möglichen richtigen Antworten ausgewertet.

Zusatzaufgabe „Zutrittskontrolle“

Der Leitwarte als zentraler Notfallmeldestelle kommt in der Realität eine besondere Rolle zu. Zum Beispiel ist es bei Evakuierungen für die Operateure wichtig zu wissen, wie viele Personen sich in welchen Gefahrenbereichen der Anlage befinden. Dies kann zum Beispiel über Zutrittskontrollen aus der Leitzentrale heraus geschehen. Für diesen Versuch wurden Zutrittsbereiche unterschieden, die ohne und mit Berechtigungsnachweis zugänglich waren. Als Berechtigungsnachweis diente ein zufallsgenerierter 17-stelliger Berechtigungscode aus Buchstaben und Zahlen.

Die Aufgabe umfasste, je nach Ausprägung der Belastungsfaktoren, verschiedene Bearbeitungsschritte, z. B. Vergleich des Berechtigungscode mit einer Freigabeliste aus 30 weiteren Codes oder Eintragungen in die Freigabeliste. Für eine detaillierte Beschreibung siehe Anhang 11.

In der Versuchsdurchführung nahm diese Aufgabe eine besondere Rolle ein. Bei schneller Bearbeitung einer Zusatzaufgabe konnte es je nach Pegelausgleichsdauer möglich sein, dass bis zum erfolgten Pegelausgleich eine Restzeit verblieb. Um diese Restzeit zweckmäßig zu nutzen, wurden den Versuchspersonen weitere Zusatzaufgaben vom Typ „Zutrittskontrolle“ zur freiwilligen Bearbeitung angeboten.

In die Auswertung wurden Bearbeitungsdauer und das Verhältnis der richtig durchgeführten zu den gesamt richtig durchzuführenden Bearbeitungsschritten einbezogen. Im Fall, dass weitere Zusatzaufgaben vom Typ „Zutrittskontrolle“ bearbeitet wurden, wirkte sich das auf die TSS- und ggf. LIP-Werte aus. Folglich konnte die tatsächliche Ausprägung der Belastungsfaktoren von der intendierten Belastung abweichen.

Zusatzaufgabe „Instandhaltung“

Operateure in Leitwarten sind mit dem Thema Instandhaltung regelmäßig konfrontiert, sei es z. B. bei der Bearbeitung von Störungen, deren Protokollierung oder bei dem Fall, dass Anlagenteile durch Instandhaltungsmaßnahmen für den Prozess nicht zur Verfügung stehen.

Um dies widerzuspiegeln wurden die Versuchspersonen in verschiedenen Aufgaben gebeten,

1. bei bestimmten Anlagenzuständen zu entscheiden, ob die Instandhaltung benachrichtigt werden muss (LIP = 2),
2. ein Formular zur Weiterleitung einer Störungsmeldung auszufüllen (LIP = 3) oder
3. eine Störung in einer exemplarischen Bildschirmdarstellung zu identifizieren und zu beschreiben (LIP = 3).

In die Auswertung wurden die Bearbeitungsdauer und das Verhältnis der richtig bearbeiteten zu den gesamt richtig zu bearbeitenden Bearbeitungsschritten mit einbezogen. Für die Aufgaben mit LIP = 3 wurde neben der Richtigkeit auch die Sinnhaftigkeit der Eingabe bewertet.

Zusatzaufgabe „Administrative Aufgaben“

Ein weiterer Aufgabeninhalt von Operateuren sind Verwaltungstätigkeiten rund um die zu betreuenden Prozesse respektive Anlagen(-teile). Aus dem breiten Spektrum administrativer Aufgaben wurden für den Versuch vier Bereiche ausgewählt (für eine detaillierte Schilderung der Aufgabeninhalte und Abläufe siehe Anhang 13):

- Entgegennehmen von schiffahrtspolizeilichen Meldungen (LIP = 1),
- Überprüfen der Prozessdokumentation (LIP = 1 und LIP = 2),
- Erstellen von Statistiken (LIP = 2) oder
- Erarbeiten von Optimierungsvorschlägen (LIP = 3).

Für die Auswertung wurden Bearbeitungsdauer und das Verhältnis der richtig durchgeführten zu den gesamt richtig durchzuführenden Bearbeitungsschritten herangezogen. Bei Aufgaben mit schiffahrtspolizeilichen Meldungen wurden den Versuchspersonen zur Kontrolle drei Multiple-Choice-Fragen zum Inhalt der Meldung gestellt. Es wurden die genannten richtigen Antworten im Verhältnis zu den möglichen richtigen Antworten ausgewertet.

Zusatzaufgabe „Mathematikaufgaben“

Die Mathematikaufgaben hatten bei der Versuchsdurchführung eine Sonderrolle. Mit den Mathematikaufgaben sollte eine für Leitwarten typische informationshaltige Störung geschaffen werden, welche die Gesamtbelastung erhöht. Einhergehend mit der Präsentation der Störung sollte aber auch deren Einfluss quantifizierbar sein, was zweckmäßig durch Zweitaufgaben-Leistungskenngrößen gemessen werden kann (secondary task measure, siehe Eggemeier und Wilson 1991). Dabei gab es folgende Aspekte abzuwägen:

Die Bearbeitungsleistung einfacher kognitiver Zweitaufgaben, wie z. B. einfacher Mathematikaufgaben, wird in einem klassischen Zwei-Aufgaben-Versuchsaufbau²⁵ verwendet, um die mentale Beanspruchung aus der Bearbeitung der ersten Aufgabe indirekt zu messen. Ist die Bearbeitungsleistung der zweiten Aufgabe (Mathematikaufgabe) hoch, ist die mentale Beanspruchung aus der ersten Aufgabe (Hauptaufgabe) niedrig und umgekehrt. Da hierbei die Leistung der Hauptaufgabe nicht negativ beeinflusst werden soll, fordern Wickens und Hollands (1999), dass die Versuchspersonen regelmäßig an diese Aufgabenpriorisierung erinnert werden.

Wie bereits beschrieben, wurden die Mathematikaufgaben im Rahmen dieser Studie jedoch nicht ausschließlich als klassischer Leistungsparameter gewertet, sondern vordergründig als Mittel, die Versuchspersonen zu stören. Das Ziel der Präsentation einfacher Mathematikaufgaben bestand also nicht unmittelbar darin, diese richtig zu lösen. Vielmehr sollte dabei die Belastung und damit die gesamte mentale Beanspruchung der Versuchsperson zusätzlich über den akustischen Sinnes-, Verarbeitungs- und Ausgabekanal erhöht werden (für detaillierte Erläuterungen zur Multiplen Ressourcen Theorie siehe z. B. Wickens (2008)). Respektive wurden die Mathematikaufgaben ausschließlich akustisch präsentiert, so dass keine visuelle Ablenkung bei Durchführung der Versuchsaufgabe stattfand. Durch Interpretation der Mathematikaufgaben als Störung und nicht als Zweitaufgaben-Leistungskenngröße, wurden im Gegensatz zur oben genannten Forderung von Wickens und Hollands (1999) keine klaren Prioritäten für die Aufgabenbearbeitung vorgegeben: Die Versuchspersonen wurden wiederholt darauf hingewiesen, dass es verschiedene Aufgabenangebo-

²⁵ Parallele Bearbeitung von zwei Aufgaben, wobei eine Aufgabe durch die Versuchsleitung hoch priorisiert ist und die zweite Aufgabe so bearbeitet werden soll, dass die Leistung der ersten Aufgabe nicht reduziert wird.

te gibt, aber sie selbst konnten über deren Bearbeitung entscheiden. Dieser Hinweis erfolgte mit der Bedingung, ernsthaft, sorgfältig, gewissenhaft und zügig zu arbeiten. Die Mathematikaufgaben bestanden aus Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division im Wertebereich des kleinen Einmaleins. Der für die Erstellung der Aufgaben programmierte Visual Basic Algorithmus erzeugte Zufallszahlen und ordnete diese wiederum zufällig den vier Grundrechenarten zu. Die akustische Darbietung erfolgte ausschließlich während des Pegelausgleiches und alle zehn Sekunden. Falls die Versuchspersonen Ergebnisse nannten, wurden diese ohne Kommentar protokolliert.

Für die Auswertung der Mathematikaufgaben wurden a) die Anzahl der gestellten Mathematikaufgaben, b) richtige, c) falsche sowie d) keine Antworten erfasst.

4.3.3 Versuchspersonenakquise und Vorversuche

Eine Charakteristik der Aufgabenausführung in Leitwarten und ähnlicher Arbeitskontexte ist das Bearbeiten von Aufgaben parallel zur kontinuierlich ablaufenden Prozessführungsaufgabe. Das Bearbeiten der Prozessführungsaufgabe ist bedarfsabhängig und verläuft in Echtzeit. Die Bearbeitung kann somit nur begrenzt vorhergesehen bzw. geplant werden. Das parallele Bearbeiten zusätzlicher Aufgaben geht durch diese Echtzeitabhängigkeit einher mit geringen Regulationsfreiräumen. Das bedeutet einerseits, dass bei der Ausführung zusätzlicher Aufgaben das Situationsbewusstsein für die Prozessführung nicht eingeschränkt werden darf. Andererseits muss bei Bedarf die Zusatzaufgabe teils unmittelbar unterbrochen werden, um den Prozess zu bedienen. Aufgrund dieser Aufgabenwechselcharakteristik wurde es als zweckmäßig erachtet, Experten aus dem Arbeitskontext Leitwarten für die Laborversuche als Versuchspersonen zu gewinnen.

Für die Hauptversuche in Dortmund konnten Versuchspersonen von privatwirtschaftlichen und öffentlichen Arbeitgebern aus dem Ruhrgebiet bzw. dessen Umland gewonnen werden. Für die Durchführung von Hauptversuchen vor Ort sagten privatwirtschaftliche und öffentliche Arbeitgeber aus dem Großraum Halle/ Leipzig und Osnabrück ihre Unterstützung zu.

Den Hauptversuchen gingen zwei Pretestreihen im Zeitraum Februar bis Mitte Juli 2015 voraus. Die erste Pretestreihe mit acht Nicht-Leitwartenoperatoren hatte zum Ziel, die Durchführbarkeit einzelner Aufgaben und -abfolgen sowie die Messtechnik zu testen. In der zweiten Pretestreihe wurde mit sieben Leitwartenoperatoren der gesamte Versuch durchgeführt. In der zweiten Pretestreihe wurde der Schwerpunkt auf die Überprüfung der Aufgabenschwere und der erlebten Beanspruchung gelegt. Weiterhin wurden die Versuchspersonen um eine subjektive Rückmeldung zur Realitätsnähe der Versuchsaufgaben gebeten. Für die Versuchsleitung ermöglichten die beiden Pretestreihen, Sicherheit im Ablauf, im Umgang mit der Messtechnik und dem Datenvolumen bzw. den Versuchspersonen zu gewinnen.

4.3.4 Unabhängige Variablen

In den durchgeführten Laborversuchen wurden die drei Belastungsfaktoren als unabhängige Variablen zur Erzeugung der versuchsaufgaben spezifischen Belastung verwendet:

- Aufgabensetwechsel (task set switch, TSS)
- Ebenen der Informationsverarbeitung (level of information processing, LIP)
- Zeitliche Auslastung (time occupied, TO)

4.3.5 Abhängige Variablen

Als abhängige Variablen wurden die erlebte Beanspruchung und Leistungsdaten erhoben. Die erlebte Beanspruchung wurde subjektiv und objektiv anhand der nachstehenden Variablen erfasst. Nachstehend sind die abhängigen Variablen unter Angabe der Einheit überblicksartig aufgelistet (für weiterführende Informationen zu den abhängigen Variablen wird auf die Unterabschnitte 4.5.1 bis 4.5.7 verwiesen):

- Subjektive Beanspruchung:
 - Bewertungsskala zur mentalen Anstrengung (RSME, siehe Anhang 17) [absolut]
 - Abweichung der prognostizierten von der tatsächlichen Bewertung [ohne Einheit]
- Objektive Beanspruchung als Abweichung von der Baseline:
 - kardiologische Indikatoren:
 - Zeitreihenanalyse:
 - Herzfrequenzvariabilität (heart rate variability, HRV) in [%]
 - Frequenzanalyse:
 - Verhältnis der normierten spektralen Leistungsdichten der niedrigen (0,04-0,15 Hz) und hohen (0,15-0,40 Hz) Frequenzbereiche in [%]
 - okulomotorische Indikatoren:
 - Mittlere Pupillengröße in [%]
 - prozentuale Veränderung der Pupillengröße (average percentage change in pupil size, APCPS) zur Baseline in [%]

Zur Bewertung der Leistung über alle Versuchsaufgaben wurden folgende Daten erhoben:

- Leistung bezogen auf die Prozessbedienungsaufgabe:
 - Bedienfehler [absolut]
 - Abweichung der Ist-Bearbeitungszeit von der Soll-Bearbeitungszeit [in %]
 - Rückmeldung zum Bearbeitungsverhalten [absolut]
- Leistung bezogen auf Störungsmeldungen:
 - richtige Antworten [in %]
- Leistung bezogen auf die Prozessüberwachungsaufgabe:
 - hits, misses und false hits für Farbe und Balkenlänge sowie Gesamt [in %]
 - Reaktionszeit auf relevante Veränderung [in ms]
- Leistung bezogen auf die Zusatzaufgabe:
 - richtige Bearbeitungsschritte [in %]
 - nicht bearbeitete Zusatzaufgaben [in %]
- Leistung bezogen auf die Mathematikaufgaben:
 - richtige Antworten [in %]

4.3.6 Kontrollvariablen

Um individuelle Einflüsse der Versuchsperson auf die Versuche bzw. die objektive Beanspruchungsmessung zu kontrollieren, wurden in Ergänzung zu den demografischen Daten weitere Kontrollvariablen explorativ erhoben (die Antwortmöglichkeiten sind bei nicht selbsterklärenden Bezeichnungen in Klammern nachgestellt):

- Demografische Daten:
Alter, Geschlecht, Körpergewicht, Körpergröße, Body Mass Index, Sehhilfe (keine, Kurz-, Weit-, Gleitsichtbrille, Lesebrille, Kontaktlinsen), Händigkeit (links, rechts), Sport pro Woche, Einnahme von Medikamenten (Herz / Kreislauf, Augen, sonstiges), Raucher, Versuchsperson leidet an migräneartigen Kopfschmerzen
- auf Profession bezogene Daten:
Branche, Berufserfahrung in Leitwarten, für Teilnahme von Arbeitgeber freigestellt
- auf Laborversuch bezogene Daten:
Erfahrungen mit Excel (keine, wenige, mittel, gute), Erfahrungen mit Schleusen (keine, Freizeit, beruflich), Gesamtdurchführungsdauer, Versuchsdauer, Dauer der Einführung, Versuchsleitung, Störungsempfinden durch Bearbeitung der Zusatzaufgaben (stimulierend, störend, weder noch), Störungsempfinden durch Tragen des Eyetrackers (stimulierend, störend, weder noch), Ermüdung am Ende des Versuches
- auf den Nutzerzustand bezogene Daten:
Erfüllungsgrad dual-2-back-Tests, Dundee Stress State Questionnaire (siehe Anhang 16)

Für weiterführende Informationen zu den Kontrollvariablen wird auf Unterabschnitt 4.5.7 verwiesen.

4.4 Durchführung

Die voranstehenden Abschnitte erläuterten die Operationalisierung der Zielstellung der Laborversuche (Prognosegüte des fuzzyCTL-Modells) und beschrieben das Untersuchungsdesign. Darauf aufbauend widmet sich der folgende Abschnitt der software- und hardwareseitigen Realisierung des Versuches. Dabei werden der Versuchsstand, die Messtechnik, der Ablauf und die Rolle der Versuchsleitung spezifiziert. Für detaillierte Informationen zur technischen Realisierung des Versuchsablaufs wird auf Anhang 19 verwiesen.

4.4.1 Versuchsstand und Laborumgebung

Versuchsstand: Arbeitsplatz und Arbeitsmittel

Der Versuchsstand war auf einem höhenverstellbaren Tisch (Breite x Tiefe: 160 x 100 cm, Höhe: 73 - 113 cm) aufgebaut, siehe Abb. 4.3.

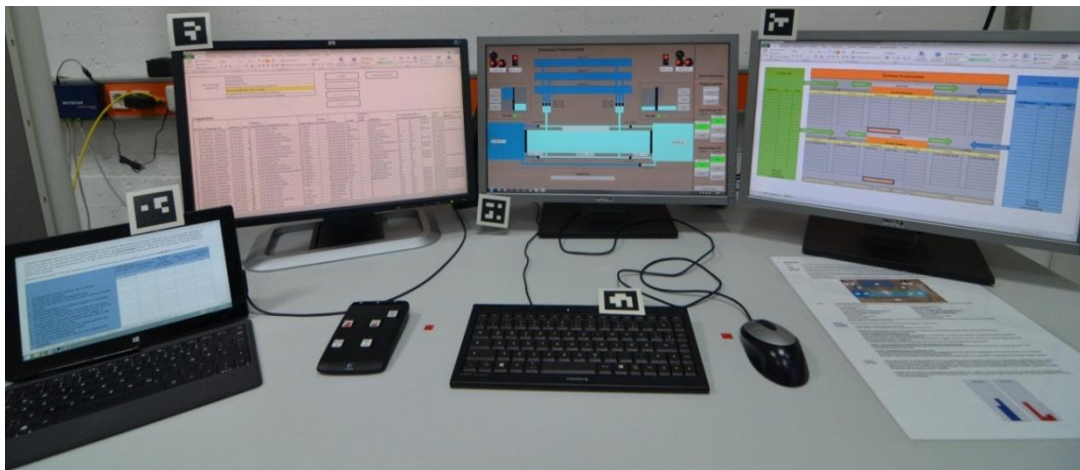


Abb. 4.3 Versuchsstand im Labor der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Den Versuchspersonen war freigestellt, im Stehen oder Sitzen zu arbeiten. Alle arbeiteten jedoch die gesamte Versuchsdauer im Sitzen. Durch den höhenverstellbaren Tisch und den 24h-Leitwartenstuhl war sichergestellt, dass der Versuchsstand an die individuellen Größenverhältnisse der Versuchspersonen angepasst werden konnte. Die Versuchspersonen wurden gebeten, sich den Arbeitsplatz nach ihren Gewohnheiten einzustellen. Bei nicht ergonomischen Einstellungen wurde seitens der Versuchsleitung darauf hingewiesen, wie diese zu korrigieren wären. Diese Vorschläge wurden aber von keiner Versuchsperson angenommen.

Die Bearbeitung der Versuchsaufgaben erfolgte an drei Monitoren (22 Zoll, Format 16:10) mit einer Kompakttastatur, einem modifizierten Nummernpad und einer Maus. Die Prozessüberwachungsaufgabe (Balkenaufgabe) wurde mit Zahlentasten „7“ und „9“ des Nummernpads bearbeitet. Um keine Fehleingaben zu begünstigen, wurden Tastatur und Nummernpad voneinander getrennt²⁶. Die Abtrennung des Nummernpads zog nach sich, dass Zahlen per einzeiligem Zahlenbereich der Kompakttastatur (über dem Buchstabenbereich) eingegeben werden mussten. Ergänzend konnten die Versuchspersonen Notizen auf einem beiliegenden Schreibblock machen.

²⁶ Die Zahlentasten des Nummernpads besitzen andere Keyboard-Scancodes als die Zahlentasten über dem Buchstabenblock und können so eindeutig unterschieden werden.



Abb. 4.4 Externe Versuchsstände

Die Eingabe der subjektiven Beanspruchungswerte, das Bearbeiten des dualen n-back-Tests (siehe Absatz „Nutzerzustand“ in Unterabschnitt 2.2.3 sowie Anhang 1) und die begleitenden Fragebögen erfolgten von einem Surface-Tablet. Eingaben konnten per Touchscreen, Stift oder externer Tastatur vorgenommen werden. Bedingt durch kabelgebundene Messtechnik und direkte Ansprache der Versuchspersonen waren der Versuchsstand und der Platz der Versuchsleitung in räumlicher Nähe zueinander angeordnet.

Die Durchführung von acht Versuchen erfolgte in zwei Unternehmen vor Ort (siehe Abb. 4.4). Die erforderliche identische Gestaltung der Vor-Ort-Versuchsstände bezüglich Sehabstände und Anordnung der Monitore war erfüllt.

Arbeitsumgebungsgestaltung

Die Gestaltung der Arbeitsumgebung orientierte sich an den ergonomischen Anforderungen zur Gestaltung von Leitwartenarbeitsplätzen (Sollwerte nach DIN EN ISO 11064-6:2005, siehe Messprotokoll Anhang 21).

4.4.2 Messtechnik

Dieser Unterabschnitt zielt darauf ab, die verwendete Hard- und Software zur Messung der objektiven Beanspruchung durch kardiologische und okulomotorische Reaktionen vorzustellen. Die Messtechnik zur Erfassung der Leistungsdaten wird überblicksartig in den Unterabschnitten 4.5.4 und 4.5.5 behandelt.



Abb. 4.5 Messtechnik (eigene Darstellungen), links: Polar Pulsuhr, rechts: Ergoneers Dikablis Professional

Messung kardiologischer Parameter

Die verschiedenen in der hier vorgestellten Laborstudie verwendeten kardiologischen Beanspruchungsparameter lassen sich auf einen einzigen Wert zurückführen: die Herzfrequenz [min^{-1}] bzw. die Intervalllänge zwischen zwei R-Zacken [msek] (inter beat interval, IBI). Zur Messung ist hierbei eine reguläre Pulsuhr ausreichend (siehe Abb. 4.5). Somit konnte auf eine elektrokardiologische Ableitung verzichtet werden.

Für die Versuche kam die Pulsuhr WearLink™ W.I.N.D. Transmitter und ein Brustgurt mit Elektroden der Firma Polar zur Anwendung. Für die Übertragung der Daten an den Versuchsleitungs-PC diente Polar WindLink™ USB Stick an einem USB 2.0 Port. Die Polar eigene Software Polar ProTrainer 5 diente zur Kontrolle der Datenübertragung, zur Aufzeichnung der Daten und für deren Export als *.txt-Datei. Aufgrund der kontinuierlichen Abtastung kann keine Samplefrequenz angegeben werden. Die vom Polar ProTrainer 5 visualisierten Echtzeitdaten sind über fünf Sekunden ermittelte Mittelwerte und ermöglichten im Falle von Signalstörungen adäquat zu reagieren. Die Signalstörungen führten zu Artefakten in den Messwerten, wie z. B. zu hohe Werte, zu niedrige Werte durch Bewegung oder keine Werte durch Signalverlust. Signalverluste konnten auftreten durch eine schlechte Tastung des physiologischen Ausgangssignals. Auch entsprechende Vorbereitung der Messstellen durch Entfetten, Befeuchten und wiederholte Verwendung von Elektrodengel konnten die reduzierte Schweißbildung im Vergleich zu sportlichen Aktivitäten nicht kompensieren und führten zu Signalverlusten. Das massierte Auftreten von Artefakten bzw. Signalverlusten beeinflusste die Datenqualität negativ. Der Abstand zwischen Transmitter und USB Receiver war mit ca. einem Meter innerhalb der geforderten maximalen Entfernung von 1,5 m und wird somit als Grund für Signalausfälle nur nachrangig betrachtet. Die Versuchspersonen fühlten sich durch die Verwendung des Brustgurtes nicht in der Aufgabendurchführung beeinflusst.

Messung okulomotorischer Parameter

Für die Messung der okulomotorischen Parameter kam die Eyetrackingbrille Dikablis Professional der Firma Ergoneers zum Einsatz (siehe Abb. 4.5). Es ist ein kopfbasiertes System (headmounted eyetracking device) und kann unabhängig vom Inhalt einer ortsfesten Informationsquelle, z. B. Bildschirm, verwendet werden.

Dikablis Professional ist eine binokulare Eyetrackingbrille. Sie verfügt über drei Kameras: für die Pupillenverfolgung zwei Infrarotkameras (Auflösung BxH 648x488 px, Samplefrequenz 60 Hz) und eine Umgebungskamera (Auflösung 1920x1080 px, Samplefrequenz von 30 Hz). Die Anbindung im Rahmen der Versuche erfolgte kabelgebunden über einen USB 3.0 Port. Im Vergleich zur alternativen WLAN-Anbindung konnten die Eyetrackingdaten hierbei in Echtzeit verfolgt werden. Das nicht automatisierbare Transferieren der Daten bei gestörter WLAN-Verbindung nach Abschluss der Aufnahme entfiel. Störungen in der Datenaufnahme resultierten auch hier in artefaktbehafteten Messwerten. Die Daten wiesen verschiedene Muster an Artefakten auf: keine Messwerte, sich wiederholende Messwerte oder eine kurzzeitig große Abweichung vom vorherigen Verlauf. Diese Muster konnten allerdings nicht eindeutig Ereignissen zugeordnet werden. Durch diesen fehlenden informativen Mehrwert konnte die Auswertung der Artefakte nicht dazu beitragen, deren Ursachen aufzuklären. Durch das massierte Auftreten von Artefakten wurde die Datenqualität negativ beeinflusst.

Im Gegensatz zur Verwendung der Pulsuhr bewerteten 22 Versuchspersonen (entspricht 79 %) das Tragen der Eyetrackingbrille als nicht gut, wie aus Tab. 4.2 ersichtlich wird. Für sechs Versuchspersonen (entspricht 21 %) wirkte sich das auf die Aufgabendbearbeitung aus, wovon es sich bei zwei Versuchspersonen (entspricht 7 %) an

nach anfänglicher Gewöhnung abstellte. Bei vier Versuchspersonen (entspricht 14 %) wirkte sich das Tragen der Eyetrackingbrille dauerhaft negativ auf die Aufgabenbearbeitung aus.

Tab. 4.2 Einfluss der Eyetrackingbrille auf die Aufgabenbearbeitung (n = 28)

Tragekomfort Eyetrackingbrille*:	6 gut, entspricht 21 %	15 teils teils, entspricht 54 %	7 schlecht, entspricht 25 %t
Beeinträchtigung der Aufgabenbearbeitung durch Eyetrackingbrille**:	22 nein, entspricht 79 %	2 anfänglich, entspricht 7 %	4 ja, entspricht 14 %
davon dauerhafte Beeinträchtigung durch:	2 Verringerung des Sichtbereiches	1 Störung der Kon- zentration	1 unspezifisch

Antwortmöglichkeiten: * Gut, Teils Teils, Schlecht; ** Nein, Ja; wenn Ja, dann: Wann? und Wie wirksam?

4.4.3 Ablauf

Nachfolgend werden die einzelnen Phasen des Versuchstages unter Angabe der Durchführungsdauer beschrieben.

Einleitung (Dauer: ca. 10 min)

Die Versuchspersonen meldeten sich am Empfang der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, wo sie von der Versuchsleitung abgeholt wurden. Nach Einweisung zum Verhalten im Evakuierungsfall wurden der Versuchsplatz und der grobe Tagesablauf vorgestellt, die demografischen Daten bzw. Kontrollvariablen erfasst und die unterschriebene Einverständniserklärung erbeten.

Eingangsfragebögen (Dauer: ca. 20 min)

Nach der Einleitung wurde die Versuchsperson mit der Pulsuhr ausgestattet und gebeten, die Eingangsfragebögen zu beantworten. Die Eingangsfragebögen umfassten die Kurzfassung des Dundee Stress State Questionnaire (DSSQ, Matthews et al. 2001, Matthews et al. 2002, validierte Übersetzung ins Deutsche von Langner et al. 2010), prospektiv ausgerichtet (siehe Anhang 16) und die Skalengewöhnung der Rating Scale of Mental Effort (RSME, Zijlstra 1993) (siehe Anhang 18). Während der Bearbeitung der Fragebögen wurde die erste kardiologische Baseline aufgezeichnet.

Dual n-back Test (Dauer: ca. 20 min)

Nachdem die Vortests abgeschlossen waren, wurden die Versuchspersonen gebeten, viermal den dual-2-back-Test durchzuführen. Nach jedem Test mussten die erlebte Beanspruchung durch den RSME und die subjektive Bewertung eingeschätzt werden (siehe Anhang 1). Für eine umfassende Beschreibung der Ergebnisse wird auf Jeschke et al. (2016) verwiesen.

Einführung in die Prozessführungsaufgabe

(Dauer: ca. 49 ± 9 min | min: 30 min | max:66 min)

Auf eine kurze Unterbrechung folgend begann das „betreute Schleusen“ als Einführung in die Prozessführungsaufgabe. Um die drei verschiedenen Interfacevarianten mit ihren Besonderheiten einzuführen, wurde mit der Versuchsperson insgesamt fünfmal zur Übung geschleust. Während der ersten Schleusung wurden die Prozessablaufschritte erläutert. Bei den verbleibenden vier Schleusungen lag der Schwerpunkt auf der Durchführung der Prozessüberwachungsaufgabe bzw. dem Erlangen von Routine. Nach Abschluss des betreuten Schleusens wurden die Zusatzaufgaben exemplarisch vorgestellt.

Dieser Ablauf war für alle Versuchspersonen gleich. Je nach Versuchsleitung dauerte die Einführung bei „Versuchsleitung 0“ im Mittel 51 min (n = 20) bzw. bei „Versuchsleitung 1“ im Mittel 44 min (n = 9).

Versuchsdurchführung, global**(Dauer: ca. 5,25 ± 0,4 h | min: 4,75 h | max: 6,00 h)**

Der Hauptversuch gliederte sich in vier Zeitblöcke. Ein Block dauerte ca. 65 min. Die Blöcke wurden durch zehnminütige Pausen getrennt. Nach dem zweiten Block war eine längere Pause von 30 min vorgesehen. Direkt vor der längeren Pause wurde die Kurzfassung des DSSQ durchgeführt (retrospektiv ausgerichtet). Direkt danach wurden die Baselines für okulomotorische und kardiologische Parameter aufgenommen (siehe Anhang 22 für einen exemplarischen Ablaufplan).

Die Durchführung des Versuchsteils dauerte bei „Versuchsleitung 1“ ca. 5 ¼ h (n = 20) und bei „Versuchsleitung 2“ ca. 5 ½ h (n = 9).

Versuchsdurchführung, detailliert für eine Versuchsaufgabe (Dauer: ca. 6 min)

Die Versuchsperson wurde gebeten, insgesamt 41 Versuchsaufgaben zu bearbeiten (siehe Anhang 15). Die Versuchsaufgaben waren permutiert. Das gewährleistete für alle Versuchspersonen einen vergleichbaren intendierten Beanspruchungsverlauf ohne Wiederholungen in der Aufgabenabfolge.

Eine Versuchsaufgabe bestand aus drei Phasen: 1. Lesen der Instruktion (ca. 60 sek), 2. Durchführen der eigentlichen Versuchsaufgabe (ca. 240 sek) und 3. Einschätzen der subjektiven Beanspruchung (RSME und Bewertung, Anhang 17) sowie je nach Versuchsaufgabe das Beantworten von Kontrollfragen (ca. 60 sek).

Abschlussgespräch und Fragebögen (Dauer: 15 min)

Nachdem alle Versuchsaufgaben bearbeitet waren, wurde zum Abschluss ein standardisiertes Interview zur Aufgabenerfüllung (Anhang 23) durchgeführt, gefolgt von der Kurzfassung des DSSQ (retrospektiv ausgerichtet), einer Befragung zum subjektiven Ermüdungsempfinden (Anhang 24) und einer Bewertung der Versuchsleitung (Anhang 25).

Verabschiedung (Dauer: ca. 10 min)

Vor der Verabschiedung der Versuchspersonen wurde für die nicht vom Arbeitgeber freigestellten Versuchspersonen die Abrechnung ausgefüllt. In Verbindung mit der Danksagung für die Teilnahme am Versuch bekamen alle Versuchspersonen ein „Schleusendiplom“ (Anhang 26) überreicht. Danach wurden die Versuchspersonen verabschiedet.

Die mittlere Gesamt-Durchführungsdauer des Versuches betrug für 29 zur Auswertung herangezogene Versuchspersonen ca. 8 h, mit einem Minimum von 7 h und einem Maximum von 9 h. Bei „Versuchsleitung 0“ betrug die mittlere Gesamt-Durchführungsdauer ca. 7 ¾ h (n = 20) und bei „Versuchsleitung 1“ ca. 8 h (n = 9).

4.4.4 Versuchsleitung

Mit der Leitung der Versuche waren neben dem Autor weitere zwei Kolleginnen aus der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin betraut. Um einen identischen Ablauf des Versuches, des Datenmanagements sowie geringe Versuchsleitungseffekte zu gewährleisten, wurden für alle drei Versuchsleitungen nachstehende Dokumente verbindlich eingeführt:

- Vor- und Nachbereitung, Export und Ablage der Daten;
- Informationen zur Durchführung des Versuches und Rolle der Versuchsleitung (Anhang 27),
- Textbausteine für die Versuchsleitung (Anhang 28) und
- Verfahrensanweisungen zu den Versuchsaufgaben (Anhang 29).

4.5 Datenaggregation und Datenverarbeitung

Die Vielfalt der erhobenen Daten bedingt eine mehrstufige Vorbereitung vor der eigentlichen statistischen Analyse (siehe Abb. 4.6). Nachdem die Rohdaten gesichert waren, wurden ablaufbedingte Artefakte bereinigt. Diese traten z. B. bei technischen Ausfällen oder Bedienfehlern seitens der Versuchspersonen auf. Um die gewonnenen Rohdaten weiterverarbeiten und der entsprechenden Versuchsaufgabe zuordnen zu können, mussten die Datensätze in einem weiteren Schritt aufbereitet und aggregiert werden. Die dafür notwendigen Arbeitsschritte werden nachstehend für jeden Datensatz ausführlich beschrieben, da die eingesetzten Algorithmen aufgrund deren Umfangs nicht im gedruckten Anhang vorgehalten werden können²⁷.

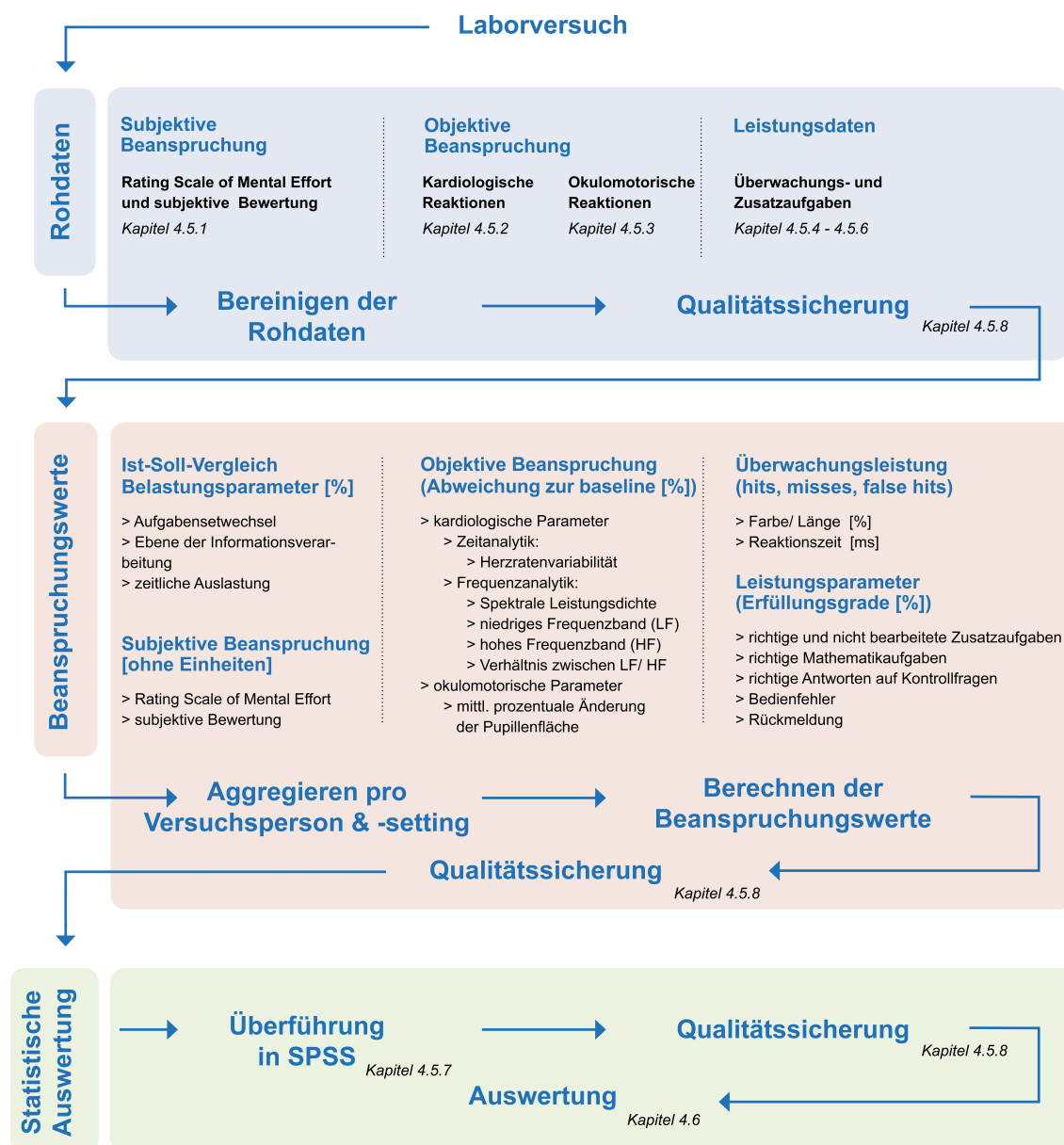


Abb. 4.6 Erhobene Daten und deren Verarbeitung

²⁷ Gesamt 5666 Zeilen, abzüglich 15 % Leerzeilen → 4800 Zeilen mit 30 Zeilen pro Normseite → 160 A4 Seiten

4.5.1 Subjektive Beanspruchung und deren Bewertung

Die subjektive Beanspruchung wurde auf der Bewertungsskala für mentale Anstrengung angegeben (rating scale of mental effort, RSME): $0 \leq RSME \leq 150$, mit $RSME \in N$, keine Einheit. Der RSME-Wert wurde unverändert weiterverarbeitet. Zusätzlich sollte die aktuell durchgeführte Versuchsaufgabe auf „Unterforderung“, „optimale (unkritische) Anstrengung“ oder „Überforderung“ bewertet werden. Hierbei galt: $u \leq \text{Bewertung} \leq \ddot{u}$.

Die Bewertung wurde relativ als Abweichung zum prognostizierten Wert weiterverarbeitet. Die Zuordnung der Abweichung wurde nach Tab. 4.3 vorgenommen.

Tab. 4.3 Abweichungsmatrix

Soll \ Ist	unterfordernd	unterfordernd/ optimal (unkritisch)	optimal (unkritisch)	optimal (unkritisch)/ überfordernd	überfordernd
unterfordernd	0	+1	+2	+3	+4
optimal (unkritisch)	-2	-1	0	+1	+2
überfordernd	-4	-3	-2	-1	0

Hinweis: grüner Hintergrund - keine Abweichung

4.5.2 Kardiologische Beanspruchungsreaktionen

Für die objektiven kardiologischen Beanspruchungsparameter werden als Rohdaten die Abstände zwischen den R-Zacken (inter beat interval, IBI [ms]) im Elektrokardiogramm (EKG) z. B. durch eine Pulsuhr registriert. Die Messwerte der Pulsuhr konnten als Text-Datei exportiert und in Excel 2010 importiert werden. Um die Rohdaten von Artefakten, z. B. Signalstörungen beim Husten, zu bereinigen, wurden ein Bandpassfilter (400-1600 ms²⁸) sowie Empfehlungen zur Artefaktdetektion und -korrektur von Mulder (1988, 1992) und der Task Force of The European Society of Cardiology (1996) in einen Detektionsalgorithmus implementiert. Der Algorithmus zur Artefaktdetektion erkannte Abweichungen der Messwerte von größer bzw. kleiner als dem statistischen Mittelwert $\pm 2x$ Standardabweichung (siehe Anhang 30).

Die bereinigten Messwerte wurden anschließend einer Zeitreihenanalyse und Frequenzbandanalyse unterzogen, um aus dem komplexen Biosignal Rückschlüsse auf die Beanspruchung ziehen zu können. Die Zeitreihenanalyse wurde ebenfalls in einer VBA-Routine umgesetzt. Die Frequenzbandanalyse (mittels Fast Fourier Transformation) hingegen wurde durch das Auswerteprogramm kubios-hrv (Tarvainen et al. 2014) durchgeführt.

Für die Auswertung der objektiven Beanspruchung wurden die relativen Abweichungen folgender Beanspruchungswerte zu den Baselines herangezogen:

- Herzfrequenzvariabilität: $HRV [ms] = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^n HRV(m)}{n}}$, mit $HRV(m) = (IBI_m - IBI_{m-1})^2$
- Verhältnis der normalisierten spektralen Leistungsdichten: $\frac{psd LF_{norm}}{psd HF_{norm}} * 100, [\%]$

4.5.3 Okulomotorische Beanspruchungsreaktionen

Für den objektiven okulomotorischen Beanspruchungsparameter wurden die folgenden Rohdaten der Pupillenfläche zur Weiterverarbeitung exportiert:

1. all frequencies, no sampling (AFNS), zum Bereinigen weiterer Artefakte, da hierbei kein Sampling und keine Interpolation der Daten stattfand - entspricht den ungefilterten und unbearbeiteten Sensordaten und

²⁸ Der Filter ist durchlässig gegenüber Herzfrequenzen zwischen 150 und 38 Schlägen pro Minute.

2. eyetracking - eye frequency, als reguläre Datenbasis für linkes und rechtes Auge
- entspricht sampling der Sensordaten auf 60 Hz.

Der Export erfolgte pro Aufnahme (Versuchsaufgabe) als Textdatei, welche in Microsoft Excel 2010 importiert wurde. Die Qualität der Rohdaten war für eine weitere Verarbeitung nicht zufriedenstellend. Der eigentlichen Ermittlung der Beanspruchungswerte ging somit eine Bereinigung der Daten von bestimmten Artefaktmustern voraus, die im Folgenden beschrieben wird (siehe auch Anhang 31). Die Ursachen der Artefakte waren, wie auch bei der Herzfrequenzmessung, auf das Messinstrument zurückzuführen und traten z. B. als Folge eines Lidschlusses oder einer Kamerastörung auf.

Die Artefaktdetektion erkannte folgende Muster:

1. keine Werte, z. B. durch Lidschluss oder Kameraausfall;
2. Abweichung vom gleitenden Mittelwert (Intervall: 333 ms²⁹) \pm zweifache Standardabweichung, z.B. durch teilweise Verdeckung der Pupille durch das Augenlid und
3. sich wiederholende Werte, z. B. durch systemseitige Interpolation bei Lidschluss oder Kameraausfall.

Im Fall 1 (keine Messwerte) wurden die Rohdaten um die „Leerstellen“ reduziert. Örtliche Informationen der „Leerstelle“, wie Zeilennummer und Zeitstempel, blieben erhalten.

In den Fällen 2 und 3 wurden im Rahmen der Artefaktkorrektur die Originalwerte gelöscht, was zu Leerstellen in den Daten führte. Die Informationen über die Leerstellen (Fall 2 und 3) wurden auf den zweiten Datensatz (eyetracking - eye frequency) übertragen. Die nun auch in diesem Datensatz entstandenen Leerstellen wurden mittels geradliniger Interpolation zwischen dem Wert vor Leerstellenanfang und dem Wert nach Leerstellenende aufgefüllt:

$$\Delta A = A_z - A_a$$

mit ΔA Änderung der Pupillenfläche; A_a , A_z Pupillenfläche vor Leerstellenanfang und nach -ende

$$\Delta n = z - a$$

mit Δn Zeilenanzahl der Leerstelle; a , z Zeilennummer vor Leerstellenanfang nach -ende

$$A_{\text{Füllung}} = A_a + \frac{\Delta A}{\Delta n} * m_n, \text{ mit } m_n \in \mathbb{N}^{>0} \text{ und } 1 \leq m_n \leq \Delta n$$

mit m_n n-te Position in Leerstelle

Formel 8: Ermittlung des Füllwertes pro Leerzeile zur geradlinigen Interpolation

Abschließend wurden die Rohdaten entsprechend des Zeitraums der Versuchsaufgabe beschnitten. Falls keine Informationen zum Bearbeitungsanfang bzw. -ende verfügbar waren, wurden jeweils 500 ms vom Anfang und Ende gekürzt. Damit wurde sichergestellt, dass keine technischen Produktmerkmale, z. B. Aufnahmeverzögerung am Anfang und Einfrieren der Kameras am Ende, die Beanspruchungswerte verfälschen.

²⁹ Eine Intervalllänge von 333 ms entspricht bei einer AFNS Samplefrequenz von 90 Hz (d. h. Messwerten pro Sekunde) 30 Messwerten.

Für die Auswertung der objektiven Beanspruchung wurde die mittlere prozentuale Abweichung der Pupillenfläche (average percentage change in pupil size (APCPS), z. B. Iqbal et al. 2004, Gao et al. 2013) zur Baseline herangezogen:

$$APCPS [\%] = \frac{\sum_{n=1}^m \left(\frac{A_t - A_0}{A_0} \right)}{m}$$

mit A_0 Mittelwert der Baseline-Pupillenfläche, A_t Pupillenfläche zur Zeit t , m Anzahl der Messwerte

Formel 9: Berechnung der APCPS

Die dargestellten Berechnungen wurden für jeweils beide Augen durchgeführt. Eine Mittelwertbildung über beide Augen erfolgt erst im Rahmen der statistischen Auswertung.

4.5.4 Leistungsdaten: Prozessüberwachungsaufgabe (Balkenaufgabe)

Die Prozessüberwachungsaufgabe wurde den Versuchspersonen über eine Visual Basic Programmumgebung dargeboten (siehe Anhang 19 für ausführliche Beschreibungen). Neben der Darbietung ermöglichte diese Programmumgebung auch den Export der Prozessdaten als Textdatei.

Über einen VBA-Algorithmus wurde die *.txt-Datei in Microsoft Excel 2010 eingelesen und ausgewertet. Die Auswertung umfasste neben dem Einlesen der Rohdaten, Aggregieren und Berechnen der Leistungswerte folgende Schritte: Identifizieren von hits, misses, false-hits (nach Länge und Farbe) und mittlere Reaktionszeiten sowie Zuordnen der Ereignisse/ Nichtereignisse zum Zeitbereich eines etwaigen Pegelausgleichs. Hierzu sind zwei Erläuterungen notwendig:

1. Zuordnen der Ereignisse/ Nichtereignisse zu einem Zeitbereich: Reagierte die Versuchsperson nicht auf ein Ereignis, wurde der veränderte (neue) Zustand nicht geloggt. Fand dies am Ende eines Zeitbereiches zur Prozessüberwachung statt, schloss das Balkendiagramm und der Zustand der Balken wurde eingefroren - damit ist Zeitbereich 1 zu Ende. Begann nun ein neuer Zeitbereich 2 (z. B. Prozessüberwachung bei neuer Versuchsaufgabe), wurde das Balkendiagramm mit dem eingefrorenen Zustand geöffnet. Der Zustand der Balken veränderte sich weiter zufallsgeneriert. Für die Auswertung resultierten für beide Zeitbereiche unterschiedliche Interpretationen:
 - a. Zeitbereich 1: Die Nichtreaktion wurde als „miss“ gewertet.
 - b. Zeitbereich 2: Das nicht geloggte Ereignis (Zeitbereich 1) und somit die fehlende Übereinstimmung zwischen Log- und Ist-Zustand war der Eingangszustand für Zeitbereich 2. Damit bestand erneut die Möglichkeit, dass die Versuchsperson den Unterschied zwischen geloggttem und Ist-Zustand wahrnahm und reagierte (als hit, false hit oder miss). Daraus folgte, dass die Auswerteroutine ereignisbezogen auch zeitbereichsübergreifend analysieren musste.
2. Etwaiger Pegelausgleich: Die Visual Basic Programmumgebung wurde immer dann in den Vordergrund geschaltet, wenn ein Pegelausgleich eingeleitet wurde - unerheblich, ob fehlerhaft oder bewusst. So wiesen manche Versuchspersonen mehr als 41 Zeitbereiche auf. Die eindeutige Zuordnung eines Zeitbereiches zu einer Versuchsaufgabe erfolgte erst auf Basis ergänzender Informationen bei der Zusammenführung der Daten aller Versuchsaufgaben.

Die Leistungswerte wurden in Microsoft Excel eingelesen und für die Zusammenfassung der Versuchsperson den einzelnen Versuchsaufgaben zugeordnet. Um die Ergebnisse zu validieren, wurden sieben Versuchspersonen stichprobenartig manuell ausgewertet (Anteil an den Gesamtdaten ca. 3 %) ³⁰. Es wurden keine Abweichungen bzw. Fehler festgestellt.

4.5.5 Leistungsdaten: Erfüllungsgrad Zusatzaufgabe

Aufgrund der inhaltlichen sowie strukturellen Unterschiede in den Zusatzaufgaben stützte sich deren Auswertung auf die Ergebnisse der einzelnen Bearbeitungsschritte (ausführliche Beschreibungen der Aufgabeninhalte und eine Übersicht über die Bearbeitungsschritte siehe Unterabschnitt 4.3.2 und Anhang 9 bis 14).

Die Auswertung der Zusatzaufgaben erfolgte manuell oder automatisiert per VBA-Algorithmus:

Tab. 4.4 Auswertevorgehen je Zusatzaufgabe und deren Alternativen

Aufgabenbeschreibung		Auswertevorgehen und -kriterien
Zutrittskontrolle	LIP = 1, Alt. 1-3 Freigabe des Zugangs	automatisiert
	LIP = 1, Alt.4-6 Anmeldung einer Instandhaltungsfirma	automatisiert
	LIP = 2, Alt. 1 Vervollständigen der Eingabemaske	automatisiert
	LIP = 2, Alt. 2-3 Vervollständigen der Eingabemaske	manuell: Vollständigkeit
	LIP = 3, Alt. 1-2 Prüfen der Zugangsberechtigung	automatisch
Instandhaltung	LIP = 2, Alt. 1-2 Instandhaltung an einer Wehranlage	automatisch
	LIP = 3, Alt. 1 Problemsuche	manuell: Vollständig-& Sinnhaftigkeit
	LIP = 3, Alt. 2 Dokumentation einer Störungsmeldung	manuell: Vollständig-& Sinnhaftigkeit
administrative Aufgaben	LIP = 1, Alt. 1-2 schiffahrtspolizeiliche Mitteilung	manuell: Vollständigkeit
	LIP = 1, Alt. 3-6 Anpassen der Gültigkeit von Prozessunterlagen	manuell: Vollständigkeit
Aufgaben	LIP = 2, Alt. 1 Erstellen einer Statistik	automatisch
	LIP = 2, Alt. 2-4 Markieren von ungültigen Prozessunterlagen	manuell: Vollständigkeit
	LIP = 3, Alt. 1-2 Optimierungsvorschläge erarbeiten	manuell: Sinnhaftigkeit
	Zusammenfassung:	manuell: 15 automatisiert: 12

Legende: LIP – level of information processing (Ebenen der Informationsverarbeitung), Alt. - Alternative

Der Leistungsparameter „Erfüllungsgrad“ lässt sich zusammenfassen als das Verhältnis der richtig durchgeführten zu den vorgegebenen richtigen Bearbeitungsschritten. Je nach Pegelausgleichszeit und persönlicher Bearbeitungsstrategie konnten auch mehrere Zusatzaufgaben bearbeitet werden. In diesem Fall wurden die Verhältnisse der richtigen zu den gesamten Bearbeitungsschritten über alle Zusatzaufgaben während einer Versuchsaufgabe addiert.

Immer wenn die Varianz im Bearbeitungsverhalten hoch ausgeprägt war, wurde eine manuelle Auswertung bevorzugt. Die manuelle Auswertung erfolgte moderiert durch eine Inputbox ³¹. Damit war es während des Datenimports möglich, den vorab definierten Auswertehalt für die entsprechende Zusatzaufgabe direkt mit den Bewertungsergebnissen zu kombinieren. Zur Absicherung der Reliabilitätsanforderungen erfolgte die manuelle Auswertung der Leistungsdaten im 4-Augen-Prinzip mit einer wissenschaftlichen Hilfskraft, die nicht an den Versuchen bzw. der Versuchsvor- und -nachbereitung beteiligt war.

³⁰ 38 Zeitbereiche bei sieben Versuchspersonen; 41 Zeitbereiche x 29 Versuchspersonen
→ 1189 Gesamtzeitbereiche → 38/1189=3,2 %

³¹ Ein Programmcode, welcher eine Mitteilung (MessageBox) um Eingabefunktionen erweitert.

In Anknüpfung an die Beschreibungen aus Unterabschnitt 4.3.2 und für eine bessere Nachvollziehbarkeit der Auswertung werden nun drei Aufgaben anhand ihrer Bearbeitungsschritte aufgeschlüsselt und exemplarisch bewertet.

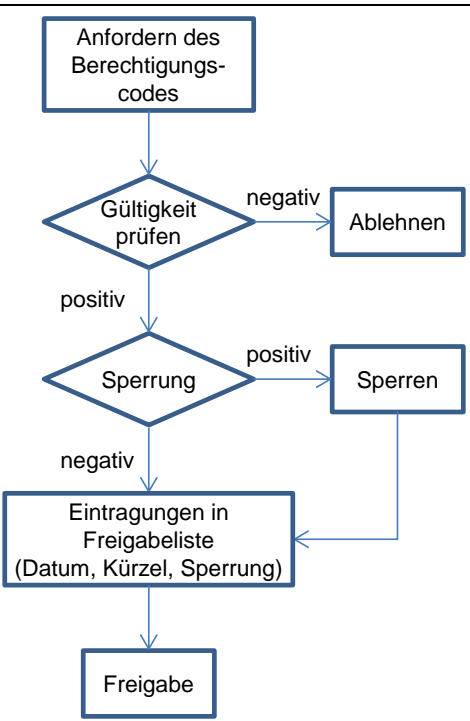
Zusatzaufgabe „Zutrittskontrolle“

Die Zusatzaufgaben vom Typ „Zutrittskontrolle“ wurden bei längeren Pegelausgleichszeiten zur freiwilligen zusätzlichen Bearbeitung angeboten. Vor Versuchsbeginn wurden die Versuchspersonen instruiert, dass auch die Anzahl der bearbeiteten Zusatzaufgaben ausgewertet würde. Als Leistungsparameter wurden erstens „Anzahl der bearbeiteten Zusatzaufgaben“ und zweitens „Anzahl nicht vollständig bearbeiteter Zusatzaufgaben“ erhoben. Der zweite Leistungsparameter wurde zur Objektivierung des ersten Parameters eingeführt, da:

1. individuelle Bearbeitungsstrategien der Versuchspersonen zeigten, dass Zutritts-gesuche wiederholt ohne Anfordern des Berechtigungs-codes abgelehnt oder freigegeben wurden. Das resultierte in einer hohen Anzahl von abgefragten Zusatzaufgaben, allerdings mit einem niedrigen Erfüllungsgrad;
2. der Beginn einer weiteren Zusatzaufgabe an das Ende der Pegelausgleichszeit fallen konnte. Dann konnte die Zusatzaufgabe nicht sinnvoll bearbeitet werden und musste abgebrochen werden. Das Ergebnismuster wies dann eine erwartete Anzahl von abgefragten Zusatzaufgaben und Erfüllungsgrad auf.

Tab. 4.5 fasst die Bearbeitungsschritte mit Aus- und Bewertungspositionen zusammen:

Tab. 4.5 Bearbeitungsschritte, deren Auswertung und Bewertung für die Zusatzaufgabe „Zutrittskontrolle“

Bearbeitungsschritte	Auswertung	Einzelbewertung	Gesamtbewertung
	<p>1. ja/ nein</p> <p>2a. ja/ nein</p> <p>3. ja/ nein</p> <p>*</p> <p>2b. ja/ nein</p>	<p>insgesamt 2-3</p> <p>Schritte = 1/2</p> <p>wenn 2a = 1/2 = 1/3</p> <p>wenn 2b = 1/3</p> <p>= 1/2 (wenn nicht 2b)</p> <p>= 1/3</p> <p>= 1/3 (wenn nicht 2a)</p>	<p>= 1/2</p> <p>= 1/3</p> <p>= 2/2 = 1 → Ende</p> <p>= 2/3</p> <p>= 3/3 = 1 → Ende</p>

*Die Eintragungen von Datum, Kürzel und Sperrung wurden nicht ausgewertet, da nicht für alle Aufgaben dieses Typs eindeutig bestimmt werden konnte, wann über den Versuchstag die Einträge vorgenommen wurden.

Zusatzaufgabe „Anpassen der Gültigkeitsdauer der Prozessunterlagen“

Im Rahmen dieser Zusatzaufgabe wurden die Versuchspersonen gebeten, elf bestimmte Datumsangaben anzupassen und deren Zellhintergrund „Grün“ zu markieren. Das resultierte in insgesamt 22 Bearbeitungsschritten (siehe Tab. 4.6).

Tab. 4.6 Bearbeitungsschritte, deren Auswertung und Bewertung für die Zusatzaufgabe „Anpassen der Gültigkeitsdauer der Prozessunterlagen“

Bearbeitungsschritte	Auswertung	Einzelbewertung	Gesamtbewertung
<pre> graph TD A[Markierter Datumseintrag in Tabelle] --> B[Datum anpassen] B --> C[Zellhintergrund anpassen] C --> D{Tabellenende} D -- ja --> E[Beenden] D -- nein --> A </pre>	1. ja/ nein 2. ja/ nein	für 11 Einträge insgesamt 22 Schritte = 1/22 = 1/22	= 1/22 = 2/22 für 11 Einträge = 11 x 2/22 = 1 → Ende

Zusatzaufgabe „Dokumentation einer Störungsmeldung“

Bei dieser Zusatzaufgabe wurden die Versuchspersonen gebeten, in einem vorgefertigten Formular eine Störungsmeldung zu dokumentieren. Diese Zusatzaufgabe steht ebenfalls stellvertretend für Zusatzaufgaben mit einer hohen Varianz im Bearbeitungsvorgehen. Im Gegensatz zur Zusatzaufgabe „Anpassen der Gültigkeitsdauer der Prozessunterlagen“ wurde die hohe Varianz aufgrund der freien Texteingabe erwartet. Tab. 4.7 fasst die Bearbeitungsschritte zusammen.

Tab. 4.7 Bearbeitungsschritte, deren Auswertung und Bewertung für die Zusatzaufgabe „Dokumentation einer Störungsmeldung“

Bearbeitungsschritte	Auswertung	Einzelbewertung	Gesamtbewertung
<pre> graph TD A[Störungsmeldung lesen] --> B[Titel der Störungsmeldung] B --> C[Problem-beschreibung] C --> D[Auftrag an Instandhaltung] D --> E[Beenden] </pre>	1. vollständig ja/ nein 2. vollständig ja/ nein 3. vollständig ja/ nein	= 1/5 = 1/5 = 1/5	= 1/5 = 2/5 = 3/5 zzgl. Sinnhaftigkeit (max. 2/5)* = 3/5 + 2/5 = 1 → Ende

*Angabe der Sinnhaftigkeit über alle Auswertungsschritte: 0 entspricht „nicht sinnvoll“, 2 entspricht „sinnvoll“

4.5.6 Sonstige Leistungsdaten

Neben dem Erfüllungsgrad wurden weitere Leistungsparameter der Aufgabenbearbeitung erfasst: Anzahl der Bedienfehler, Anzahl richtiger Mathematikaufgaben, Anzahl richtiger Antworten auf Kontrollfragen und ggf. an die Versuchsperson zurückgemeldet Feedback zum Bearbeitungsverhalten. Diese Leistungsparameter werden im Folgenden kurz erläutert.

Anzahl der Bedienfehler

Das Auftreten von Bedienfehlern wurde als kurzfristige Beanspruchungsfolge interpretiert, welche direkt proportional zur Belastung ausgeprägt sein sollte. Alle potenziell möglichen Bedienfehler wurden gleich gewichtet, so dass in die Auswertung nur die Anzahl der Bedienfehler pro Versuchsaufgabe einfluss (siehe auch Anhang 9.).

Anzahl richtiger Mathematikaufgaben

Auch wenn ursprünglich anders intendiert, wurden die als Störgeräusch eingebrachten Mathematikaufgaben von allen Versuchspersonen ernsthaft bearbeitet (siehe Diskussion im Abschnitt 4.3.2). Damit erschien auch die Auswertung der Bearbeitungsleistung zielführend. In die Auswertung wurde das Verhältnis der Anzahl richtiger Antworten zur Gesamtanzahl einbezogen.

Anzahl richtiger Antworten auf Kontrollfragen

Traten während der Versuchsaufgabe Störungs- oder schiffahrtspolizeiliche Meldungen auf, wurden die Versuchspersonen nach Versuchsaufgabende zu diesen Meldungen befragt. Die Befragung verlief standardisiert anhand von Multiple-Choice-Fragen. Es wurden die genannten richtigen Antworten im Verhältnis zu den möglichen richtigen Antworten ausgewertet.

Rückmeldung zum Bearbeitungsverhalten

Für die Datenqualität war es entscheidend, dass die Versuchspersonen die Versuchsaufgaben so gewissenhaft wie möglich bearbeiten. Da keine direkten Konsequenzen bei nicht gewissenhafter Bearbeitung drohten, wurde nach Alternativen gesucht, um die benötigte Ernsthaftigkeit zu gewährleisten. Bei der Planung der Versuche wurde sich gegen Konzepte wie beispielsweise Belohnung oder Bestrafung entschieden, um nicht intendierte psychologische Wechselwirkungen zu vermeiden. Die Alternative stellte eine konstruktive Rückmeldung zum Bearbeitungsverhalten dar. Die Rückmeldung an die Versuchsperson erfolgte bei Bedarf als schriftliche Mitteilung direkt auf dem Versuchsstand, z. B. „Bitte schneller Arbeiten“ (siehe Anhang 32). In die Auswertung floss die Anzahl und Art der pro Versuchsaufgabe ausgelegten Kärtchen ein.

4.5.7 Kontrollvariablen

Die Kodierung der Kontrollvariablen unterschied sich in Abhängigkeit zur verwendeten Skala:

Bei kontinuierlichen Skalen, z. B. Intervallskalen für Gewicht oder Größe, wurde eine Medianteilung (median split) der Versuchspersonengruppe für jede Variable vorgenommen. Die Versuchspersonen wurden entsprechend ihrer Datenwerte der Teilgruppe oberhalb bzw. unterhalb des Median zugeordnet und mit „0“ und „1“ kodiert. Damit wurde das Skalenniveau in eine Binärskala verändert.

Bei Kategorienskalen, das sind Binärskalen (bspw. Geschlecht oder Händigkeit), Nominalskalen (bspw. Sehhilfe oder Medikamente) und Ordinalskalen (bspw. Body Mass Index), wurde eine Kodierung entsprechend der Klassen vorgenommen, z. B. „rechtshändig - 0“ und „linkshändig - 1“.

4.5.8 Aufbereitung der Daten für die Überführung in SPSS

Vor dem SPSS-Import wurden die Daten erneut bereinigt. Hierbei wurden im ersten Schritt alle kardiologischen Beanspruchungswerte ausgeschlossen, die mehr als 5 % bereinigte Datenpunkte aufwiesen (Mulder 1988, 1992). Im nächsten Schritt wurden Ausreißer nach Grubbs (1969) iterativ entfernt. Im Mittel führte die Bereinigung zu einer Datenreduktion um 4 %, mit einem Maximum von ca. 19 %.

Vor dem Import der Daten in SPSS wurden diese kodiert und in Abhängigkeit des Ziels der Auswertung zusammengestellt (siehe Abb. 4.6 auf Seite 68).

4.5.9 Überprüfung der Integrität der Daten

Die Verarbeitung der Rohdaten, ihre Aggregation, die Berechnung von Beanspruchungswerten sowie die Kodierung und letztlich der SPSS-Import stellten potenzielle Fehlerquellen dar. Um damit einhergehende Fehler zu minimieren bzw. die Integrität der Daten zu gewährleisten, wurden folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Gegenüberstellung der per Algorithmus ermittelten mit exemplarisch händisch ermittelten Ergebnissen für jeden Verarbeitungsschritt;
- stichprobenartige Kontrolle der Reihenfolge und richtigen Zuordnung zur Versuchsaufgabe und Versuchsperson für die Zusammenfassung ($n = 5$, entspricht 17 %) und
- Prüfen aller aufgetretenen Asymmetrien in den Daten mit iterativer Beseitigung/Deklaration als nachvollziehbar (Asymmetrien traten auf z. B. durch Fehler in der Programmsteuerung, Anpassen des Versuchsablaufes oder nicht aktuelle Auswertungsdateien).

Vor dem abschließenden Export der Daten nach SPSS erfolgte die Überprüfung der Datenintegrität stichprobenartig nach dem 4-Augen-Prinzip bei acht der 41 Versuchsaufgaben für jeweils zwei unterschiedliche Versuchspersonen. Das entsprach einer Quote von ca. einem Prozent³². Hierbei wurden neben der Vollständigkeit, Reihenfolge und Richtigkeit der Daten auch deren Kodierung für SPSS überprüft.

³² Stichprobe: 40 Datenpunkte pro Aufgabe × 8 Aufgaben × 2 Versuchspersonen → 640 Datenpunkte; Gesamt: 40 Datenpunkten pro Aufgabe × 41 Aufgaben × 29 Versuchspersonen → 47560 Datenpunkte; Quote 1,3 %. Die ungefähre Durchführungsdauer für ca. 640 Datenpunkte betrug acht Stunden.

4.6 Auswertung

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Laborstudie präsentiert. Dazu werden eingangs die statistischen Testverfahren vorgestellt, gefolgt von den Versuchsergebnissen. Den Abschluss bildet ein Unterabschnitt zur Bestimmung der Prognosegüte des fuzzyCTL-Modells.

Abb. 4.7 fasst die Datensätze und angewandten Testverfahren für die Überprüfung der Hypothesen und der Prognosegüte zusammen. Das Untersuchungsdesign entsprach einer Versuchsdurchführung mit Messwiederholung (repeated measures design). Um die damit verbundenen Wechselwirkungen der Versuchsperson mit dem Versuchssetting (Personenfaktor) zu berücksichtigen, wurden die entsprechenden Testverfahren für Messwiederholung bzw. verbundene Stichproben eingesetzt.

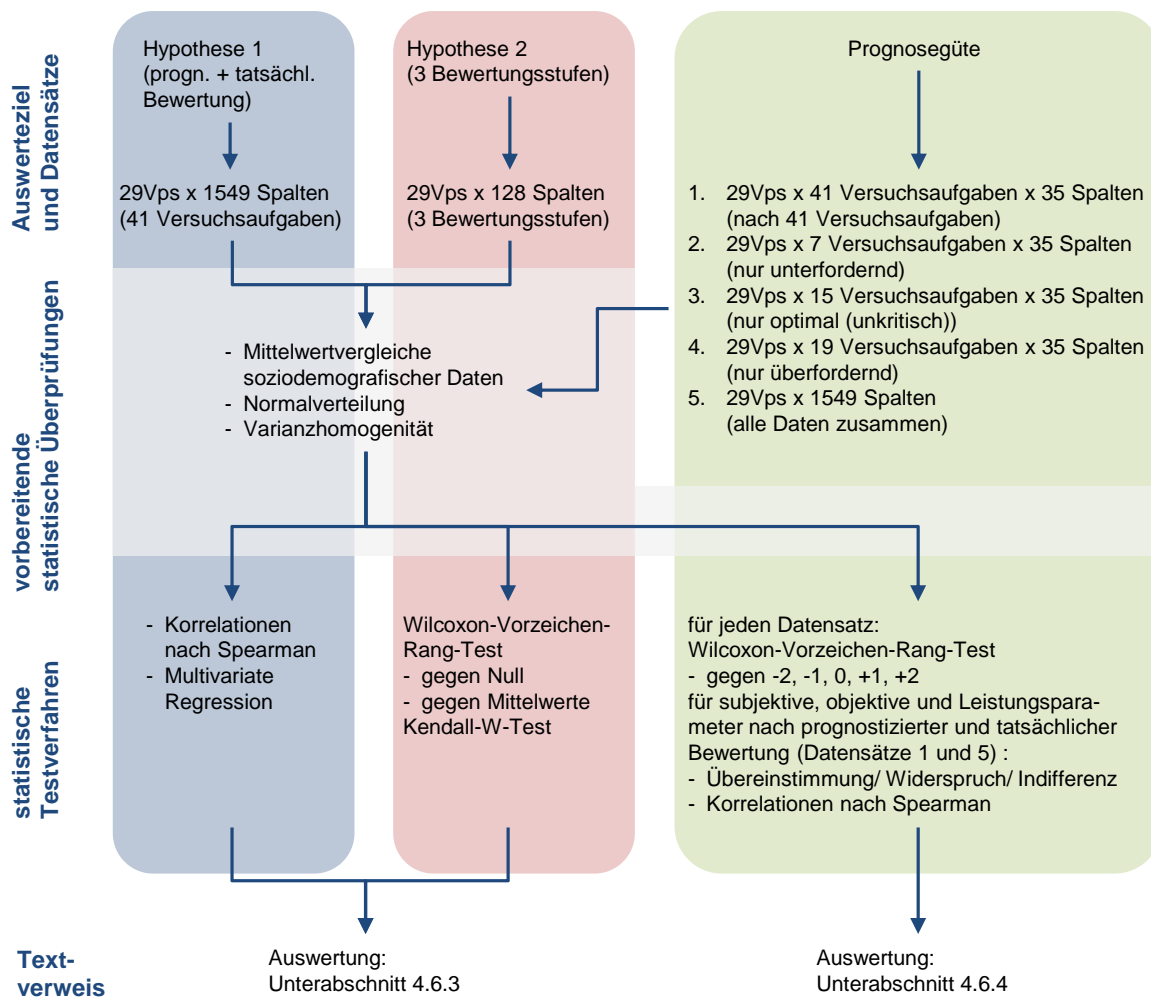


Abb. 4.7 Übersicht über statistische Testverfahren; Vps - Versuchspersonen

4.6.1 Hinweise zur Auswertung

Anforderungen an parametrische Auswertung

Bevor die eigentliche statistische Auswertung der Daten beginnen kann, muss analysiert werden, mit welcher Art statistischer Tests die Auswertung erfolgen kann. Für die Auswertung der Daten müssen Voraussetzungen erfüllt werden. Je nach Erfüllung der Voraussetzungen kommen parametrische oder nonparametrische Testverfahren zur Anwendung. Analog zu z. B. Field (2009) wurden dazu Normalverteilungen (Shapiro-Wilk-Test) und Varianzhomogenitäten (dichotome Daten: Levene's Test, mehr als zwei Gruppen: einfaktorielle ANOVA) überprüft. Der Shapiro-Wilk-Test

wurde zu Gunsten der Genauigkeit bei größeren Stichproben dem Kolmogorov-Smirnov-Test vorgezogen. Die Überprüfung wurde für alle verwendeten Teil- und Gesamtdatensets durchgeführt. Die Unabhängigkeit zwischen Versuchspersonen wurde angenommen. Die bereits teilgenommenen Versuchspersonen wurden unterwiesen, sich nicht mit anderen zukünftig noch teilnehmenden Versuchspersonen auszutauschen.

Multivariate Regression

Die Belastung wurde beschrieben durch die drei Faktoren „Aufgabensetwechsel“ (TSS), „Ebenen der Informationsverarbeitung“ (LIP) und „zeitliche Auslastung“ (TO). Welche Kombination dieser Belastungsfaktoren die jeweilige Beanspruchungsgröße am besten modelliert, wurde mittels multivariater Regression (hierarchischer Einschluss) ermittelt. Es ergaben sich sieben verschiedene Regressionsmodelle³³.

Um ein Regressionsmodell zu berechnen, mussten ebenfalls Voraussetzungen erfüllt werden (siehe Field (2009)). Alle Bedingungen wurden auf Einhaltung überprüft. Besonders soll an dieser Stelle hervorgehoben werden, dass auch nicht normalverteilte Daten, wie bei den hier verwendeten Daten der Fall, einer Regressionsanalyse unterzogen werden können (Field 2009). Im Folgenden werden die beiden Bedingungen Multikollinearität und fehlende Autokorrelationen detaillierter betrachtet bzw. das „korrigierte R²“, als Maß der Übertragbarkeit auf eine andere Stichprobe, thematisiert. In Bezug auf die hier auszuwertenden Daten wurde die Auswertung durch IBM SPSS in diesen drei Bereichen angepasst bzw. ergänzt.

Multikollinearität liegt vor, wenn zwei oder mehr unabhängige Variablen in einem starken Zusammenhang miteinander stehen. Ist dies der Fall, kann der Einfluss einer einzelnen Variablen nicht eindeutig bestimmt werden, was sich nach Field (2009) negativ auf die Regressionskoeffizienten, Varianzaufklärung und den Einfluss (Wichtung) der unabhängigen Variablen auswirkt. Um die Zusammenhänge zwischen unabhängigen Variablen zu überprüfen, wurden die Toleranzstatistik und der mittlere Varianzinflationsfaktor $\overline{VIF} = \frac{\sum_{i=1}^k VIF_i}{k}$ ausgewertet. Grundlegend besteht keine Multikollinearität, bei $VIF_i < 10$, $\overline{VIF} \sim 1$ und Toleranz $> 0,2$.

Autokorrelation beschreibt den internen Zusammenhang zwischen den Messwerten einer Variablen, der für eine hohe Generalisierbarkeit möglichst gering ausgeprägt sein sollte. Dies kann mittels des Durbin-Watson-Tests (Durbin und Watson 1950) überprüft werden. Unter den hier vorliegenden Rahmenbedingungen ($N \sim 1000$, $df = 2$, $df = 3$) errechneten sich die Intervalle $[1,9 \leq DW(df = 2) \leq 2,1; 1,898 \leq DW(df = 3) \leq 2,102]$ für fehlende Autokorrelationen (nach Durbin und Watson 1950). Für Testergebnisse $DW \ll 1,9$ würden positive, für Testergebnisse $DW \gg 2,1$ negative Autokorrelation vorliegen.

Die durch das Regressionsmodell ermöglichte Varianzaufklärung hängt von den Eigenschaften der Stichprobe ab, auf deren Basis das Regressionsmodell entstand. Um die Qualität der Vorhersage für andere Stichproben zu bewerten, ist eine Korrektur der Varianzaufklärung erforderlich. Die von IBM SPSS regulär verwendete Wherry-Formel-1 wurde für diese Korrektur von Yin und Fan (2001) als zu schwach eingestuft. Alternativ wurde von Field (2009) die Korrektur nach Stein empfohlen, die auch hier Verwendung fand:

³³ 1. TSS; 2. LIP; 3. TO; 4. TSS& LIP; 5. TSS& TO; 6. LIP& TO; 7. TSS& LIP& TO

$R_{korr}^2 = 1 - \left[\left(\frac{N-1}{N-k-1} \right) \times \left(\frac{N-2}{N-k-2} \right) \times \left(\frac{N+1}{N} \right) \right] \times (1 - R_{orig}^2)$, mit R_{korr}^2 korrigierte Varianzaufklärung, N Stichprobengröße, k Anzahl der unabhängigen Variablen, R_{orig}^2 originale Varianzaufklärung

Formel 10: Korrektur der Varianzaufklärung nach Darlington(bzw. Stein) (Claudy 1978)

Das Regressionsmodell mit der höchsten korrigierten Varianzaufklärung und Effektstärke aus der Modell-ANOVA (ω) wurde ausgewählt, wenn die Tests auf Multikollinearität (VIF- und Toleranz-Werte) sowie fehlende Autokorrelationen (Durbin-Watson-Test) unkritische Ergebnisse auswiesen.

Mittelwertvergleiche

Für den Vergleich der Beanspruchungs- und Leistungsparameter pro Beanspruchungsstufe „unterfordernd“, „optimal (unkritisch)“ und „überfordernd“ wurden nonparametrische Mittelwertvergleiche durchgeführt: 1) Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test: 1a) gegen 0 und 1b) gegen die einzelnen Mittelwerte und 2) Kendall-W-Test mit post hoc Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test. Mit 1) wurde überprüft, ob die Mittelwerte überhaupt signifikant von Null abweichen (1a), und ob sich die drei Bewertungsstufen, d.h. deren Mittelwerte, signifikant voneinander unterscheiden (1b). Der Kendall-W-Test gab Auskunft über die Übereinstimmung unter den Versuchspersonen und der post hoc durchgeführte Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test gab Auskunft über Bindungen zwischen den untersuchten Mittelwertstichproben. Wichtig ist zu ergänzen, dass beim nonparametrischen Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test nicht die eigentlichen Mittelwerte auf Unterschiede zueinander untersucht wurden, sondern deren mittlere Ränge. Je niedriger die Bindungen zwischen zwei Mittelwertstichproben, desto größer die Eindeutigkeit der Ränge und somit die Wahrscheinlichkeit der Unabhängigkeit der Stichproben voneinander. Es wurden die Mittelwerte von unterfordernd (u) mit optimal (unkritisch) (o) und überfordernd (ü), o mit ü und u sowie ü mit u und o verglichen. Die jeweils drei Paarvergleiche erforderten eine Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni: $p < \frac{\alpha}{\text{Anzahl Paarvergleiche}} = \frac{0.05}{3} = .0167$. Die Effektstärke berechnete sich für den Paarvergleich (respektive doppelte Stichprobengröße) mit: $r = \frac{z}{\sqrt{2N}}$; mit z-Statistik aus Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (1b).

4.6.2 Allgemeines und Kontrollvariablen

Um einen Überblick über die Vielzahl der Kontrollvariablen zu erhalten, wurden diese erst deskriptiv ausgewertet. Um zu überprüfen, ob ein signifikanter Einfluss einer Kontrollvariablen auf die abhängigen Variablen vorlag, wurden Mittelwertvergleiche berechnet. Die Ergebnisse werden am Ende dieses Unterabschnitts vorgestellt.

Allgemeines

Insgesamt nahmen 30 Versuchspersonen an den Hauptversuchen teil. Abzüglich eines abgebrochenen Versuches konnten 29 Versuchspersonen für die Auswertung herangezogen werden. Die Hauptversuche fanden im Zeitraum von Mitte Juli bis Ende Oktober 2015 statt.

Im Abschlussgespräch wurde gefragt, ob sich die Arbeitsplatzgestaltung bzw. Arbeitsmittelgestaltung negativ auf die Bearbeitung der Versuchsaufgaben auswirkte. Aus Tab. 4.8 wird ersichtlich, dass die Aufgabenerfüllung nicht durch die Gestaltung des Arbeitsplatzes beeinträchtigt wurde. Zwei Versuchspersonen (entsprach 7 %) bemerkten gegen Ende (die letzten fünf Versuchsaufgaben, ca. 30 min) ein körperliches Unbehagen beim Sitzen. Hinsichtlich der Anwendbarkeit des Arbeitsmittels „grafische Benutzungsschnittstelle“ kann festgehalten werden, dass diese trotz der

bekanntem Gestaltungsdefizite³⁴ von 19 Versuchspersonen (entsprechen 68 %) als gut anwendbar eingestuft wurde.

Tab. 4.8 Einfluss der Gestaltung des Arbeitsplatzes, inkl. Umgebungsfaktoren, und der Arbeitsmittel auf die Aufgabenbearbeitung (n = 28)

1. Körperliche Empfindungen durch Gestaltung des Arbeitsplatzes:	26 nein, entspricht 93 %	2 ja, gegen Ende, entspricht 7 %
2. Anwendbarkeit der Benutzungsschnittstelle:	19 gut anwendbar, entspricht 68 %	9 nicht gut anwendbar, entspricht 32 %

Antwortmöglichkeiten: Nein, Ja

Kontrollvariablen

Die Kontrollvariablen werden in Tab. 4.9 zusammengefasst. Die deskriptiven Ergebnisse der Variablen des Nutzerzustandes werden nachfolgend beschrieben.

Tab. 4.9 Kontrollvariablen der Versuchspersonen, n = 29; * Angabe durch Versuchsperson; a...Jahre (annum)

Alter ³⁵ [a]:	Ø 45,5±8,6	Min: 21	Max: 59				
Geschlecht:	4 weibl.	25 männl.					
Gewicht* [kg]:	Ø 92,1 ± 13,1	Min: 65	Max: 120				
Größe* [cm]:	Ø 180,9 ± 8,1	Min: 164	Max: 198				
Body Mass Index [kg/m ²]	Ø 28,2 ± 3,9 (übergewichtig)		Min: 23 (normalgewichtig)	Max: 42 (adipös, Grad 3)			
Sehhilfe*:	9 keine	4 Gleitsicht	9 Kurzsicht	6 Weit-sicht	1 Kontaktlin-sen		
Händigkeit*:	26 rechts	3 links,	davon 1 Versuchsstand auf links umgestellt				
Häufigkeit Sport* [pro Woche]:	0x: 9 VPs	1-2x: 9 VPs	2-3x: 4 VPs	3-4x: 3 VPs	4-5x: 1 VPs	>5x: 3 VPs	
Medikamente*:	21 keine	5 gegen hohen Blutdruck	2 Herzmedi-kamente	1 sonstige			
Rauchen*:	24 nein	5 ja					
migräneartige Kopfschmerzen*:	27 nein	2 ja, aber nicht bei Versuch					
Branche*:	5 Chemie	1 Pharma	4 Energie	5 Polizei	7 Verkehr	2 Feuer-wehr	5 sonstige
Berufserfahrung* [a]:	Ø 10,5 ± 9	Min: 1	Max: 29				
Teilnahme:	15 von AG freigestellt	14 in Freizeit					
Erfahrungen mit Excel*:	4 keine	11 wenig	9 mittel	4 gut	1 keine Antwort		
Erfahrungen mit Schleusungen*:	20 keine	3 privat	6 beruflich				
Gesamtdurchführungsdauer [h]	Ø 7,8 ± 0,5	Min: 7	Max: 9				
Versuchsdauer [h]	Ø 5,3 ± 0,4	Min: 4,75	Max: 6				
Dauer der Einführung [h]	Ø 0,8 ± 0,2	Min: 0,5	Max: 1,1				
Versuchsleitung	VL 1: 20	VL 2: 9					
Störungsempfinden durch Bearbeitung der Zusatzaufgaben	2 stimulierend	24 störend	3 weder noch				
Störungsempfinden durch Tragen des Eyetrackers	24 nein	5 ja					
Ermüdung am Ende des Versuches	21 nein	8 ja					

³⁴ Die absichtlichen Gestaltungsdefizite werden in Anhang 9 ausführlich beschrieben.

³⁵ Alter wurde nicht nach Klassen eingeteilt, da diese zu heterogen besetzt wären, hier: Mediansplit = 46 a

Die Erfassung des Nutzerzustandes erfolgte versuchsbegleitend durch zwei Skalen und einen Test: Kurzfassung des Dundee Stress State Questionnaires (DSSQ short), die Bewertungsskala der mentalen Beanspruchung (RSME) und des dual-2-back Tests.

Die Auswertung des DSSQ short zeigte, dass bei allen Versuchspersonen über die drei Erfassungszeiträume keine Unterschiede in den Antworten zu verzeichnen waren. Der Erfüllungsgrad der dual-2-back-Tests (siehe Anhang 1) $\bar{E} = 30 \pm 11\%$, $\overline{Min} = 8$, $\overline{Max} = 64$ wies eine hohe Varianz auf (sowohl innerhalb als auch zwischen den Versuchspersonen).

Überprüfen des Einflusses auf die abhängigen Variablen

Um für die Auswertung relevante Versuchspersonenvariablen zu identifizieren, wurden die entsprechenden Variablen per Mittelwertvergleich (einfaktorielle ANOVA) auf Unterschiede untersucht (siehe Anhang 33). Die Variablenliste umfasste 28 Gruppierungsvariablen und 32 abhängige Variablen. Aufgrund der miteinander in Zusammenhang stehenden Mittelwertvergleiche wurde eine α -Fehler-Korrektur nach Bonferroni vorgenommen: Die subjektiven Beanspruchungsparameter wurden mit: $p < \frac{\alpha}{\text{Anzahl Paarvergleiche}} = \frac{0.05}{3} = .0167$ korrigiert, die objektiven mit: $p < \frac{0.05}{7} = .007$ sowie die Leistungsdaten mit: $p < \frac{0.05}{19} = .003$. Es unterschieden sich ein bis zwei Prozent der Kombinationen signifikant innerhalb der Gruppen. Diese Kombinationen wiesen jedoch keine Systematik auf, z. B. Massierung bei einer abhängigen Variablen, und wurden somit als vernachlässigbar angesehen.

Auch für den Benutzerzustand konnte auf Basis der Mittelwertvergleiche kein Unterschied bezogen auf die verschiedenen abhängigen Variablen nachgewiesen werden (siehe Anhang 33 Spalten DSSQte (Bindung an Aufgabe), DSSQdis (Bedrängnis), DSSQwo (Besorgnis), Erfüllungsgrad d2b (Erfüllungsgrad des dual-2-back Tests)).

4.6.3 Beanspruchungs- und Leistungsparameter

Der Versuchsablauf umfasste 41 einzelne Versuchsaufgaben. Im Folgenden wird die Aufgabenbearbeitung anhand der subjektiven und objektiven Beanspruchungs- sowie der Leistungsparameter zusammengefasst (siehe Anhang 15 für eine detaillierte Ergebnispräsentation der einzelnen Versuchsaufgaben).

Zur Unterstützung der Lesbarkeit wird eine Begriffsklärung vorangestellt: Eine nach dem fuzzyCTL-Modell gestaltete „**intendierte Belastung**“³⁶ führte zu einer „**prognostizierten Bewertung**“. Beide modelltheoretischen Größen realisierten sich im realen Versuchsablauf in einer „**tatsächlichen Belastung**“³⁷ mit einer daraus folgenden „**tatsächlichen Bewertung**“.

Um die Ausprägungen der abhängigen Variablen (Beanspruchungs- und Leistungswerte) kontextbezogen beurteilen zu können, wird mit der Beschreibung der intendierten und tatsächlichen Belastungssituation begonnen. Die Berechnung der Belastungsfaktoren erfolgte nach Formel 12 bis Formel 14 (Seiten 136 und 137).

Intendierte und tatsächliche Belastung bei der Bearbeitung der Versuchsaufgaben

Begründet durch individuelle Bearbeitungsstrategien und fehlende Systemkenntnis seitens der Versuchspersonen wurden Unterschiede zwischen intendierter und tat-

³⁶ Aufgabensetwechsel: Soll-TSS | Ebene der Informationsverarbeitung: Soll-LIP | zeitliche Auslastung: Soll-TO

³⁷ Aufgabensetwechsel: Ist-TSS | Ebene der Informationsverarbeitung: Ist-LIP | zeitliche Auslastung: Ist-TO

sächlicher Belastung, vor allem bei den Belastungsfaktoren TSS und TO, vermutet (siehe auch Anhang 34).

Die tatsächliche Belastung lag für alle drei Beanspruchungsstufen über der intendierten Belastung, sowohl bei den Mittelwerten als auch bei der Standardabweichung (siehe Abb. 4.8). Der Unterschied zwischen intendierter und tatsächlicher Belastung wurde größer mit Zunahme der prognostizierten Bewertung, also von „unterfordernd“ zu „überfordernd“. Bei den LIP-Werten³⁸ waren intendierte und tatsächliche Werte vergleichbar ausgeprägt. Übereinstimmend mit dem Belastungsfaktor TSS erhöhte sich der LIP-Wert mit zunehmender Beanspruchung. Das Abfallen der TO mit zunehmender Beanspruchung ist durch die Auswahl der Untersuchungspunkte bedingt (siehe Abb. 4.1, Seite 52): es wurden mehr unterfordernde Versuchsaufgaben mit hoher TO bearbeitet als optimal (unkritische) bzw. überfordernde Versuchsaufgaben.

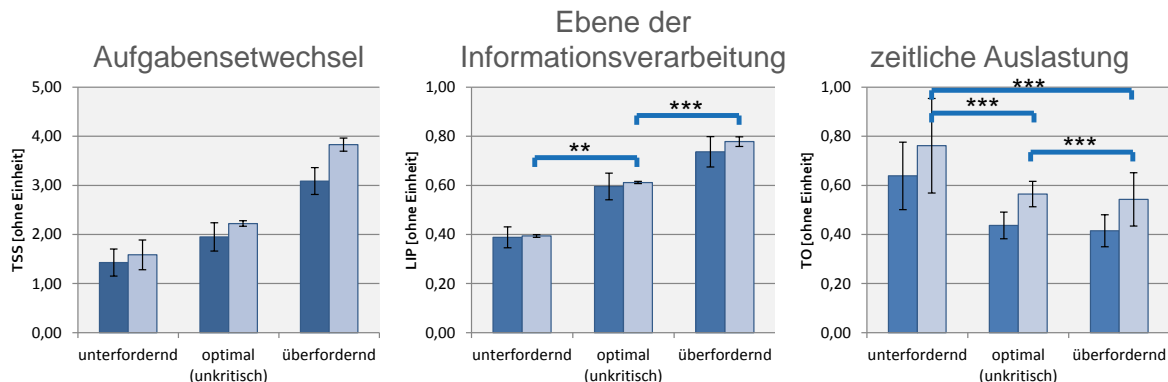


Abb. 4.8 Gegenüberstellung der intendierten und tatsächlichen Belastungsfaktoren pro Bewertungsstufe

Erläuterungen: dunkelblau - intendierte Belastung | hellblau - tatsächliche Belastung | ** - $p < .01$ | *** - $p < .001$

Alle Mittelwerte der intendierten Belastung unterschieden sich signifikant von Null sowie untereinander ($p < .001$). Das heißt, dass die unterschiedlichen intendierten Belastungen auch tatsächlich unterschiedlich waren. Bei den tatsächlichen Belastungen unterschieden sich ebenfalls alle Werte signifikant von Null. Beim Vergleich untereinander unterschieden sich vor allem die TO-Mittelwerte signifikant ($p < .001$) voneinander, mit einem hohen Übereinstimmungsgrad $w_{\text{Kendall}} = .774$ zwischen den Versuchspersonen. Die Unterschiede zwischen den Bewertungsstufen wiesen mit $\bar{r} = .59$ eine hohe mittlere Effektstärke für TO auf (siehe Anhang 34, Tab. 8.7). Das bedeutet, dass die Bearbeitungsstrategien der Versuchspersonen dazu führten, dass die unterschiedlichen prognostizierten Bewertungsstufen nur durch die tatsächliche zeitliche Auslastung (Ist-TO) wirksam wurden. Die tatsächlichen Aufgabensetwechsel (Ist-TSS) unterschieden sich zwischen den drei Bewertungsstufen nicht signifikant. Hierfür könnte eine direkte Proportionalität zum Auftreten von Zusatzaufgaben verantwortlich sein (siehe Auswertung „Zusatzaufgaben“). Für LIP waren die Testergebnisse nicht eindeutig: der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test wies nur signifikante Unterschiede zwischen „unterfordernd“ und „optimal (unkritisch)“ ($p < .01$) aus.

Wurden Zusatzaufgaben bearbeitet, erhöhten sich erwartungsgemäß die Belastungsfaktoren im Vergleich mit Versuchsaufgaben ohne Zusatzaufgabe (siehe Anhang 34, Tab. 8.8). Die Erhöhung fiel stärker für die tatsächliche Belastung aus als für die intendierte, was mit unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien begründet werden kann. Wurden die LIP-Werte im Detail betrachtet, stimmten die tatsächlichen mit den inten-

³⁸ Der Belastungsfaktor LIP ist modelltheoretisch von TO abhängig (siehe Formel 14, Seite 136), wurde aber zur Unterstützung der Aussagekraft für die Auswertung von TO bereinigt.

dierten Werten auch bei der Bearbeitung von Zusatzaufgaben überein. Die Abweichungen bei den anderen Belastungswerten entsprachen den Erwartungen. Begründet durch die bei der deskriptiven Statistik aufgezeigten Unterschiede wird auf prognostizierte und tatsächliche Bearbeitung in der weiteren Auswertung getrennt eingegangen.

Bewertungsskala mentale Anstrengung (rating scale of mental effort, RSME)

Über alle Versuchsaufgaben wurden $n = 1013$ RSME-Wertungen abgegeben, mit $RSME_{\min} = 2$ (fast keine Anstrengung) und $RSME_{\max} = 8$ (sehr starke Anstrengung). Damit wurde die zehn Bereiche umfassende Skala nicht vollumfänglich ausgeschöpft. Die personenabhängige Häufigkeitsverteilung ist in Abb. 4.9 dargestellt. Aus dem Histogramm wird ersichtlich, dass die drei prognostizierten Bewertungsstufen im Mittel zu unterschiedlichen subjektiven Beanspruchungen (RSME-Werte) führten. Bezogen auf die Häufigkeitsverteilung der RSME-Werte für die tatsächliche Bewertung gibt es ein eindeutiges Maximum $n = 301$ (ca. 30 %) bei $RSME = 4$ (etwas anstrengend) im Bereich der optimalen Beanspruchung. Die Häufigkeitsverteilung in Bezug auf die prognostizierte Bewertung zeigt zwei Maxima in den Bewertungsstufen optimal (unkritisch) mit $RSME = 4$ (etwas anstrengend) und $n = 141$ (ca. 14 %) sowie überfordernd mit $RSME = 4$ (etwas anstrengend) mit $n = 163$ (ca. 16 %). Außerdem schwankte die Bandbreite der RSME-Werte bezogen auf die tatsächliche Bewertung (rot) zwischen den Bewertungsstufen geringer als bezogen auf die prognostizierte Bewertung (blau). So werden als unterfordernd bewertete Versuchsaufgaben vorrangig mit RSME-Werten im Bereich [2...5] bewertet und überfordernd bewertete Versuchsaufgaben im Bereich [4...8]. Zu erwarten gewesen wäre eine noch klarere Unterscheidung der Häufigkeiten der RSME-Werte pro Bewertungsstufe vor allem in Bezug auf die prognostizierte Bewertung. Zusammenfassend kann aus Abb. 4.9 geschlossen werden, dass die von den Versuchspersonen vorgenommenen tatsächlichen Bewertungen mit den berichteten RSME-Werten besser übereinstimmen als die prognostizierten Bewertungen mit den RSME-Werten.

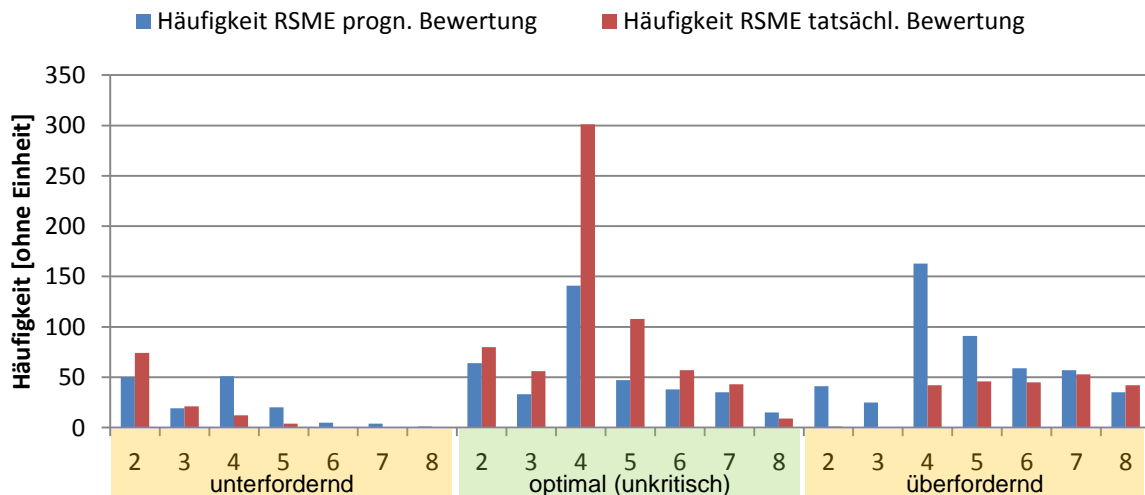


Abb. 4.9 Histogramm der RSME Werte (personenbezogen) nach prognostizierter (blau) und tatsächlicher Bewertung (rot)

Für die weitere Betrachtung wird die personenbezogene Auswertung verlassen und die Versuchsaufgaben, also die Belastungssituation, betrachtet. Die aufgabenbezogenen RSME Median- und Mittelwerte sind für die drei Bewertungsstufen (unterschieden in prognostizierte und tatsächliche Bewertung) in Tab. 4.10 zusammengefasst.

Tab. 4.10 Subjektive Beanspruchung pro Bewertungsstufe (aufgabenbezogen), unterschieden in prognostizierte und tatsächliche Bewertung**Prognostizierte Bewertung:**

unterfordernd (n = 7):

$$RSME_{\text{Median}} = 4, \overline{RSME} = 3,36 \pm 1,39$$

optimal (unkritisch) (n = 15):

$$RSME_{\text{Median}} = 4, \overline{RSME} = 4,24 \pm 1,30$$

überfordernd (n = 19):

$$RSME_{\text{Median}} = 5, \overline{RSME} = 5,34 \pm 1,67$$

tatsächliche Bewertung:

unterfordernd (n = 1):

$$RSME = 3,00$$

optimal (unkritisch) (n = 32):

$$RSME_{\text{Median}} = 4, \overline{RSME} = 4,06 \pm 0,83$$

überfordernd (n = 8):

$$RSME_{\text{Median}} = 6, \overline{RSME} = 6,00 \pm 0,50$$

Aus der Gegenüberstellung wird ersichtlich, dass sowohl die prognostizierte Bewertung als auch die Ist-Bewertung über die drei Bewertungsstufen zunahmten. Es unterschieden sich die Median- und Mittelwerte teils um eine Stufe. Dabei war auffallend, dass die Standardabweichung der tatsächlichen Bewertungen im Vergleich zur prognostizierten geringer ausfiel. Die Anzahl der einer Bewertungsstufe zugeordneten Versuchsaufgaben variierte zwischen prognostizierter und tatsächlicher Bewertung. Zum Beispiel bewerteten die Versuchspersonen insgesamt nur eine Versuchsaufgabe als „unterfordernd“, wohingegen sieben als „unterfordernd“ prognostiziert worden waren.

Die Mittelwerte waren alle signifikant von Null verschieden ($p < .05$), und die Mittelwertunterschiede wurden bei allen Kombinationen signifikant ($p < .0167$). Das heißt, dass die drei prognostizierten Bewertungsstufen auch in der Realität durch ein unterschiedliches Beanspruchungsempfinden wirksam wurden. Die untersuchten Mittelwertunterschiede wiesen eine hohe mittlere Effektstärke von $\bar{r} = .51$ auf, was einer Varianzaufklärung von 26 % entsprach.

Zwischen subjektiver Beanspruchung (als abhängige Variable) und den drei Belastungsfaktoren (als unabhängige Variablen) konnten folgende Zusammenhänge ermittelt werden:

- bivariate Korrelationen: TSS = .272 ($p < .001$) | LIP = .107 ($p < .01$) | TO = .093 ($p < .01$)
- multivariate Regression:

Tab. 4.11 Ergebnisse der multivariaten Regression für RSME

		Regr.koef. B	Standardfehler B	β	korr. R ²	ω
Schritt 1	Konstante	3.247	0.154		.087*	.30
	TSS	0.352	0.038	.28*		
	LIP	0.274	0.061	.136*		
Schritt 2	Konstante	2.812	0.195		.098*	.31
	TSS	0.359	0.038	.286*		
	LIP	0.311	0.061	.155*		
	TO	0.122	0.034	.108*		

Hinweise: * $p < .001$, Multikollinearität ($\sqrt{VIF} = 1,02$ | $\bar{tol} = 0,98$) und Autokorrelationen ($DW = 1,91$) konnten ausgeschlossen werden; Regr.koef. - Regressionskoeffizient; korr. R² - korrigierte Varianzaufklärung (nach Stein)

Weiterhin bestand ein mittlerer Zusammenhang zwischen mentaler Anstrengung und dem Auftreten von Zusatzaufgaben, $r_s = .329$, $p < .001$ (n = 994):

- Versuchsaufgaben mit Zusatzaufgabe: $RSME_{\text{Median}} = 4, \overline{RSME} = 4,86 \pm 1,63$
- Versuchsaufgaben ohne Zusatzaufgabe: $RSME_{\text{Median}} = 4, \overline{RSME} = 3,72 \pm 1,44$

Das ist erwartungskonform. Auch wenn dieser Zusammenhang nur für die Mittelwerte wirksam wurde, bestätigt dies die intendierte Zunahme der Beanspruchung durch Belastungserhöhung mittels Zusatzaufgaben.

Objektive Beanspruchungsparameter

In Ergänzung zur subjektiven Beanspruchung wurden kardiologische und okulomotorische Reaktionen als objektive Beanspruchungsindikatoren erfasst. In Tab. 4.12 werden die objektiven Beanspruchungswerte dargestellt, gruppiert nach den prognostizierten (Soll) und tatsächlichen (Ist) Bewertungsstufen.

Wurden die Beanspruchungswerte nach prognostizierten Bewertungsstufen ausgewertet, konnte keiner der theoretisch zu erwartenden Beanspruchungsverläufe beobachtet werden. Hingegen wurde das Beanspruchungsmaximum mehrheitlich bei den Versuchsaufgaben erreicht, die als optimal (unkritisch) prognostiziert wurden. Eine Auswertung der Beanspruchungswerte nach tatsächlicher Bewertung ergab eine Übereinstimmung des Beanspruchungsmaximums mit den theoretischen Annahmen bei vier von sechs Parametern. Die Standardabweichungen sind ebenfalls indifferent ausgeprägt: sie wiesen bei Zuordnung zur tatsächlichen Bewertung (Ist) eine geringfügig höhere Schwankung auf als bei den Zuordnungen zur prognostizierten Bewertung (Soll). Die Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass als optimal (unkritisch) prognostizierte Versuchsaufgaben psychophysiologisch eher überfordernd wirken. Leider lässt sich dieses Ergebnis mit den subjektiv berichteten Beanspruchungen (Abb. 4.9 und Tab. 4.10) nicht in Einklang bringen (siehe Unterabschnitt 4.6.4).

Tab. 4.12 Mittelwerte der objektiven Beanspruchungsparameter, Einheit: Abweichung von der Baseline in %, Hervorhebung: Beanspruchungsmaximum

Parameter	kardiologische Parameter				okulomotorische Parameter		
	HRV	PSDLFnorm	PSDHFnorm	LFHFratio	Pupillengröße	APCPS	
Proportionalität zur Beanspruchung	indirekt	direkt	indirekt	direkt	direkt	direkt	
Soll	unterfordernd	-7,92 ± 23,08	-3,63 ± 10,78	6,51 ± 25,99	-19,08 ± 24,70	1,36 ± 9,27	1,41 ± 9,00
	optimal (unkritisch)	-1,59 ± 20,87	-1,45 ± 11,63	9,73 ± 27,05	-13,51 ± 26,14	3,66 ± 9,07	3,71 ± 9,05
	überfordernd	-0,4 ± 32,75	-3,5 ± 18,8	8,0 ± 38,87	-19,2 ± 42,71	0,7 ± 14,6	0,8 ± 14,58
Ist	unterfordernd	-3,8 ± 32,71	-5,4 ± 18,88	15,1 ± 37,81	-22,1 ± 41,44	-2,2 ± 16,2	-2 ± 16,14
	optimal (unkritisch)	-0,4 ± 32,75	-3,5 ± 18,8	8,0 ± 38,87	-19,2 ± 42,71	0,7 ± 14,6	0,8 ± 14,58
	überfordernd	0,4 ± 32,35	-2,9 ± 16,93	9,9 ± 36,46	-18,4 ± 39,57	1,6 ± 12,86	1,8 ± 12,8

Legende: HRV – Herzfrequenzvariabilität; PSDLFnorm – normierte spektrale Leistungsdichte im niedrigen Frequenzbereich (0,04 - 0,15 Hz); PSDHFnorm – normierte spektrale Leistungsdichte im hohen Frequenzbereich (0,15 - 0,4 Hz); LFHFratio – Verhältnis zwischen PSDLFnorm und PSDHFnorm; APCPS – mittlere prozentuale Abweichung in der Pupillengröße

Hinweis zur Proportionalität: Ist ein Parameter direkt proportional, werden mit Beanspruchungszunahme steigende, positive Abweichungen von der Baseline vermutet, bei indirekter Proportionalität sinkende, negative Abweichungen.

Von den in Tab. 4.12 dargestellten Werten wick nur „LFHFratio“ über alle drei Bewertungsstufen signifikant von Null ab ($p < .05$). Im nächsten Analyseschritt wurden die Mittelwerte pro Bewertungsstufe auf Unterschiedlichkeit zueinander untersucht. Keiner der objektiven Beanspruchungsparameter wies über alle drei Bewertungsstufen signifikante Unterschiede zu den beiden anderen Bewertungsstufen auf. Diese Ergebnisse bedeuten zweierlei:

- Die prognostizierten Bewertungsunterschiede wurden in der Realität nicht durch Unterschiede in den objektiven Beanspruchungsmaßen wirksam.

- Die Unterschiede in der subjektiven Beanspruchung wurden statistisch nicht durch objektive Beanspruchungsmessungen bestätigt (fehlende signifikante Zusammenhänge).

Aufgrund des deutlich eingeschränkten Informationsgehaltes der objektiven Beanspruchungsparameter erfolgt die weitere Auswertung deskriptiv unter Beschränkung auf „LFHFratio“. In der Theorie verhält sich „LFHFratio“ direkt proportional zur Belastung. Das heißt, dass bei zunehmender Belastung grundsätzlich steigende, positive Abweichungen von der Baseline zu erwarten sind. Aus Tab. 4.12 wird einerseits ersichtlich, dass alle drei Mittelwerte unterhalb der Baseline verortet sind. Dies ist konträr zur theoretischen Grundannahme. Andererseits konnte zumindest ein erwartungskonformer Trend beobachtet werden. Das wiederum legt die Vermutung nahe, dass die prognostizierte Bewertung in der Wirklichkeit des Laborversuches mit einer steigenden objektiven Beanspruchung zusammenhing, wenn auch nicht signifikant. Zwischen „LFHFratio“ und RSME bestand ein sehr schwacher Zusammenhang, $r_S = .081$, $p < .05$ ($n = 780$). Das Modellieren der objektiven Beanspruchung durch die drei Belastungsfaktoren führte zu keinen verwertbaren multivariaten Regressionsmodellen.

Prozessüberwachungsaufgabe

Die Beurteilung der Überwachungsleistung erfolgte anhand hits, misses, false hits und der mittleren Reaktionszeit. Die folgende Auswertung konzentriert sich auf die Gesamtüberwachungsleistung (siehe auch Anhang 35).

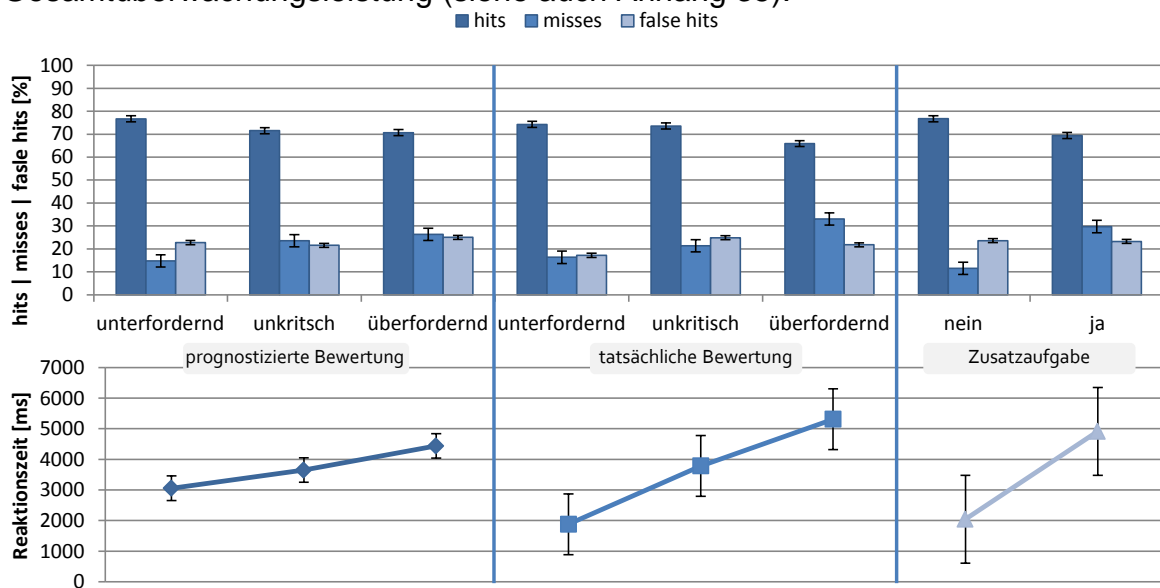


Abb. 4.10 Oben: Leistungsparameter hits, misses und false hits geordnet nach Soll- und Ist-Bewertung, Zusatzaufgaben

Unten: Verlauf der Reaktionszeit, geordnet nach Soll- und Ist-Beanspruchung, Zusatzaufgaben

Über alle Auswertebezüge konnte erwartungskonform gezeigt werden, dass mit zunehmender Bewertung (Beanspruchung) „hits“ abnahmen, während „misses“ und „mittlere Reaktionszeit“ zunahm. Der Parameter „false hits“ entwickelte sich bei zunehmender Bewertung (Beanspruchung) nicht eindeutig. Wurde die „mittlere Reaktionszeit“ nach prognostizierter und tatsächlicher Bewertung unterschieden, fielen die Unterschiede in der „mittleren Reaktionszeit“ der drei Bewertungsstufen für die tatsächliche Bewertung noch deutlicher aus: eine kürzere Reaktionszeit bei als unter-

fordernd bewerteten Aufgaben bzw. eine längere bei als überfordernd bewerteten Aufgaben.

Alle Mittelwerte waren signifikant unterschiedlich von Null ($p < .05$). Zwischen den prognostizierten Bewertungsstufen unterschieden sich nur vereinzelte Mittelwerte signifikant ($p < .0167$): zwischen „unterfordernd und überfordernd“ bzw. zwischen „optimal (unkritisch) und überfordernd“. Das bedeutet, dass nur für diese signifikanten Mittelwertunterschiede die prognostizierten Bewertungsunterschiede auch tatsächlich durch Unterschiede in den Leistungsparametern wirksam wurden. Nachstehend sind die Zusammenhänge zwischen Leistungsparametern und prognostizierter bzw. tatsächlicher Bewertung zusammengefasst:

Tab. 4.13 Bivariate Korrelationen der Leistungsparameter (Überwachungsaufgabe) und Bewertung

	Bewertung prognostiziert	tatsächlich
hits	$r_S = -.131^{***}$	$r_S = -.213^{***}$
misses	$r_S = .195^{***}$	$r_S = .304^{***}$
false hits	$r_S = .041$	$r_S = .077^*$
mittlere Reaktionszeit	$r_S = .275^{***}$	$r_S = .422^{***}$

Hinweise: * $p < .05$; *** $p < .001$;
n = 1029

Zusatzaufgaben und Mathematikaufgabe

Als Leistungsparameter für die bearbeiteten Zusatzaufgaben wurden „richtige Bearbeitungsschritte“ und „nicht bearbeitete Zusatzaufgaben“ ausgewertet. Hinsichtlich der Mathematikaufgaben sei noch erwähnt, dass diese ausschließlich in als überfordernd prognostizierten Versuchsaufgaben zum Einsatz kamen (siehe Unterabschnitt 4.3.2).

Tab. 4.14 Leistungsparameter Zusatzaufgaben und Mathematikaufgaben; Hervorhebung: Leistungsmaximum

		Zusatzaufgaben RICHTIG bearbeitet [%]	NICHT bearbeitet [%]	Mathematikaufgaben richtig bearbeitet [%]
Soll- Bewertung	unterfordernd (n = 54)	84,4 ± 26,78	12,2 ± 26,24	entfällt
	optimal (unkritisch) (n = 247)	51,2 ± 39,26	32,2 ± 42,36	entfällt
	überfordernd (n = 354)	62,9 ± 39	26,2 ± 39,85	95 ± 7,1 (n = 255)
Ist- Bewertung	unterfordernd (n = 25)	71,5 ± 33,52	10 ± 28,28	98,4 ± 3,36 (n = 10)
	optimal (unkritisch) (n = 416)	62,5 ± 39,04	25,4 ± 38,99	96,6 ± 6,26 (n = 151)
	überfordernd (n = 214)	54,6 ± 39,73	33 ± 42,85	92,1 ± 7,66 (n = 94)
Zusatz- aufgaben	nein (n = 339)	entfällt	entfällt	97,0 ± 5,91 (n = 99)
	ja (n = 665)	entfällt	entfällt	93,8 ± 7,49 (n = 156)

Entgegen der Annahme wiesen der Leistungsparameter „richtig bearbeitet“ ein Minimum und der Parameter „nicht bearbeitet“ ein Maximum in der prognostizierten Bewertungsstufe optimal (unkritisch) auf. Hingegen verhielt es sich erwartungskonform, dass mehr Mathematikaufgaben richtig gelöst wurden, wenn keine Zusatzaufgaben zu bearbeiten waren. Bei den tatsächlichen Bewertungsstufen verhielten sich die Leistungsparameter, inkl. Mathematikaufgabe, erwartungskonform. Die Standardabweichungen waren zwischen prognostizierten und tatsächlichen Bewertungsstufen ähnlich ausgeprägt. Die Mittelwerte wichen alle signifikant von Null ab ($p < .05$). Die Mittelwertunterschiede wurden signifikant ($p < .0167$) mit teils hohen Effektstärken, außer am Übergang zwischen „optimal (unkritisch)“ und „überfordernd“. Der Überein-

stimmungsgrad bei „richtig bearbeitete Zusatzaufgaben“ fiel mit $w_{\text{Kendall}} = .73$ höher aus als bei „nicht bearbeitete Zusatzaufgaben“ mit $w_{\text{Kendall}} = .43$. Es bestanden keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den beiden Leistungsparametern und der prognostizierten Bewertung (Beanspruchung). Hingegen korrelierten die Parameter „richtig bearbeitete Zusatzaufgaben“ ($r_s = -.105$, $p < .01$) und „nicht bearbeitete Zusatzaufgaben“ ($r_s = .082$, $p < .029$) schwach, aber signifikant, mit der tatsächlichen Bewertung. Der Leistungsparameter „Mathematikaufgaben richtig bearbeitet“ korrelierte signifikant mit der tatsächlichen Bewertung ($r_s = -.340$, $p < .001$) sowie mit dem Auftreten von Zusatzaufgaben ($r_s = -.240$, $p < .001$). Das heißt einerseits, dass die prognostizierten Bewertungsstufen nur begrenzt und je nach Parameter unterschiedlich wirksam wurden. Andererseits entwickelten sich die Parameter bezogen auf die tatsächlichen Bewertungsunterschiede erwartungskonform, was bedeutet, dass sich die tatsächliche Bewertung in den Leistungsparametern widerspiegelt.

Weiter oben wurde beschrieben, dass sich die tatsächlichen Aufgabenwechsel zwar deskriptiv pro Bewertungsstufe unterschieden, dieser Zusammenhang aber aufgrund fehlender Signifikanz statistisch nicht wirksam wurde. Zur Erläuterung: Nur wenn den Versuchspersonen Zusatzaufgaben zur Bearbeitung angeboten wurden, konnten diese freiwillig weitere zusätzliche Aufgaben bearbeiten. Das heißt, dass durch die Soll-Zusatzaufgabe die intendierte TSS (Soll-TSS) regulär erhöht war und dazu die freiwillige Bearbeitung weiterer Zusatzaufgaben die tatsächliche TSS (Ist-TSS) noch weiter erhöhte ($r_s = .416$, $p < .001$, $n = 1010$). Diese zugrunde liegende direkte Proportionalität führte dazu, dass die Unterschiede der Ist-TSS zwischen den Bewertungsstufen zwar deskriptiv nachweisbar waren, der Zusammenhang aber nicht signifikant wurde. Die fehlende Signifikanz bedeutet, dass, wie eingangs zu diesem Unterabschnitt beschrieben wurde, die Unterschiede in den Bewertungsstufen statistisch nur auf die zeitliche Auslastung zurückzuführen sind.

Abfragen, Bedienfehler, Rückmeldung

Ergänzend zu den bisherigen Leistungsparametern wurden zur Bewertung der Prozessführungsaufgabe weitere Leistungsparameter ausgewertet. Im Rahmen dessen wurden den Versuchspersonen Fragen zum Inhalt von Meldungen gestellt (Abfragen), Bedienfehler protokolliert und bei Bedarf Rückmeldung zur Aufgabenbearbeitung gegeben (Rückmeldung). Die richtigen Antworten auf „Kontrollfragen“ sanken erwartungskonform mit zunehmender tatsächlicher Bewertung. Widersprüchlich dazu waren die Ergebnisse für „Bedienfehler“ und „Rückmeldungen“. Das Bearbeiten von „Zusatzaufgaben“ hatte keinen Einfluss auf „Bedienfehler“, siehe Tab. 4.15.

Tab. 4.15 Leistungsparameter Abfragen, Bedienfehler und Rückmeldungen (als % der Stichprobe)

		Abfragen [%]	Bedienfehler [%]	Rückmeldung [%]
Soll-Bewertung	unterfordernd (n = 54)	84,2 ± 22,25	20 %, absolut 11	28 %, absolut 15
	optimal (unkritisch) (n = 247)	87,2 ± 18,16	21 %, absolut 51	31 %, absolut 76
	überfordernd (n = 354)	78,8 ± 20,43	25 %, absolut 88	24 %, absolut 85
Ist-Bewertung	unterfordernd (n = 25)	83,7 ± 20,29	36 %, absolut 9	68 %, absolut 17
	optimal (unkritisch) (n = 416)	82,2 ± 21,34	22 %, absolut 91	28 %, absolut 115
	überfordernd (n = 214)	79,4 ± 17,67	23 %, absolut 50	21 %, absolut 44
Zusatzaufgaben	nein (n = 339)	78,2 ± 18,67	18 %, absolut 60	15 %, absolut 51
	ja (n = 665)	82,3 ± 20,76	14 %, absolut 90	19 %, absolut 125

Alle Mittelwerte unterschieden sich signifikant von Null ($p < .05$). Untereinander unterschieden sich nur die Mittelwerte der „Abfragen“ signifikant ($p < .0167$). Die Übereinstimmung der Ergebnisse zwischen den Versuchspersonen fiel mit $w_{\text{Kendall}} < .20$ gering aus. Es bestanden signifikante Zusammenhänge mit geringen Effektstärken zwischen dem Parameter „Abfragen“ und prognostizierter Bewertung ($r_s = -.179$, $p < .001$, $n = 419$), „Abfragen“ und tatsächlicher Bewertung ($r_s = -.103$, $p < .05$, $n = 419$), dem Parameter „Bedienfehler“ und prognostizierter Bewertung ($r_s = .109$, $p < .001$, $n = 1112$) sowie „Bedienfehler“ und tatsächlicher Bewertung ($r_s = .117$, $p < .001$, $n = 1112$). Das bedeutet, dass die Unterschiede in der intendierten Belastung vor allem durch die tatsächlichen Bewertungsstufen in „Abfragen“ wirksam wurden.

Fazit

Die Auswertungen zeigten Unterschiede zwischen intendierter und tatsächlicher Belastung sowie prognostizierter und tatsächlicher Bewertung. Die subjektive Beanspruchung (Bewertungsskala mentale Anstrengung) verlief erwartungskonform zu intendierter und tatsächlicher Belastung sowie prognostizierter und tatsächlicher Bewertung. Objektive Beanspruchungsparameter ließen keine eindeutigen Rückschlüsse zu, weder auf intendierte und tatsächliche Belastung noch auf prognostizierte und tatsächliche Bewertung. Die fehlende Übereinstimmung führte auch dazu, dass nur die subjektive Beanspruchung durch die intendierten bzw. tatsächlichen Belastungsfaktoren sinnvoll modelliert werden konnte - wenn auch die Qualitätsmerkmale des Regressionsmodells nicht überzeugten. Die Leistungsparameter zeigten mehr Übereinstimmungen mit der tatsächlichen Bewertung als mit der prognostizierten.

Über alle Auswertungen hinweg ließen sich in den Beanspruchungs- und Leistungsdaten teils nicht erwartungskonforme Zusammenhänge zur Belastungssituation bzw. zu den theoretischen Vorhersagen nachweisen. Um die Bedeutung der Ergebnisse für die Hypothesen darzustellen, werden die Originalhypothesen aus Unterabschnitt 4.3.1 wiederholt:

- H1. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der prognostizierten bzw. tatsächlichen Multitaskingsituation und der mentalen Beanspruchung des Operateurs.
- H2. Die prognostizierte bzw. tatsächliche mentale Bewertung kann in drei Bereiche unterschieden werden: Unterforderung, optimale (unkritische) Beanspruchung und Überforderung. Diese Bereiche lassen sich anhand der Ausprägungen der Leistungsparameter sowie der subjektiven und objektiven Beanspruchungsparameter unterscheiden.

Die in H1 vermuteten Zusammenhänge zwischen intendierter und tatsächlicher Belastung und Bewertung (Multitaskingsituation) können für die subjektive Beanspruchung bestätigt werden.

Für die in H2 vermuteten Zusammenhänge zwischen den drei Bewertungsstufen wurden Unterschiede zwischen prognostizierter und tatsächlicher Bewertung deutlich. Die Bereiche der prognostizierten Bewertung ließen sich nur anhand der Ausprägung der subjektiven Beanspruchung unterscheiden. Die Bereiche der tatsächlichen Bewertung ließen sich nur anhand der Ausprägung der Leistungsparameter sowie der subjektiven Beanspruchungsparameter unterscheiden.

Abschließend wird festgehalten, dass signifikante Effekte in den Bewertungsstufen aufgrund der unterschiedlichen Belastungen durch die Versuchsaufgaben nachgewiesen werden konnten. Das heißt, dass das Versuchsdesign sich eignete, unterschiedliche Beanspruchungen statistisch abgesichert zu erzeugen und somit zum Zweck der Bestimmung der Prognosegüte eingesetzt werden konnte.

4.6.4 Bestimmung der Prognosegüte

Das Ziel des Laborversuches war es, die Prognosegüte des fuzzyCTL-Modells zu ermitteln, um darauf aufbauend Anpassungen am Fuzzy-Logik-Algorithmus vorzunehmen. Zur Ermittlung der Prognosegüte wurden die prognostizierte und tatsächliche Bewertung verglichen.

Eingangs wurden die Prognosekala (dreistufige Likert-Skala) und die im Versuch eingesetzte Bewertungsskala (fünfstufige Likert-Skala) vereinheitlicht. Mit der vereinheitlichten Skala wurden die Zusammenhänge zwischen Prognose und gemittelten subjektiven bzw. objektiven Beanspruchungsparametern über 41 Versuchsaufgaben analysiert (siehe auch Anhang 36).

Die Prognosegüte betrug 58 % auf Aufgabenebene (24 von 41 Aufgaben) und 51 % auf Basis des bereinigten Gesamtdatensatzes (507 von 994 Bewertungen). Die Prognosegüte verteilte sich wie in Tab. 4.16 auf die drei Bewertungsstufen.

Tab. 4.16 Prognostizierte und tatsächliche Bewertung je Aufgabe und für Gesamtdatensatz

Soll-Bewertungsstufe	Abweichung	Aufgabenebene (n = 41)	Gesamtdatensatz (n = 994)
unterfordernd	gleich bewertet	14 % (1 von 7 Aufgaben)	35 % (53 von 150 Bewertungen)
	überbewertet	86 % (6 von 7 Aufgaben)	65 % (97 von 150 Bewertungen)
	unterbewertet		12 % (44 von 373 Bewertungen)
optimal (unkritisch)	gleich bewertet	100 % (15 von 15 Aufgaben)	74 % (277 von 373 Bewertungen)
	überbewertet		14 % (52 von 373 Bewertungen)
überfordernd	unterbewertet	58 % (11 von 19 Aufgaben)	62 % (294 von 471 Bewertungen)
	gleich bewertet	42 % (8 von 19 Aufgaben)	38 % (177 von 471 Bewertungen)

Hinweis: Die Ermittlung der Prognosegüte auf Aufgabenebene erfolgte über Medianwerte.

Daraufhin wurde untersucht, worauf die eingeschränkte Prognosegüte von insgesamt 58 % zurückzuführen ist. Als Datengrundlage wurden die aufgabenbezogenen Mittelwerte der Beanspruchungsparameter und Leistungsdaten gewählt. Einerseits wurde dadurch Detailgrad eingebüßt, andererseits wurde damit der Einfluss einer Versuchsperson auf das Ergebnis minimiert. Eine Beeinflussung hätte sich über das individuelle Bewertungsverhalten bei subjektiven Beanspruchungsratings bzw. über individuelle Beanspruchungsreaktionen bemerkbar machen können.

Für die Untersuchung der eingeschränkten Prognosegüte wurden nun die subjektiven und objektiven Beanspruchungsparameter sowie die Leistungsdaten mit der prognostizierten und tatsächlichen Bewertung verglichen. Insgesamt konnten damit 23 abhängige Variablen (Beanspruchungs- und Leistungsdaten) für den Vergleich herangezogen werden. Das Ergebnis der Vergleiche lieferte Verhältnisse von „übereinstimmenden“, „widersprüchlichen“ oder „indifferenten“ Beanspruchungs- und Leistungswerten, die pro Aufgabe und respektive Bewertungsstufe ermittelt wurden. Die Ergebnisse, sortiert nach prognostizierter und tatsächlicher Bewertung, sind in Tab. 4.17 zusammengestellt.

Mit der Analyse der Prognosegüte wurde das Ziel verfolgt, eine Grundlage für die Optimierung des Fuzzy-Logik-Algorithmus zu liefern. Die Optimierung des Algorithmus betraf konklusionsseitig die Regeln des Fuzzy-Inferenz-Systems, die keine zutreffenden Prognosen lieferten. Letztlich stellt sich die Frage, welche subjektiven und objektiven Beanspruchungsparameter bzw. Leistungsdaten die geringsten Widersprüche aufwiesen und somit für die Optimierung am geeignetsten waren. Auf Basis der Gegenüberstellung in Tab. 4.17 weist die Datenbasis die geringsten Widersprüche auf, die mit der prognostizierten Bewertung (oberer Teil) in Zusammenhang steht.

Tab. 4.17 Gegenüberstellung der Verhältnisse übereinstimmender, widersprüchlicher und indifferenter Beanspruchungswerte, Korrelationen zwischen Beanspruchungsparametern und prognostizierter bzw. tatsächlicher Bewertung

prognostizierte Bewertung		übereinstimmend	widersprüchlich	indifferent
Prognose zutreffend (n = 24)	gesamt	0,33 ± 0,30, $r_s = .726^{**}$	0,65 ± 0,32, $r_s = .726^{**}$	0,02 ± 0,03, $r_s = .299$
	unterfordernd	0,39 ± 0,00	0,50 ± 0,00	0,11 ± 0,00
	optimal (unkritisch)	0,11 ± 0,07	0,89 ± 0,07	0,00 ± 0,00
	überfordernd	0,73 ± 0,11	0,23 ± 0,10	0,03 ± 0,04
Prognose nicht zutreffend (n = 17)	gesamt	0,46 ± 0,20, $r_s = .390$	0,43 ± 0,13, $r_s = -.302$	0,11 ± 0,08, $r_s = .164$
	unterfordernd	0,59 ± 0,25	0,33 ± 0,19	0,09 ± 0,08
	optimal (unkritisch)	keine Werte	keine Werte	keine Werte
	überfordernd	0,39 ± 0,13	0,49 ± 0,14	0,12 ± 0,08
tatsächliche Bewertung				
Prognose zutreffend (n = 24)	gesamt	0,33 ± 0,22, $r_s = .726^{**}$	0,61 ± 0,29, $r_s = .726^{**}$	0,06 ± 0,08, $r_s = .791^{**}$
	unterfordernd	0,39 ± 0,00	0,44 ± 0,00	0,29 ± 0,00
	optimal (unkritisch)	0,18 ± 0,09	0,82 ± 0,09	0,00 ± 0,00
	überfordernd	0,60 ± 0,13	0,23 ± 0,11	0,08 ± 0,10
Prognose nicht zutreffend (n = 17)	gesamt	0,16 ± 0,08, $r_s = 0^a$	0,84 ± 0,08, $r_s = 0^a$	keine Werte
	unterfordernd	keine Werte	keine Werte	keine Werte
	optimal (unkritisch)	0,19 ± 0,08	0,84 ± 0,08	keine Werte
	überfordernd	keine Werte	keine Werte	keine Werte

Hinweise: ** p < .001 ; * p < .05; ^a keine Berechnung da konstant; r_s – Spearman Rang Koeffizient

Fazit

Für die Optimierung des Fuzzy-Logik-Algorithmus wurde empfohlen, die Verhältnisse (übereinstimmend, widersprüchlich, indifferent) heranzuziehen, die auf der prognostizierten Bewertung aufbauen.

4.7 Erfüllung der Anforderungen an die Weiterentwicklung des fuzzyCTL-Modells

An die Weiterentwicklung des CTL-Modells wurden Anforderungen gestellt (siehe Abschnitt 2.5). Im Folgenden werden die Anforderungen überprüft, die mit der experimentellen Überprüfung des Modells im Zusammenhang standen:

- Skalieren der Belastungsfaktoren zur Überführung in ein quantitatives Modell.
- Validieren des quantitativen Modells in einer Laborstudie.
- Empirisches Überprüfen der Übergänge des Bereichs unkritischer Beanspruchung in die Bereiche negativer Beanspruchungsfolgen in einer Laborstudie.

Wie bereits in Unterabschnitt 4.6.3 gezeigt wurde, führten die unterschiedlichen Belastungen durch die Versuchsaufgaben auch zu signifikant unterschiedlichen Beanspruchungsbewertungen. Dies ist ein zentrales Ergebnis, da es bestätigt, dass das Versuchsdesign zur Überprüfung der Weiterentwicklung des fuzzyCTL-Modells eingesetzt werden konnte.

Skalieren der Belastungsfaktoren

Ein Aspekt, der für die Validierung sowie die empirische Überprüfung der Übergänge in die Bereiche der negativen Beanspruchungsfolgen relevant war, war die Skalierung der Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“. In der räumlichen Darstellung entsprachen die drei Belastungsfaktoren den Koordinatenachsen des Belastungsraumes. Das Maximum der Belastungsfaktoren „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“ war durch deren Definition vorgegeben (Formel 13 und Formel 14, in Anhang 5). Im Gegensatz dazu wies der Belastungsfaktor „Aufgabensetwechsel“ per definitionem kein Maximum auf (Formel 12 in Anhang 5) und war somit für die experimentelle Überprüfung relevant.

Die vorgenommene Skalierung orientierte sich an Colin et al. (2012): „Aufgabensetwechsel“ $TSS > 5$ führten bei hoher Ausprägung der beiden anderen Belastungsfaktoren ($LIP > 2$, $TO > 0,8$) zu einer Überforderung. Die experimentelle Überprüfung wies als bereits subjektiv überfordernd bewertete Versuchsbedingungen ab einem „Aufgabensetwechsel“-Wert von $TSS > 3,5$ auf mit $LIP = 2$ (regelbasierter Informationsverarbeitung) und $TO \geq 0,3$. Das bedeutet, dass die augenscheinlich valide vorgeschlagene Skalierung des Belastungsfaktors „Aufgabensetwechsel“ für das fuzzyCTL-Modell übernommen werden kann.

Validierung des quantitativen Modells

Die Laborstudie wurde mit dem Ziel durchgeführt, das fuzzyCTL-Modell auf dessen Prognosegüte zu überprüfen. Die Prognosegüte wurde mit 58 % bestimmt. Um die Prognosegüte zu verbessern, wurden Optimierungsmöglichkeiten identifiziert. Erst mit erfolgter Optimierung (Umsetzung in Kapitel 5) wird die Validierung abgeschlossen.

Empirische Überprüfung der Übergänge in die Bereiche negativer Beanspruchungsfolgen

Zur Durchführung der empirischen Überprüfung der Übergänge des Bereichs unkritischer Beanspruchung in die Bereiche der negativen Beanspruchungsfolgen wurden die Belastungssituationen für die Laborstudie hypothesengeleitet im Belastungsraum des CTL-Modells verortet (für weitere Informationen siehe Unterabschnitt 3.1.4 unter Regelbasis oder Abschnitt 4.2). Die durch das original CTL-Modell von Neerincx (1995, 2003) theoretisch vorhergesagten Übergänge in die Bereiche negativer Bean-

spruchungsfolgen sind in Abb. 4.11 links dargestellt. Dem gegenüber stehen in der gleichen Abbildung rechts die empirischen Ergebnisse der Überprüfung. In Abb. 4.11 rechtsseitig wird ersichtlich, dass basierend auf den Laborversuchen die Beanspruchungsfolgen „Unterforderung“ (#1), „Überforderung“ (#5) und „kognitive Fixierung“ (#4) den entsprechenden Bereichen hoher bzw. geringer Beanspruchung zugeordnet werden konnten. Auch wird sichtbar, dass Versuchsbedingungen mit in den Beanspruchungsbereichen „Vigilanzprobleme“ (#2) und „psychische Fixierung“ (#3), scheinbar nicht zu einer niedrigeren oder höheren Beanspruchung führten. Für die Optimierung des fuzzyCTL-Modells können diese Versuchsbedingungen trotzdem genutzt werden, indem die experimentellen Ergebnisse (tatsächliche Beanspruchungswerte) mit den Werten der rating scale of mental effort (RSME, Zijlstra 1993) abgestimmt werden.

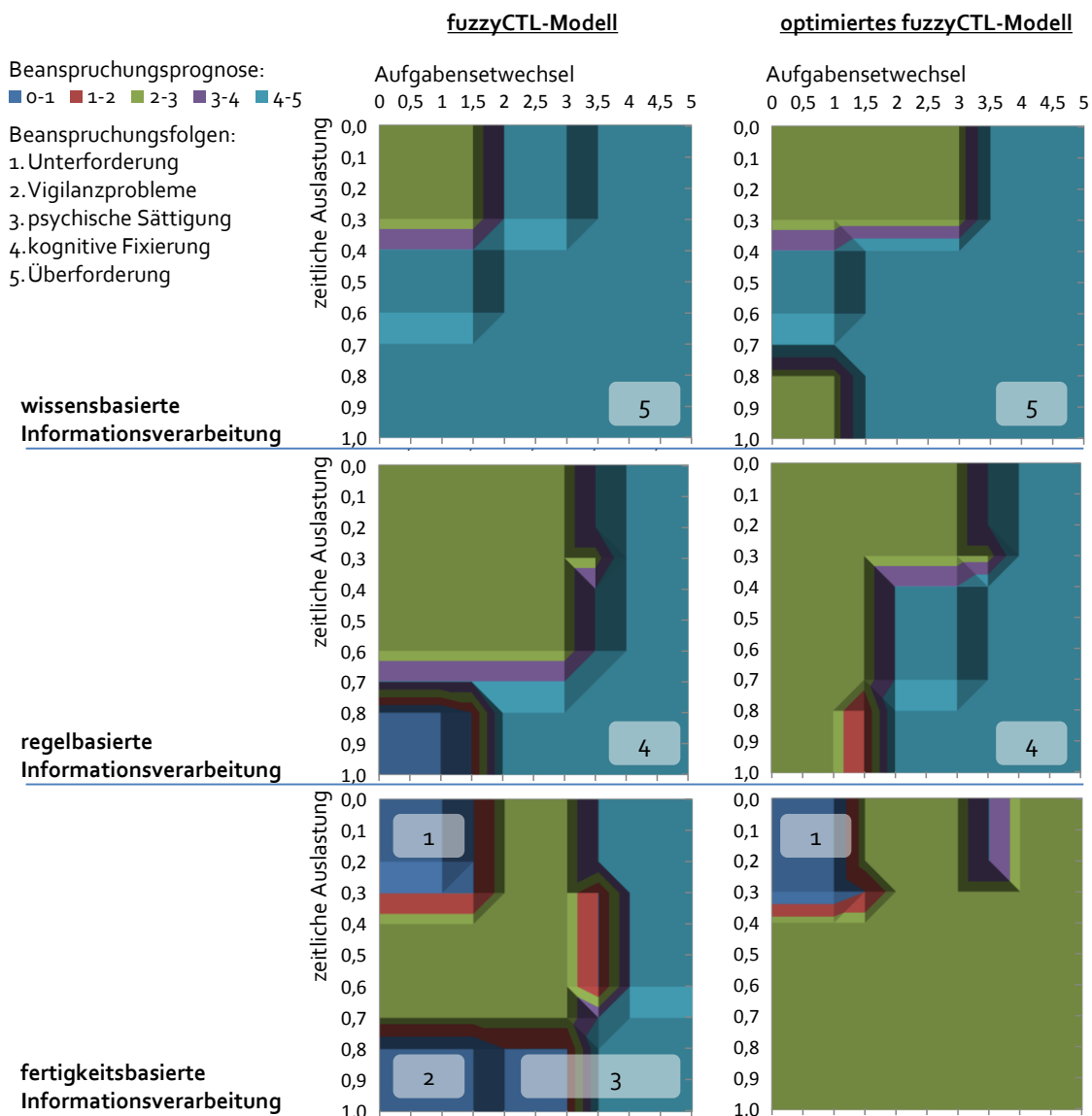


Abb. 4.11 Darstellung der Beanspruchungsfolgen in Draufsicht (pro Ebene der Informationsverarbeitung), links: basierend auf Theorie | rechts: basierend auf experimenteller Überprüfung

Farbverwendung: Dunkelblau / Rot: unterfordernd | Rot / Grün / Lila: unkritisch | Lila / Hellblau: überfordernd

Forschungsfragen

Unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Weiterentwicklung des CTL-Modells wurden zur Bearbeitung der identifizierten Forschungslücken und der Zielstellung dieser Arbeit Forschungsfragen abgeleitet (siehe Abschnitt 2.5):

#	Forschungsfrage	Bearbeitung in
1.	Welche negativen Beanspruchungsfolgen lassen sich für Prozessführungsaufgaben identifizieren, und wie können diese für eine quantitative Bewertung der Beanspruchung operationalisiert werden?	Kapitel 3
2.	Wie kann die quantitative Bewertung (aus 1.) automatisiert, transparent und reproduzierbar erfolgen?	Kapitel 3
3.	Lassen sich die Operationalisierung der negativen Beanspruchungsfolgen (aus 1.) und das zur quantitativen Bewertung entstandene Modell (aus 2.) empirisch belegen?	Kapitel 4
4.	Wie kann die subjektive Beanspruchung in die Bewertung (aus 2.) einbezogen werden?	Kapitel 3, 4 und 5

zu 3. Hinsichtlich Frage 3 muss die Beantwortung differenziert werden. Wie oben dargelegt, konnten nur „Unterforderung“, „Überforderung“ und „kognitive Fixierung“ als negative Beanspruchungsfolgen durch die Belastungssituationen und die entsprechende Bewertung der subjektiven Beanspruchung in der Laborstudie hervorgerufen werden. Die in der Laborstudie dargebotenen Belastungssituationen (Versuchsaufgaben) konnten zwar eine subjektive Beanspruchung (RSME) von „absolut keine“ und „fast keine“ in den Bereichen der Beanspruchungsfolgen „Vigilanzprobleme“ und „psychische Sättigung“ hervorrufen. Die Bewertung dieser subjektiven Beanspruchung mit „unterfordernd“ oder „überfordernd“ blieb jedoch aus. Diese Ergebnisse werden konservativ interpretiert, so dass festgehalten werden muss, dass keine negativen Beanspruchungsfolgen in den aus der Modelltheorie vorhergesagten Bereichen „Vigilanzprobleme“ und „psychische Sättigung“ erzeugt werden konnten. Somit kann die Teilfrage nach einem empirischen Beleg für die Übergänge nicht abschließend beantwortet werden.

zu 4. Bezüglich Frage 4 wurde in Kapitel 3 aufgezeigt, dass die Regelbasis konklusionsseitig (Ausgangsvariablen) erweiterbar ist. Für diese Erweiterung sind die in den Laborversuchen erhobenen Daten zur subjektiven Beanspruchung von der rating scale of mental effort (RSME, Zijlstra 1993) eine weitere Voraussetzung. Die Einarbeitung der Daten in die Regelbasis erfolgt in Kapitel 5.

Hingegen wurde ein empirischer Beleg für die Funktionsweise des fuzzyCTL-Modells erbracht. Die zugrunde liegende Regelbasis umfasst insgesamt 88 Regeln. Daraus wurden im Laborversuch durch 41 Versuchsbedingungen 55 Regeln (62,5 %) adressiert und somit überprüft.

5 Optimierung und Erweiterung des fuzzyCTL-Modells

Die in Kapitel 4 vorgestellte Laborstudie hatte das Ziel, das fuzzyCognitive Task Load Modell (fuzzyCTL-Modell) zu validieren. Im Rahmen der Validierung wurde die Prognosegüte überprüft, das heißt zu welchem Maß die durch das fuzzyCTL-Modell prognostizierten Beanspruchungen mit tatsächlichen Beanspruchungen übereinstimmen. Es wurden 24 von 41 Versuchsaufgaben korrekt prognostiziert, was einer Prognosegüte von 58 % entsprach. Um die reduzierte Prognosegüte detailliert zu untersuchen, wurden in Unterabschnitt 4.6.4 und Anhang 36 für jede der falsch prognostizierten 17 Versuchsaufgaben jeweils 23 Beanspruchungs- und Leistungsparameter (abhängige Variablen) im Zusammenhang mit prognostizierter und tatsächlicher Bewertung ausgewertet. Damit wurde die Grundlage für die Optimierung des fuzzyCTL-Modells gelegt, die in den folgenden Abschnitten beschrieben wird. Den Schluss dieses Kapitels bildet ein Abschnitt zur Beschreibung der Erweiterung des fuzzyCTL-Modells um die zweite Ausgangsvariable „subjektive Beanspruchung RSME“.

5.1 Übereinstimmungen, Widersprüche und Indifferenzen

Für die Optimierung wurden ausschließlich die 17 Belastungssituationen (Versuchsaufgaben) berücksichtigt, die zu einer falschen Beanspruchungsprognose führten. Bei allen 17 falsch prognostizierten Beanspruchungen ließen sich in den Beanspruchungs- und Leistungsdaten teils nicht erwartungskonforme Zusammenhänge zu den Belastungen bzw. theoretischen Vorhersagen nachweisen. Respektive wurde ermittelt, zu welchem Ausmaß die 23 Beanspruchungs- und Leistungsparameter konsistent, d. h. übereinstimmend, widersprüchlich oder indifferent zueinander sind. Das Konsistenzmaß wurde für die Kategorien „übereinstimmend“ und „widersprüchlich“ gebildet (siehe Formel 11 und Anhang 37). Die Kategorie „indifferent“ wurde nicht berücksichtigt. Diese Kategorie umfasste Ausprägungen von Beanspruchungs- und Leistungsdaten, die für die Optimierung keinen informatorischen Mehrwert besaßen.

Formel 11: Berechnung Konsistenzmaß ($cons_{Kat}$)

$$cons_{Kat} = MW(Verhältnisse_{Kat}) + (a) \times St. Abw(Verhältnisse_{Kat}), \text{ mit}$$

$a = +1$ für Kategorien „widersprüchlich“, $a = -1$ für Kategorie „übereinstimmend“ und $Verhältnisse_{Kat} = \frac{N_{Daten, Kat}}{N_{ges}}$, mit $N_{Daten, Kat}$ Anzahl der Beanspruchungs- und Leistungsdaten einer Kategorie und $N_{ges} = 23$

Wurde das Konsistenzmaß $cons_{Kat}$ von einem Verhältnis in der Kategorie „widersprüchlich“ überschritten bzw. in der Kategorie „übereinstimmend“ unterschritten, wurden die in der Kategorie beinhalteten Beanspruchungs- und Leistungsparameter für die jeweilige Belastungssituation als konsistent betrachtet und zur Optimierung herangezogen. Von den 17 Belastungssituationen, die zu falschen Beanspruchungsprognosen führten, erfüllten drei die Anforderungen an die Konsistenz der Beanspruchungs- und Leistungsparameter nicht (siehe Anhang 37, rote Hervorhebung). Diese wurden nicht für die Optimierung des Fuzzy-Logik-Algorithmus herangezogen.

5.2 Optimierung des Fuzzy-Logik-Algorithmus

Die Optimierung des Fuzzy-Logik-Algorithmus bezieht sich auf die Regelbasis. Eine Regel besteht aus Prämisse (Wenn-Teil) und Konklusion (Dann-Teil). Die Prämisse entspricht der Versuchsbedingung (Ausprägung der Belastungsfaktoren), die Kon-

klusion der subjektiven Beanspruchungsbewertung, also „unterfordernd“, „unkritisch“ oder „überfordernd“.

Zur Optimierung wurden die 13 Versuchsbedingungen herangezogen, deren Beanspruchungs- und Leistungsdaten als konsistent bewertet wurden. Welche Regeln optimiert werden müssen, ergibt sich aus den spezifischen Ausprägungen der Belastungsfaktoren für diese 13 Versuchsbedingungen. Bei den entsprechend adressierten Regeln wurde konklusionsseitig die ursprüngliche Beanspruchungsbewertung durch die im Versuch ermittelte subjektive Beanspruchungsbewertung ersetzt (siehe auch Anhang 7 (linke Seite) für eine grafische Darstellung der optimierten Regelbasis).

5.3 Erweiterung Ausgangsvariable subjektive Beanspruchungswerte RSME

Als subjektives Beanspruchungsmaß wurde in der Laborstudie die Bewertungsskala zur mentalen Anstrengung (Zijlstra 1993, ins Deutsche übersetzt und validiert durch Eilers et al. 1996) eingesetzt. Wie in Abschnitt 3.1 angekündigt wurde, wird die Regelbasis mit der subjektiven Beanspruchung (RSME) konklusionsseitig um eine Ausgangsvariable erweitert (siehe auch Anhang 6). Abb. 5.1 gibt einen Überblick über die erweiterte Funktionalität des fuzzyCTL-Modells.

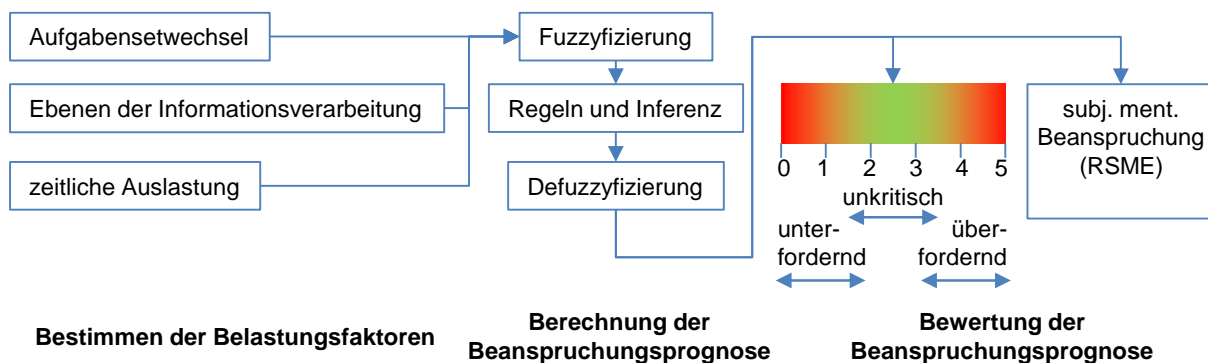


Abb. 5.1 Mit RSME erweitertes Vorgehen zur Prognose der mentalen Beanspruchung

Um die in Abb. 5.1 dargestellte abstrakte Funktionsweise zu veranschaulichen, wird das in Unterabschnitt 3.1.4 benutzte hypothetische Beispiel aufgegriffen und kann mit Abb. 5.2 schrittweise nachvollzogen werden.

Die Eingangsgrößen betragen für Aufgabensetwechsel $TSS = 1,2$, Ebene der Informationsverarbeitung $LIP = 0,2$ und für zeitliche Auslastung $TO = 0,825$. Die prognostizierte Beanspruchung beträgt in diesem Fall $CTL_{prog} = 2,5$ und $RSME_{prog} = 30$ (siehe Abb. 5.2, rote Pfeile). Die prognostizierte Bewertung $RSME_{prog}$ entspricht dem linguistischen Term „etwas anstrengend“ mit einem Erfüllungsgrad von $\mu = 1,00$.

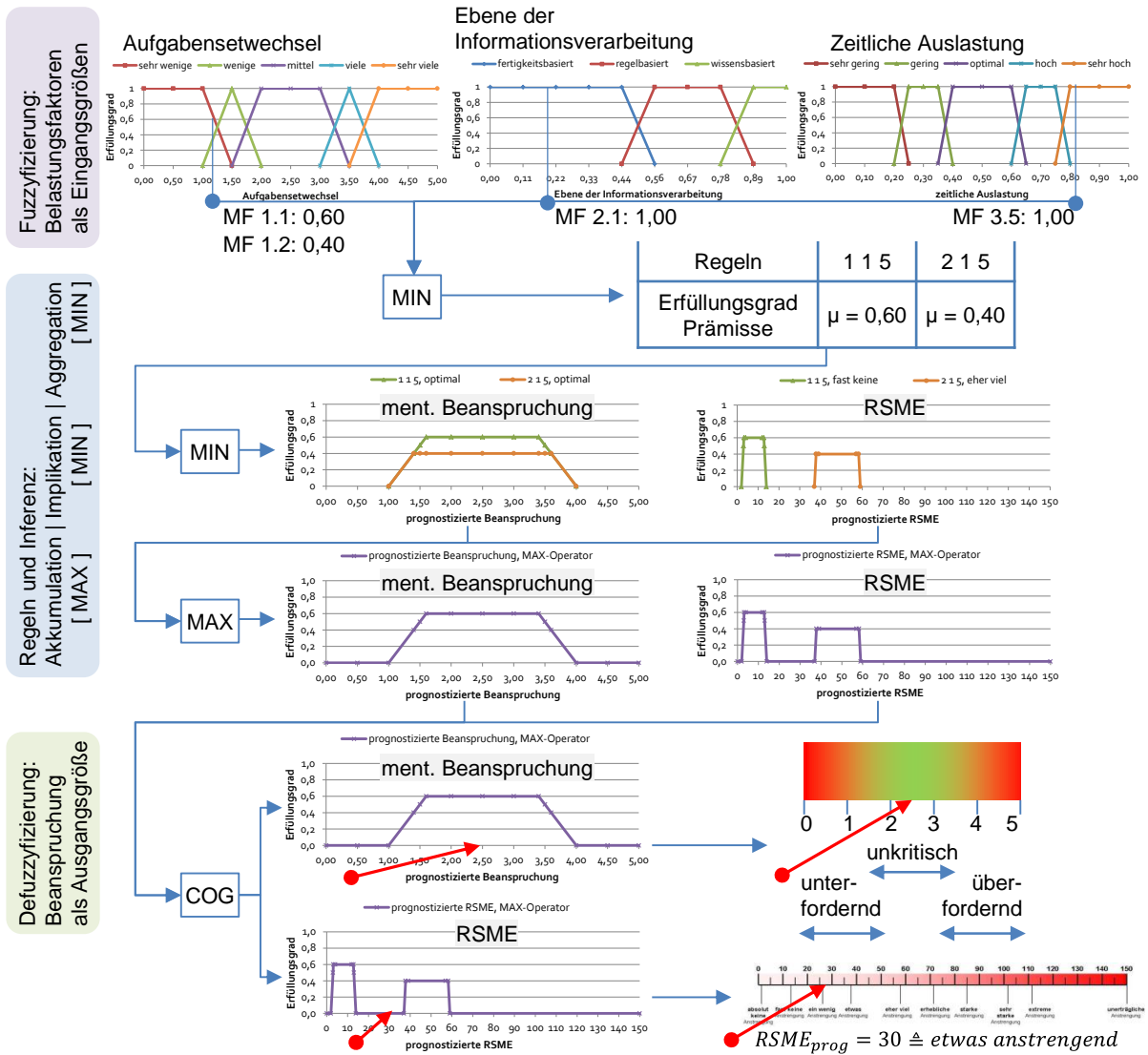


Abb. 5.2 Funktionsweise des erweiterten Inferenzmechanismus (mit Beispiel: Aufgabensetwechsel 1,2; Ebene der Informationsverarbeitung 0,2; zeitliche Auslastung 0,825)

5.4 Fazit

Die in diesem Kapitel beschriebene Optimierung und Erweiterung des fuzzyCTL-Modells führen zu einer gesteigerten Prognosegüte. Auf Basis der empirischen Überprüfung durch die Laborstudie konnte das ursprünglich qualitative originale CTL-Modell von Neerinx (1995, 2003) in ein quantitatives Modell überführt werden.

Das fuzzyCTL-Modell erzielt nach der Optimierung eine Prognosegüte von 38 von 41 Aufgaben, was näherungsweise 92 % oder weniger als einer falschen pro 14 Prognosen entspricht.

Die Erweiterung der subjektiven mentalen Beanspruchung um die RSME-Skala als zweite Ausgangsvariable ermöglichte die direkte Verbindung der quantitativen mentalen Beanspruchungsprognose mit den Beanspruchungskategorien „unterfordernd“, „unkritisch“ und „überfordernd“ mit der eindimensionalen RSME-Beanspruchungsskala.

Unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Weiterentwicklung des CTL-Modells wird das weiterentwickelte, optimierte und erweiterte fuzzyCTL-Modell als verifiziert und validiert angesehen.

Aus den zur Bearbeitung der identifizierten Forschungslücken und der Zielstellung dieser Arbeit abgeleiteten Forschungsfragen lässt sich nun auch Frage 4 vollständig beantworten. Zum besseren Überblick die zusammengefassten Forschungsfragen:

#	Forschungsfrage	Bearbeitung in
1.	Welche negativen Beanspruchungsfolgen lassen sich für Prozessführungsaufgaben identifizieren, und wie können diese für eine quantitative Bewertung der Beanspruchung operationalisiert werden?	Kapitel 3
2.	Wie kann die quantitative Bewertung (aus 1.) automatisiert, transparent und reproduzierbar erfolgen?	Kapitel 3
3.	Lassen sich die Operationalisierung der negativen Beanspruchungsfolgen (aus 1.) und das zur quantitativen Bewertung entstandene Modell (aus 2.) empirisch belegen?	Kapitel 4
4.	Wie kann die subjektive Beanspruchung in die Bewertung (aus 2.) einbezogen werden?	Kapitel 3, 4 und 5

zu 4. Die Integration der subjektiven Beanspruchung konnte aufbauend auf der Erstellung einer erweiterbaren Regelbasis (Kapitel 3), den empirischen Daten der Laborstudie zur subjektiven Beanspruchung (Kapitel 4) und der abgeschlossenen Optimierung der Regelbasis (Kapitel 5) vollzogen werden. Die subjektive Beanspruchung wird als zweite Ausgangsvariable im Prognoseergebnis mit angegeben.

6 Anwendungsbeispiel zur Ableitung von Gestaltungshinweisen

Aus dem fuzzy Cognitive Task Load Modell (fuzzyCTL-Modell) lassen sich Hinweise für die Gestaltung der Arbeitsaufgabe sowie der Arbeitsmittel ableiten. Die hier angesprochenen Arbeitsmittel umfassen, vor dem Hintergrund des Anwendungsgebietes der Führung von Prozessen, die Mensch-Computer- bzw. Mensch-Maschine-Schnittstelle sowie die damit verbundene Informationspräsentation. Die Gestaltungshinweise können einerseits im Rahmen des initialen Gestaltungsprozesses genutzt werden, um zum Beispiel verschiedene Gestaltungsalternativen hinsichtlich der zu erwartenden Beanspruchung zu vergleichen. Andererseits können im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung Wirksamkeitskontrollen von Gestaltungsalternativen durchgeführt werden, vor deren eigentlicher Implementierung.

Grundsätzlich sollte eine gute Gestaltungspraxis von Arbeitsaufgaben und Arbeitsmitteln positive Beanspruchungsfolgen, wie z. B. Aktivierung, begünstigen und gleichzeitig negative Beanspruchungsfolgen, wie z. B. ermüdungsähnliche Zustände, vermeiden (DIN EN ISO 10075-2:2000). Im Allgemeinen sollte gute Gestaltung z. B. die Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen (z. B. DIN EN 894 Teile 1-4), die Leitlinien für die Zugänglichkeit von Software (z. B. DIN EN ISO 9241-171:2008), den Forschungsbericht Fb1074 „Maschinennormung und Ergonomie“ (Höhn et al. 2006) oder die Gestaltungsleitfäden des Abnormal Situation Management Consortiums (Bullemer und Reising 2013, Bullemer et al. 2010, Errington et al. 2009) - ohne Anspruch auf Vollständigkeit - berücksichtigen.

Zur Ableitung von Gestaltungshinweisen bietet das fuzzyCTL-Modell zwei Ebenen: die Bewertungsebene und die Faktorebene (siehe Abb. 6.1).

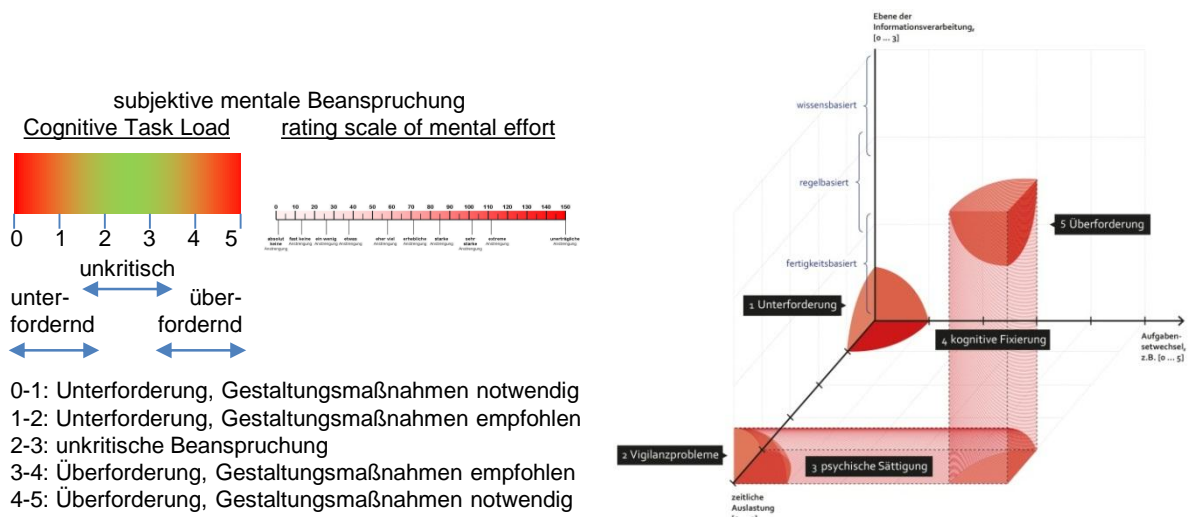


Abb. 6.1 Ableiten von Gestaltungshinweisen, links: Bewertungsebene, rechts: Faktorebene

6.1 Bewertungsebene

Die Bewertungsebene ist die höchste Stufe der Abstraktion im fuzzyCTL-Modell. Sie umfasst die Bewertung der Gesamtbeanspruchung anhand der fünfstufigen Likert-Skala und der rating scale of mental effort (RSME, Zijlstra 1993). Hierbei werden vor allem kompensatorische Aspekte zwischen den drei Belastungsfaktoren berücksichtigt.

Auf dieser Abstraktionsstufe werden die Beanspruchungsprognosen CTL (cognitive task load) und RSME (rating scale of mental effort) numerisch angegeben.

Die Bewertungsebene kann zum Beispiel beim Vergleich von Gestaltungsalternativen von Arbeitsaufgaben und Arbeitsmitteln angewendet werden, vor allem wenn eine effiziente Bewertung im Vordergrund steht. Darüber hinaus eignet sich die Bewertungsebene, um die subjektive mentale Beanspruchung im zeitlichen Verlauf zu betrachten (siehe Abschnitt 6.3).

6.2 Faktorenebene

Die Faktorenebene benutzt den Belastungsraum (Abb. 6.1, links), um die Zusammenhänge zwischen den zu bewertenden Belastungsfaktoren und der resultierenden Beanspruchung sichtbar zu machen. Es können die einzelnen Belastungsfaktoren und deren zwei- und dreidimensionales Zusammenwirken dargestellt werden (siehe Unterabschnitt 3.1.2).

In der x-z-Ebene wird die Arbeitsaufgabe bzw. die Bearbeitungsstrategie anhand der Aufgabensetwechsel und zeitlichen Auslastung beschrieben. Die von der Arbeitsaufgabe, Bearbeitungsstrategie oder Arbeitssituation angesprochene Ebene der Informationsverarbeitung $LIP(t)$ kann unter der Bedingung $\lim_{t \rightarrow 0} LIP(t) = const$ bei dem entsprechenden y-Wert als Schnittebene betrachtet und analysiert werden. Die Wechselwirkungen zwischen Arbeitsmittel und Arbeitsaufgabe können in der x-y-Ebene (Auswirkungen auf die Aufgabensetwechsel) und y-z-Ebene (Auswirkungen auf die zeitliche Auslastung) sichtbar gemacht werden.

Die dreidimensionale Betrachtung der Faktoren gibt Auskunft über die Lage im Belastungsraum und dient damit als Orientierung zu den Bereichen der Beanspruchungsfolgen. Damit können die Auswirkungen der geplanten Veränderung eines Belastungsfaktors im Verhältnis zu den beiden weiteren Belastungsfaktoren analysiert werden. Durch die eingesetzte Fuzzy Logik können die Gestaltungshinweise aus der Faktorenebene transparent und mathematisch nachvollziehbar abgeleitet, analysiert und optimiert werden.

Einsatzmöglichkeiten für die Faktorenebene sind Detailanalysen von Gestaltungsalternativen von Arbeitsaufgaben und Arbeitsmitteln. Im Gegensatz zur Bewertungsebene liegen die informatorischen Mehrwerte in der Zugänglichkeit der Wechselwirkungen zwischen den Belastungsfaktoren sowie in deren grafische Darstellung.

6.3 Anwendungsbeispiel

Beispielhaft wird ein Szenario zur Überprüfung der Aufgaben- und Arbeitsmittelgestaltung beschrieben, das durch folgende Belastungssituation und Beanspruchungswerte gekennzeichnet wird:

$$\overrightarrow{Bea}_{prog}[T \quad CTL(t) \quad RSME(t)](\overrightarrow{TSS}, \overrightarrow{LIP}, \overrightarrow{TO}, T) = \begin{bmatrix} 3,5 & 0,9 & 0,9 & t_1 \\ 2,5 & 0,4 & 0,5 & t_2 \\ 0 & 0,3 & 0,3 & t_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 5,0 & 65 \\ t_2 & 2,5 & 33 \\ t_3 & 0,0 & 8 \end{bmatrix},$$

mit $t_1 = 0$ min, $t_2 = 20$ min, $t_3 = 65$ min

Hierbei ist die prognostizierte Beanspruchung ($\overrightarrow{Bea}_{prog}[T \quad CTL(t) \quad RSME(t)]$) eine Vektorfunktion aus Aufgabensetwechseln (TSS), Ebenen der Informationsverarbeitung (LIP) und zeitlicher Auslastung (TO) zum Zeitpunkt (T). An dieser Stelle ist wichtig darauf hinzuweisen, wie die Beanspruchungswerte „CTL“ und „RSME“ gebildet werden sollten. Diese werden pro 4 min-Intervall gebildet und per Mittelwert zu einer Zeitspanne zusammengefasst. Hierbei sollten Zeitspannen über vergleichbare Mittelwerte gebildet werden, um Schwankungen in der prognostizierten Beanspruchung nicht zu verfälschen.

1. Was bedeutet das Beispielszenario am Beispiel der Zeitspanne $\Delta T_1 = t_2 - t_1$?

Um die Beanspruchungsprognosen interpretieren zu können, sind vor allem Veränderungen in der Beanspruchungsprognose und die Zeitspannen zwischen den Veränderungen relevant. Die prognostizierten Beanspruchungen verringern sich über den Erhebungszeitraum. Für die Interpretation eignen sich die Zeitspannen $\Delta T_1 = 20$ min und $\Delta T_2 = 45$ min.

Die Analyse der Zeitspanne ΔT_1 ergibt: Ein hoher Wert der Aufgabensetwechsel bedeutet, dass Informationsdomänen häufig ausgetauscht werden müssen. Dies kann der Fall sein, wenn z. B. zur Komplettierung des Informationsbedarfes unterschiedliche Informationsquellen / Arbeitsmittel herangezogen werden müssen - parallel zur Ausführung einer weiteren Aufgabe. Die in diesem Beispiel wissensbasierte Informationsverarbeitung ergibt sich durch die notwendige „manuelle“ Verdichtung der Informationsquellen zu einem Lagebild. Die ebenfalls hohe zeitliche Auslastung bedeutet, dass die manuelle Verdichtung der über die grafische Benutzungsschnittstelle bereitgestellten Informationen mit einer langen Bearbeitungsdauer einhergeht. Das wiederum führt zu einer hohen zeitlichen Auslastung. Ein weiterer Grund für die hohe zeitliche Auslastung ist die zeitgleiche Ausführung von zwei Aufgaben. Durch gegenseitiges Unterbrechen wird die Bearbeitungszeit verlängert und somit die zeitliche Auslastung erhöht.

Um die Beanspruchungsprognosen zu interpretieren, werden diese mit den linguistischen Variablen in der Bewertungsebene analysiert. Für den Beanspruchungswert $CTL = 5,0$ ergibt das: „überfordernd“ mit einem Erfüllungsgrad von $\mu = 1,0$ bzw. für $RSME = 65$ „eher viel“, mit einem Erfüllungsgrad von $\mu = 1,0$. Aus dem CTL-Wert lässt sich überdies ableiten, dass „Gestaltungsmaßnahmen notwendig“ sind.

2. Welche Gestaltungshinweise können für die Zeitspanne $\Delta T_1 = t_2 - t_1$ abgeleitet werden?

Für die folgenden Gestaltungshinweise gelten Annahmen: Der Operateur ist eingearbeitet, nicht müde, die Arbeitsumgebung entspricht den normativen Anforderungen. Grundsätzlich ist eine Verringerung der Gesamtbeanspruchung (CTL sowie RSME) für die Zeitspanne ΔT_1 anzustreben. Im Folgenden wird geklärt, welche Gestaltungsalternativen seitens der Arbeitsaufgaben bzw. der Arbeitsmittel bestehen.

Arbeitsaufgabe: Aufgrund der hohen Aufgabensetwechsel kann vermutet werden, dass beide Arbeitsaufgaben einen sehr unterschiedlichen Betrachtungsumfang an Informationen und ggf. Arbeitsmitteln aufweisen. Somit sollte geprüft werden, ob der zu Grunde liegende Betrachtungsumfang angeglichen bzw. zeitlich anders gestaffelt werden kann. Auch wäre zur Reduktion der Aufgabensetwechsel eine höhere Automatisierungsstufe für eine der beiden Aufgaben oder eine Aufteilung auf zwei Operateure denkbar. Hinsichtlich der Automatisierungsstufe ist zu beachten, dass die Ebene der Informationsverarbeitung als „wissensbasiert“ ermittelt wurde und damit ggf. Einschränkungen hinsichtlich der Automatisierbarkeit nach sich zieht.

Arbeitsmittel: Eine bessere Anpassung der Informationsdarbietung an die Anforderungen der Multitaskingsituation ist eine weitere Gestaltungsalternative. Hierbei liegt das Augenmerk auf der durch die grafische Benutzungsschnittstelle angesprochenen Ebene der Informationsverarbeitung, welche auch zur hohen zeitlichen Auslastung beiträgt. Ein Beispiel dazu: Müssen Informationen erst gesucht und ggf. noch verdichtet werden, bevor den im System zur Verfügung stehenden Informationen eine Bedeutung beigemessen werden kann, erhöht das die Ebene der Informationsverarbeitung. Überdies erhöht ein solcher Ablauf die zeitliche Auslastung. Um eine aufgabenadäquate Gestaltung der Informationsdarbietung umzusetzen, bietet die ökologi-

sche Schnittstellengestaltung (ecological interface design, Vicente und Rasmussen 1992) ein effektives und effizientes Methodenrepertoire.

6.4 Fazit

Aus dem fuzzyCTL-Modell können Hinweise für die Gestaltung von Arbeitsaufgaben und Arbeitsmitteln abgeleitet werden. Dafür werden zwei Betrachtungsebenen unterschieden: Bewertungs- und Faktorenebene. Die Bewertungsebene abstrahiert die Beanspruchungsprognose auf die numerischen Werte des Cognitive Task Loads und der rating scale of mental effort. Eine Interpretation ist über die linguistischen Variablen des Fuzzy-Inferenz-Systems möglich. Die Bewertungsebene eignet sich z. B. für eine effiziente, überblicksartige Bewertung verschiedener Gestaltungsalternativen und Zeitpunkten bzw. Zeiträumen.

Die Faktorenebene ermöglicht eine detaillierte Bewertung der Beanspruchungsprognose zum Evaluieren ausgewählter Gestaltungsalternativen. Die Faktorenebene greift auf den Belastungsraum des fuzzyCTL-Modells zurück.

Um zukünftige Anwendungen des fuzzyCTL-Modells benutzerfreundlich zu gestalten, würde sich eine Softwarelösung anbieten, welche die Ergebnisse für jede Betrachtungsebene grafisch aufbereitet und mit Interpretations- und Entscheidungshilfen unterstützt.

7 Zusammenfassung und Diskussion

Die Zielsetzung dieser Arbeit bestand darin, ein analytisches Modell zur Prognose der mentalen Beanspruchung weiterzuentwickeln, um es z. B. im Planungsprozess für Aufgaben und Arbeitsmittel im Arbeitsgebiet Prozessführung einsetzen zu können. Der für die Ingenieurwissenschaften geschaffene Mehrwert besteht in einem empirisch belegten, quantitativen Modell zur Prognose der mentalen Beanspruchung bei Prozessführungsaufgaben. Das weiterentwickelte quantitative analytische Prognosemodell beruht auf dem qualitativen Cognitive Task Load Modell von Neerincx (1995, 2003).

Mit der Weiterentwicklung konnte Konformität zur aktuellen Normung hergestellt, die Nutzung des Modells vereinfacht und systematische Fehlerquellen reduziert werden. Die Anwendbarkeit wurde durch Nutzung effizienter Fuzzy-Logik-Algorithmen weiter verbessert. Für die praktische Anwendung steht damit ein quantitatives analytisches Prognosemodell zur Verfügung, mit dem ohne reale Aufgabenausführung durch Operateure die mentale Beanspruchung prognostiziert werden kann. Eine Anwendung kann die Bewertung von Gestaltungsentwürfen und -alternativen bereits im Planungsprozess ohne tatsächlich realisierte Arbeitsmittel und -aufgaben sein. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erzielten Erkenntnisse und Ergebnisse werden in diesem Kapitel diskutiert. Im ersten Teil wird das entwickelte fuzzyCognitive Task Load Modell (fuzzyCTL-Modell) und seine Verifizierung diskutiert. Danach wird auf die Durchführung und Auswertung der Laborstudie eingegangen. Hierzu werden Auffälligkeiten in den Ergebnissen aufgegriffen, deren Generalisierbarkeit sowie die erreichte Prognosegüte diskutiert.

Diskussion des fuzzyCTL-Modells und der Verifizierung

Um ein Modell zur analytischen Beanspruchungsprognose zu identifizieren, wurden Auswahlkriterien aus Literatur und Zielsetzung dieser Arbeit abgeleitet. Von den in einer Literaturstudie identifizierten analytischen Modellen erfüllte das CTL-Modell die meisten Auswahlkriterien und wurde für die weitere Betrachtung herangezogen. In einer Detailanalyse wurde allerdings Weiterentwicklungsbedarf erkannt (hier zusammengefasst):

- Skalieren der Belastungsfaktoren zur Überführung in ein quantitatives Modell.
- Beschreiben der Beanspruchungsfolge „psychische Sättigung“ und Integrieren in das Modell.
- Differenzieren der Beanspruchungsprognose in „unterfordernd“, „unkritisch“ und „überfordernd“, um die Beanspruchungsfolgen zu berücksichtigen.
- Direktes Aufbauen eines Fuzzy-Logik-Algorithmus auf der Modelltheorie, Implementieren des Algorithmus zur Beanspruchungsprognose und deren Bewertung.
- Validieren des quantitativen Modells in einer Laborstudie, inklusive empirischen Überprüfens der Übergänge des Bereichs unkritischer Beanspruchung in die Bereiche negativer Beanspruchungsfolgen.

Um eine Belastungssituation zu beschreiben, benutzt das fuzzyCTL-Modell die drei Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebenen der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“. Um aus den drei Belastungsfaktoren die resultierende Beanspruchung zu prognostizieren, werden diese mit dem Fuzzy-Inferenz-System und der darin enthaltenen Regelbasis zusammengeführt und bewertet. Die Anwendung der Fuzzy-Logik in diesem Rahmen gewährleistet, dass die im Planungspro-

zess zum Teil nicht vollständige, nicht gesicherte und sprachlich nicht eindeutig formulierte Informationsgrundlage trotzdem für eine Beanspruchungsprognose verwendet werden kann. Die Bewertung der Beanspruchung erfolgt einerseits in Bezug zur räumlichen Nähe der negativen Beanspruchungsfolgen im Belastungsraum und gibt damit die originale Modelltheorie direkt wieder: Je näher ein ermittelter Beanspruchungswert an einem Bereich negativer Beanspruchungsfolgen lokalisiert ist, desto weiter weicht die Bewertung des Beanspruchungswertes von „unkritisch“ ab. Andererseits steht mit der rating scale of mental effort (RSME, Zijlstra 1993) eine zweite Bewertung der subjektiven Beanspruchung zur Verfügung, die auf experimentellen Daten beruht.

Die Verifizierung des fuzzyCTL-Modells erfolgte durch subjektive Beanspruchungsdaten einer Feldstudie. Durch deren Auswertung konnte gezeigt werden, dass - trotz hoher Varianz in den subjektiven Beanspruchungsdaten - das fuzzyCTL- und das Originalmodell eine vergleichbare Prognoseleistung erzielten. Die Ergebnisse belegten, dass das fuzzyCTL-Modell (1) den Anforderungen gerecht wurde und (2) auf einer dem Originalmodell vergleichbaren Modelltheorie aufbaute.

Diskussion der Ergebnisse der Validierungsstudie

Zwei weitere Anforderungen an die Weiterentwicklung zum fuzzyCTL-Modell bestanden darin, die Prognosegüte des Modells zu bewerten sowie die Übergänge zu den Bereichen der negativen Beanspruchungsfolgen empirisch zu überprüfen. Im fuzzyCTL-Modell wurden diesbezüglich 41 Überprüfungspunkte identifiziert und als Versuchsaufgaben operationalisiert. Für die Überprüfung wurden standardisierte und somit vergleichbare Arbeitsbedingungen benötigt. Studien unter Laborbedingungen gewährleisten die Kontrolle der relevanten Einflussfaktoren, im Gegensatz zu Feldstudien.

Als Versuchspersonen konnten 39 berufstätige Operateure gewonnen werden, wovon 29 für die Auswertung herangezogen wurden. Die Versuchsdurchführung fand hauptsächlich im Ergonomielabor der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin statt. Um die Prognosegüte zu bestimmen, wurde die prognostizierte Beanspruchung mit der im Versuch protokollierten Beanspruchung verglichen. Da die subjektive Beanspruchungsmessung durch nicht versuchsspezifische Faktoren beeinflusst werden kann, wurde als Kontrolle ein multidimensionaler Messansatz gewählt: Neben der subjektiven Beanspruchung und deren Bewertung wurden objektive Beanspruchungsparameter und Leistungsdaten erhoben. Die Aufbereitung und Verarbeitung der Rohdaten, deren Aggregation und die Berechnung der Beanspruchung wurden einer Qualitätssicherung unterzogen. Diese erfolgte stichprobenartig und im Vier-Augen-Prinzip.

Im Rahmen der Auswertung der Beanspruchungswerte wurden unterschiedliche Zusammenhänge zwischen intendierter und tatsächlicher Belastung sowie prognostizierter und tatsächlicher Bewertung deutlich. Der Grund für höhere Mittelwerte und Varianzen bei der tatsächlichen Belastung (im Vergleich zur intendierten Belastung) wird in der fehlenden Kenntnis des Versuchssystems seitens der Versuchspersonen gesehen. Die diesbezüglich aufgetretene Varianz wird auf unterschiedliche Bearbeitungsstrategien der Versuchspersonen attribuiert. Auch bestand für die Versuchspersonen die Möglichkeit, mittels individueller Bearbeitungsstrategien die erlebte Beanspruchung zu optimieren.

Hinsichtlich der subjektiven Beanspruchungsergebnisse konnte eine hohe Übereinstimmung zwischen prognostizierter und tatsächlicher Bewertung bezogen auf die RSME-Werte verzeichnet werden. Hierbei fiel die Standardabweichung der RSME-Werte bezogen auf die tatsächliche Bewertung geringer aus. Für die als „optimal

(unkritisch) beanspruchend“ bewerteten Versuchsaufgaben war auffallend, dass die tatsächliche Bewertung nicht immer durch die subjektive Beanspruchung (RSME) bestätigt wurde. Bezogen auf die subjektive Beanspruchung wurde vermutet, dass ein versuchspersonenspezifisches Bewertungsverhalten existiert. Das heißt, dass eine Versuchsperson die subjektive Beanspruchung konstant anders bewertet, z. B. konstant niedriger, als es die mittlere Bewertung über alle Versuchspersonen ergibt. Zur Reduktion der vermeintlich dadurch aufgetretenen Varianz bieten sich aus Sicht des Autors theoretisch die Berücksichtigung des Bewertungsverhaltens und eine Wiederholung der Belastungssituationen an. Der versuchspersonenspezifische Einfluss wird bei der statistischen Auswertung als Personenfaktor berücksichtigt (Messwiederholung, verbundene Stichprobe). Es bleibt offen zu prüfen, wie sich die Zusammenhänge verändern würden, wenn auch das versuchspersonenspezifische Bewertungsverhalten zur Bereinigung der Datengrundlage der subjektiven Beanspruchung (RSME) und deren Bewertung (unterfordernd, unkritisch, überfordernd) benutzt würde. Eine Wiederholung von Belastungssituationen kann für ausgewählte Belastungen einen informatorischen Mehrwert liefern, ist jedoch gleichzeitig sehr ressourcenintensiv.

Die objektiven Beanspruchungswerte ergaben ein eher diffuses Bild der erlebten Beanspruchung, was in der Literatur als fehlende Verbindung (Englisch: Dissociation, in Young et al. 2015) zwischen subjektiver und objektiver Beanspruchung beschrieben wird. Neben der Tatsache, dass sich objektive Beanspruchungsparameter gegenseitig widersprechen konnten, traten auch innerhalb eines Beanspruchungsparameters widersprüchliche Aussagen auf. Selbst eine Mustersuche innerhalb der einzelnen Beanspruchungsparameter, die ggf. auf eine fehlerbehaftete subjektive Bewertung hätte hindeuten können, führte nicht zu Ergebnissen. Folglich konnten die objektiven Beanspruchungsparameter nur eingeschränkt zur Auswertung der Prognosegüte und der anschließenden Optimierungen herangezogen werden. Auf Basis dieser Beobachtungen stellt sich die Frage, ob die verwendeten objektiven Beanspruchungsparameter die in den Versuchen induzierten Veränderungen der mentalen Beanspruchung überhaupt diagnostizieren konnten. In der korrespondierenden Literatur werden die verwendeten Verfahren unter Berücksichtigung des Aufgabenbezugs und der Erhebungszeiten als geeignet beschrieben (Manzey 1998, Verwey und Veltman 1996, Gramann und Schandry 2009). In der praktischen Versuchsdurchführung bleiben kardiologische sowie okulomotorische Verfahren jedoch hinter den Ansprüchen zurück. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte eine zu geringe Aktivierung durch das Ausbleiben von emotionalen Beanspruchungskomponenten sein. Emotionale Komponenten besitzen ein höheres Aktivierungspotential und sind somit eher durch psychophysiologische Verfahren nachweisbar (Vogt et al. 2002). Auch kann die Erhebungsdauer von ca. vier Minuten ($1 \text{ Ereignis in } 240 \text{ sek} \triangleq 0,004 \text{ Hz}$) zzgl. 1 min Pause dazu geführt haben, dass mittelfristig wirkende Beanspruchungskomponenten zwar vorhanden waren, aber nicht erfasst werden konnten. Diese Beanspruchungskomponenten besitzen eine geringere Auftretenswahrscheinlichkeit, respektive niedrigere Frequenz. Das betrifft vor allem die ultra low und very low frequency-Bänder ($< 0,04 \text{ Hz} \triangleq 2,4 \text{ min}^{-1}$) der kardiologischen Beanspruchungsreaktionen. Die relativ kurze Erhebungsdauer von 240 sek ist jedoch nach den Standards der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie als Kurzzeitmessung zwischen 120 sek und 300 sek zulässig (1996). Auch für die okulomotorischen Beanspruchungswerte sollte die verwendete Erhebungsdauer keinen limitierenden Faktor darstellen (Verwey und Veltman 1996). Somit kann festgehalten werden, dass Übertragungseffekte von einer Versuchsaufgabe auf die nächste nicht ausgeschlossen werden konnten - trotz der

Kurzpause zwischen zwei Versuchsaufgaben. Für okulomotorische Parameter kann ein weiterer Grund in einer etwaigen Überlagerung mit anderen Faktoren, z. B. Nervosität, gesehen werden (Greve und Kluge 2013). Wegen der Auswirkungen auf die Datenqualität muss abschließend noch erwähnt werden, dass die Messtechnik, gerade beim okulomotorischen Verfahren, aufgrund stark artefaktbehafteter Daten zu einer reduzierten Datenqualität geführt hat.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist die Methode zur Baselineerhebung und deren potentieller Einfluss auf die Aussagekraft der objektiven Beanspruchungswerte. Alle objektiven Beanspruchungswerte wurden als prozentuale Abweichung zur Baseline ermittelt. Um einen geeigneten Bezugspunkt für die objektiven Beanspruchungsreaktionen zu schaffen, wurden zwei Anforderungen formuliert: (1) Auswirkungen etwaiger psychischer Anregungszustände vor dem Versuchsbeginn (z. B. Nervosität) auf die Baseline zu minimieren und (2) den sich ggf. über die Versuchsdauer (im Mittel acht Stunden) verändernden psychophysiologischen Grundzustand zu erfassen. Zum Beispiel eignet sich nach Fahrenberg und Myrtek (2001) eine im Tiefschlaf aufgenommene Baseline besonders gut als Bezug für kardiologische Indikatoren. Da im Rahmen der Laborstudie kein Zugang zu den Versuchspersonen vor dem Versuchstag erfolgte, konnte die Baseline nur am Versuchstag aufgenommen werden. Unter Berücksichtigung der zwei oben genannten Anforderungen wurden Baselines zu drei Zeitpunkten erhoben: vor dem Versuch, nach der Hälfte des Versuches und nach Abschluss des Versuches. Per Mittelwertbildung wurden die relevanten Beanspruchungswerte aus denen der drei Baselines ermittelt. Diesbezüglich soll diskutiert werden, ob eine alternative Baselineermittlung den Anforderungen gerecht geworden wäre und wie sich diese ausgewirkt hätte. Eine andere Möglichkeit wäre gewesen, die auf eine Baseline folgenden Versuchsaufgaben nur zu dieser in Bezug zu setzen. Das hätte zur Folge gehabt, dass die nach Abschluss des Versuches potentiell eintretende Entspannung für die Baselineermittlung nicht berücksichtigt worden wäre. Eine zweite Alternative hätte darin bestanden, nur die nach den Versuchen erhobene Baseline zu berücksichtigen. Allerdings hätte dies nicht die Tageszeitabhängigkeit des psychophysiologischen Grundzustandes (Anforderung 2) berücksichtigt. Insofern erscheint die angewendete Methode weiterhin am zweckmäßigsten, da sie beide der oben genannten Anforderungen berücksichtigt.

Die Auswertung der Leistungsparameter zeigte ebenfalls Unterschiede zwischen prognostizierter und tatsächlicher Bewertung, war aber weniger diffus als die objektiven Beanspruchungsparameter.

Hinsichtlich der Generalisierbarkeit der Ergebnisse müssen zwei Aspekte berücksichtigt werden: statistische und betriebliche. Zuerst zu den statistischen Aspekten: Die aus den Ergebnissen ermittelten Zusammenhänge lassen sich nur für subjektive Beanspruchungswerte generalisieren. Diese weisen teils hohe Effektstärken und Signifikanzniveaus auf. Hingegen zeigen objektive Beanspruchungswerte und Leistungsdaten hohe Varianzen und widersprüchliche Ausprägungen. Aufgrund der fehlenden signifikanten Zusammenhänge wird von einer Übertragung auf Anwendungsgebiete außerhalb des Arbeitsgebietes „Prozessführung in Leitwarten“ abgeraten. Seitens der betrieblichen Aspekte kommt zu den statistisch begründeten Einschränkungen der Übertragbarkeit hinzu, dass die Versuche für eine Versuchsperson nur einmalig und zur Tagzeit stattfanden. Für eine umfassende betriebliche Anwendung sollte sich eine etwaige Validierungsstudie an repräsentativen betrieblichen Abläufen orientieren, z. B. der Anzahl aufeinanderfolgender Schichten oder Schichtzeiten. Es ist anzunehmen, dass die Beanspruchungs- und Leistungswerte in der dritten aufeinanderfolgenden Nachtschicht andere sind als in der ersten Frühschicht nach einer

längeren Pause. Zusammenfassend bedeutet das, dass unter Berücksichtigung der beschriebenen statistischen und betrieblichen Aspekte die Ergebnisse der Validierungsstudie vorrangig für analytische Beanspruchungsprognosen bei der Ausführung von Prozessführungsaufgaben in Tagschichten gültig sind.

Diskussion der Prognosegüte

Nachdem die allgemeinen Ergebnisse diskutiert wurden, wird im Folgenden auf die Prognosegüte im Detail eingegangen. Die Prognosegüte wurde als Maß der Übereinstimmung zwischen prognostizierter und tatsächlicher Bewertung ermittelt. Damit diente die Prognosegüte als Qualitätsmaß für das fuzzyCTL-Modell.

Um Aussagen über die Prognosegüte ableiten zu können, musste der Versuchsaufbau bestimmte Anforderungen erfüllen. Diese Anforderungen wurden in zwei Hypothesen zusammengefasst. Hypothese 1 diente der Überprüfung, ob es nachweisbare Effekte aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen der Belastungsfaktoren (unabhängige Variablen) gab. Mit Hypothese 2 wurden die Zusammenhänge zwischen den Bewertungsstufen (unterfordernd, optimal (unkritisch) und überfordernd) und den Beanspruchungsmaßen bzw. den Leistungswerten (abhängige Variablen) untersucht.

Beide Hypothesen konnten nicht für alle abhängigen Variablen bestätigt werden und wurden auf Basis der Versuchsergebnisse präzisiert. Vor allem die objektiven Beanspruchungsparameter und Leistungsdaten konnten aufgrund widersprüchlicher Ausprägungen die Hypothesen nicht bestätigen.

Als positives Zeichen für die robuste Gestaltung der Versuchsaufgaben wurden die signifikanten Zusammenhänge zwischen den intendierten Belastungsfaktoren, der tatsächlichen Ebene der Informationsverarbeitung und subjektiver Beanspruchung gewertet. Die nicht signifikanten Zusammenhänge zwischen tatsächlichen Aufgabensetwecheln sowie tatsächlicher zeitlicher Auslastung und subjektiver Beanspruchung können mit der fehlenden Systemkenntnis und den unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien seitens der Versuchspersonen begründet werden. Zusammenfassend lässt sich zur Prognosegüte sagen, dass die Prognosegüte nach erfolgter Optimierung mit ca. 92 % korrekter Prognosen ein geeignetes Niveau erreicht hat.

Übergänge zwischen den Bereichen der negativen Beanspruchungsfolgen und der unkritischen Beanspruchung

Zur Überführung des qualitativen Originalmodells in ein empirisch überprüftes quantitatives Modell mussten neben Annahmen zur Skalierung auch Annahmen zu den Bereichen negativer Beanspruchungsfolgen getroffen werden. Diese Annahmen empirisch zu überprüfen war neben der Bestimmung der Prognosegüte (siehe oben) das zweite Ziel der Laborstudie.

Die benutzte Skalierung der Belastungsfaktoren mit

- $MAX_{\text{Aufgabensetwechsel}} = 5,$
- $MAX_{\text{Ebene der Inform.verarbeitung}} = 1,$
- $MAX_{\text{zeitliche Auslastung}} = 1$

erwies sich als zweckmäßig, um das notwendige Belastungsspektrum abzudecken. In der Laborstudie konnten „Unterforderung“, „Überforderung“ und „kognitive Fixierung“ als negative Beanspruchungsfolgen durch die Belastungssituationen und die entsprechende Bewertung der subjektiven Beanspruchung hervorgerufen werden. Die beiden anderen negativen Beanspruchungsfolgen „Vigilanzprobleme“ und „psychische Sättigung“ konnten nur durch „absolut keine“ und „fast keine“ subjektive Beanspruchung (RSME) ausgewiesen werden. Die Bewertung dieser subjektiven Beanspruchung mit „unterfordernd“ oder „überfordernd“ blieb jedoch aus. Dies deckt

sich mit den von Young et al. (2015) beschriebenen Herausforderungen zur Definition der Übergänge zwischen Unterforderung und optimaler (unkritischer) Beanspruchung bzw. optimaler (unkritischer) Beanspruchung und Überforderung. Die Ergebnisse werden konservativ interpretiert, so dass festgehalten werden muss, dass keine negativen Beanspruchungsfolgen in den aus der Modelltheorie vorhergesagten Bereichen „Vigilanzprobleme“ und „psychische Sättigung“ erzeugt werden konnten. Welche Gründe können dafür aufgeführt werden? Einerseits könnte dies mit der kurzen Durchführung der Versuchsbedingung, im engeren Sinne „time on task“, in Verbindung stehen. So setzen z. B. Möckel et al. (2015) eine Versuchsdauer von dreimal einer Stunde mit nur kurzen Pausen und einer hoch monotonen Versuchsaufgabe an, um „psychische Sättigung“ oder „ermüdungsähnliche Zustände“ wie „Vigilanzprobleme“ hervorzurufen. Andererseits könnte die aus der Literatur abgeleitete Größe und Form des Bereiches der optimalen (unkritischen) Beanspruchung im Belastungsraum eine Rolle gespielt haben. Demnach wurde der Inhalt der entsprechenden Versuchsaufgaben auf Basis der Hypothese eines ggf. falsch lokalisierten Überganges geplant und erzeugte somit eher eine optimale (unkritische) Beanspruchung, anstatt einer unterfordernden oder überfordernden.

Für zukünftige Versuche erscheint es aus Sicht des Autors zweckmäßig, die Beanspruchungsfolgen „Vigilanzprobleme“ und „psychische Sättigung“ mit längeren Durchführungszeiten und ggf. unterschiedlichen Versuchsaufgaben zur Variation der Komplexität und Schwierigkeit gesondert zu untersuchen.

Anwendung des fuzzyCTL-Modells

Das fuzzyCTL-Modell kann in zwei Weisen angewendet werden: zur analytischen Prognose der Beanspruchung und zum Ableiten von Gestaltungshinweisen. Die analytische Prognose der Beanspruchung wurde an einem Beispiel in Unterabschnitt 3.1.4 und Abschnitt 5.3 demonstriert. Um die Anwendung des fuzzyCTL-Modells zum Ableiten von Gestaltungshinweisen zu demonstrieren, wurde in Kapitel 6 ein Anwendungsbeispiel vorgestellt und analysiert. Je nach notwendiger Abstraktionsstufe standen dafür die Bewertungs- oder Faktorenebene zur Verfügung. Hierbei ist die Bewertungsebene die höchste Abstraktionsstufe, auf welcher die numerischen Beanspruchungswerte des CTL und RSME zur Verfügung stehen. Die Faktorenebene hingegen besitzt einen hohen Detailgrad zur Erfassung der Wechselwirkungen zwischen den drei Belastungsfaktoren „Aufgabensetwechsel“, „Ebene der Informationsverarbeitung“ und „zeitliche Auslastung“.

Forschungsfragen

#	Forschungsfrage	Bearbeitung in
1.	Welche negativen Beanspruchungsfolgen lassen sich für Prozessführungsaufgaben identifizieren, und wie können diese für eine quantitative Bewertung der Beanspruchung operationalisiert werden?	Kapitel 3
2.	Wie kann die quantitative Bewertung (aus 1.) automatisiert, transparent und reproduzierbar erfolgen?	Kapitel 3
3.	Lassen sich die Operationalisierung der negativen Beanspruchungsfolgen (aus 1.) und das zur quantitativen Bewertung entstandene Modell (aus 2.) empirisch belegen?	Kapitel 4
4.	Wie kann die subjektive Beanspruchung in die Bewertung (aus 2.) einbezogen werden?	Kapitel 3, 4 und 5

Es wurden alle Forschungsfragen bearbeitet und beantwortet. Die Operationalisierung der negativen Beanspruchungsfolgen (Frage 3) konnte nicht umfassend empirisch belegt werden und wird somit als nur teilweise beantwortet (orange) markiert. Für die Diskussion zu dieser Thematik wird auf den Absatz „Übergänge zwischen den Bereichen der negativen Beanspruchungsfolgen und der unkritischen Beanspruchung“ weiter oben verwiesen.

8 Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war die Weiterentwicklung eines qualitativen in ein quantitatives analytisches Modell zur Prognose der mentalen Beanspruchung im Arbeitsgebiet „Prozessführung“. Dieses Ziel wurde erreicht. Eine konsequente Fortsetzung dieser ingenieurwissenschaftlichen Arbeit wäre es, das optimierte fuzzyCTL-Modell für den allgemeinen Gebrauch nutzbar zu machen. Vorstellbar wäre die Entwicklung eines Programms inklusive grafischer Benutzungsschnittstelle zur mobilen Nutzung und ggf. online-Nutzung des Modells.

Eine wichtige Grundlage für die weiterführende Nutzung des fuzzyCTL-Modells ist allerdings eine weitere Validierung unter betrieblichen Arbeitsbedingungen. Dazu wird empfohlen, betriebliche Belange wie z. B. Arbeitszeit- und Schichtarbeitsmodelle zu berücksichtigen.

Im Gegensatz zur skizzierten anwendungsorientierten Fortentwicklung des Modells wird für eine wissenschaftliche Nutzung empfohlen, die Modelltheorie weiterzuentwickeln. Aus den Ergebnissen der Laborstudie und der Diskussion lassen sich für das fuzzyCTL-Modell nachstehende Erweiterungsbedarfe identifizieren (die Reihenfolge drückt keine Priorisierung aus):

- Berücksichtigen des subjektiven Bewertungsverhaltens bei der Ermittlung der Beanspruchungswerte und Datenauswertung sowie
- Untersuchen der zeitlichen Abhängigkeit der Beanspruchung (z. B. Ab wann wirkt eine prognostizierte Unterforderung als eine tatsächliche Unterforderung?) mit dem Ziel der Ermittlung eines zeitlich abhängigen Expositionsmodells oder Wichtungsfaktors.

Einen anderen Anwendungszweig stellt die Nutzung des fuzzyCTL-Modells im Rahmen der Echtzeiterfassung der mentalen Beanspruchung dar. Die effizient arbeitenden Fuzzy-Logik-Algorithmen unterstützen diese Anwendung. Das ingenieurwissenschaftlich Herausfordernde hierbei besteht in der Einbindung von Echtzeitmesssignalen aus dem Arbeitssystem, wie z. B. von der Arbeitsumgebung, von den Arbeitsmitteln und vom Operateur. Damit einhergehend sollten Möglichkeiten einer weiteren Verbesserung der Effizienz des Fuzzy-Logik-Algorithmus, also der Reduktion der Berechnungszeit bei gleichbleibender Prognosegüte, geprüft werden.

In Ergänzung zu den aufgeführten Aspekten zur Weiterentwicklung der Modelltheorie ließen sich ebenfalls Anforderungen aus den Wechselwirkungen der Belastungsfaktoren ableiten. Voraussetzung dafür ist, dass eine entsprechende empirische Grundlage zur Verfügung stünde. So könnten im Umkehrschluss z. B. die maximale Ebene der Informationsverarbeitung für eine bestimmte zeitliche Auslastung empfohlen oder Aussagen getroffen werden, wie viele Aufgabensetwechsel bei welcher zeitlichen Auslastung angemessen sind. Das Ziel ist hierbei die Gestaltung sicherer, gesunder und wettbewerbsfähiger Arbeit.

Literaturverzeichnis

- Altmann und Trafton (2007): Timecourse of recovery from task interruption: data and a model. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 6, S. 1079-1084.
- Baethge und Rigotti (2010): *Arbeitsunterbrechungen und Multitasking (F2220)*. Dortmund: BAuA.
- Bailey und Konstan (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, S. 685-708.
- Bailey, Konstan und Carlis (2000): Measuring the effects of interruptions on task performance in the user interface. In: IEEE (Hrsg.): *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2000*, Nashville, S. 757-762.
- Bainbridge (1987): Ironies of automation, In: Rasmussen, Gunter und Leplat (Hrsg.): *New Technology and Human Error*, 1 ed. New York: John Wiley & Sons.
- Baker und Holding (1993): The effects of noise and speech on cognitive task performance. *The Journal of General Psychology*, 120, 3, S. 339-355.
- Beevis (1992): *Analysis techniques for man-machine systems design*, Vol 1 & 2. Brüssel: NATO, Panel 8-RSG 14.
- Bell, Gupta, Kolli und Manhartsberger (1996): *Methods & tools for supporting the user interface design process*, *Critical Issues in User Interface Systems Engineering*. Heidelberg: Springer.
- Benedetto, Pedrotti, Minin et al. (2011): Driver workload and eye blink duration. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14, 3, S. 199-208.
- TRLV Lärm-2:2010 - Technische Regeln zur Lärm- und Vibrationsarbeitsschutzverordnung - Messung von Lärm, Place Published.
- Bockelmann, Nachreiner und Nickel (2013): *Bildschirmarbeit in Leitwarten*. Dortmund: BAuA.
- Bojadziev und Bojadziev (2007): *Fuzzy Logic for business, finance, and management*, New Jersey: World Scientific.
- Brightenburg, Bell und Harris (2016): Non-monetary incentives and rewards: a review and research agenda. In: SWAM (Hrsg.): *Southwest Academy of Management Annual Meeting*, Oklahoma, S. 43-52.
- Brixey, Robinson, Johnson et al. (2007): A concept analysis of the phenomenon interruption. *Advances in Nursing Science*, 30, 1, S. 26-42.
- Bröhl, Bützler, Horoufchin et al. (2012): *Gutachten zu Belastungsprofilen und ergonomischen Gestaltungsvorschlägen für Leitzentralen*. Aachen: IAW.
- Brookhuis und de Waard (2001): Assessment of drivers' workload: Performance and subjective and physiological indexes, In: Hancock und Desmond (Hrsg.): *Stress, workload, and fatigue*. Mahwah: Lawrence Earlbaum.
- Bühner, König, Pick und Krumm (2006): Working memory dimensions as differential predictors of the speed and error aspect of multitasking performance. *Human Performance*, 19 3, S. 253-275.
- Bullemer, Hajdukiewicz und Burns (2010): *Effective procedural practices*, Charleston: ASM Consortium.
- Bullemer und Reising (2013): *Effective console operator HMI design*, Charleston: ASM Consortium.
- Burns und Hajdukiewicz (2004): *Ecological interface design*, Boca Raton: CRC Press.

- C.J.König, Bühner und Mürling (2005): Working memory, fluid intelligence, and attention are predictors of multitasking performance, but polychronicity and extraversion are not. *Human Performance*, 18 3, S. 243-266.
- Cardiology (1996): Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93, 5, S. 1043-1065.
- Claudy (1978): Multiple regression and validity estimation in one sample. *Applied Psychological Measurement*, 2, 4, S. 595-607.
- Colin (2013): Modeling the cognitive state of urban search and rescue robot operators in real time. Masterthesis, University of Utrecht.
- Colin, Mioch, Smets und Neerincx (2012): Estimating an operator's cognitive state in real time: a user modeling approach. In: IEEE (Hrsg.): *The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication 2012*, Paris, S. 627-633.
- Colin, Smets, Mioch und Neerincx (2014): Real time modeling of the cognitive load of an urban search and rescue robot operator. In: IEEE (Hrsg.): *The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication 2014*, Edinburgh, S. 874-879.
- Colle und Reid (2005): Estimating a mental workload redline in a simulated air-to-ground combat mission. *The International Journal of Aviation Psychology*, 15, 4, S. 303-319.
- Colombi, Miller, Schneider et al. (2012): Predictive mental workload modeling for semiautonomous system design: Implications for systems of systems. *Systems Engineering*, 15, 4, S. 448-460.
- Cook, Reid und Wilson (2001): The role of working memory in command and control tasks, In: Harris (Hrsg.): *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Burlington: Ashgate Publishing Ltd.
- Coy (2009): Control room management. In: AGA (Hrsg.): *American Gas Association Operation Conference*, Atlanta, S. 983-1002.
- DIN 4054:1977 - Verkehrswasserbau - Begriffe, Place Published.
- DIN EN ISO 10075-1:2000 - Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeines und Begriffe, Place Published.
- DIN EN ISO 10075-2:2000 - Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze, Place Published.
- DIN EN ISO 11064-1:2001 - Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 1: Grundsätze für die Gestaltung von Leitzentralen, Place Published.
- DIN EN ISO 11064-6:2005 - Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 6: Umgebungsbezogene Anforderungen an Leitzentralen, Place Published.
- DIN EN ISO 9241-171:2008 - Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 171: Leitlinien für die Zugänglichkeit von Software, Place Published.
- DIN EN ISO 11064-5:2008 - Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 5: Anzeigen und Stellteile, Place Published.
- DIN EN 894-1:2009 - Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 1: Allgemeine Leitsätze für die Benutzer-Interaktion mit Anzeigen und Stellteilen, Place Published.
- DIN EN 894-2:2009 - Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 2: Anzeigen, Place Published.
- DIN EN 894-3:2010 - Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 3: Stellteile, Place Published.

- DIN EN 894-4:2010 - Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 4: Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen, Place Published.
- DIN 5035-6:2011 - Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 6: Messung und Bewertung, Place Published.
- DIN EN ISO 9000:2015 - Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe, Place Published.
- Durbin und Watson (1950): Testing for serial correlation in least squares regression. *Biometrika*, 37, 3/4, S. 409-428.
- Easterbrook (1959): The effect of emotion on cue utilization and the organization of behaviour. *Psychological Review*, 66, 3, S. 183-201.
- Eggemeier und Wilson (1991): Performance based and subjective assessment of workload in multi-task environments, In: Damos (Hrsg.): Multiple task performance. London: Taylor & Francis Ltd.
- Eggemeier, Wilson, Kramer und Damos (1991): General considerations concerning workload assessment in multi-task environments, In: Damos (Hrsg.): Multiple task performance. London: Taylor & Francis.
- Eilers, Nachreiner und Hänecke (1996): Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 40, 4, S. 215-224.
- Endsley (1999): Situation awareness and human error: designing to support human performance. (Hrsg.): High Consequence Systems Surety Conference, Albuquerque, S.
- Endsley und Kiris (1995): The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors*, 37, 2, S. 381-394.
- Errington, Reising und Burns (2009): Effective alarm management practices, Charleston: ASM Consortium.
- Fahlbruch, Schöbel und Domeinski (2008): Sicherheit, In: Badke-Schaub, Hofinger und Lauche (Hrsg.): Human Factors: Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen. Heidelberg: Springer.
- Fahrenberg und Myrtek (2001): Ambulates Monitoring und Assessment, In: Rösler (Hrsg.): Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie. Göttingen: Hogrefe.
- Farmer (2010): Optimal performance in multitasking. University College London.
- Field (2009): Discovering statistics using SPSS, London: Sage Publications Ltd.
- Franke, Daniels und McFarlane (2002): Recovering context after interruption. In: Gray und Schunn (Hrsg.): 24th Annual Meeting of the Cognitive Science Society 2002, Washington, D. C., S. 310-315.
- Gao, Wang, Song et al. (2013): Mental workload measurement for emergency operating procedures in digital nuclear power plants. *Ergonomics*, 56, 7, S. 1070-85.
- Gibson (1979): The Ecological Approach to Visual Perception, Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Gramann und Schandry (2009): Psychophysiologie, Weinheim: Beltz.
- Gregoriades und Sutcliffe (2008): Workload prediction for improved design and reliability of complex systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 93, 4, S. 530-549.

- Greve und Kluge (2013): Die Messung von Mental Workload und Situation Awareness während des Erlernens einer komplexen Prozesskontrolltätigkeit im Rahmen einer Eyetracker-Untersuchung. *Kognitive Systeme* (Online), 2013, 1.
- Grootjen, Neerincx und Veltman (2006): Cognitive task load in a naval ship control centre: from identification to prediction. *Ergonomics*, 49, 12-13, S. 1238-64.
- Grootjen, Neerincx, Weert und Truong (2007): Measuring cognitive task load on a naval ship: implications of a real world environment, In: Schmorow und Reeves (Hrsg.): *Foundations of Augmented Cognition*. Heidelberg: Springer.
- Grubbs (1969): Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, 11, 1, S. 1-21.
- Harbers, Aydogan, Jonker und Neerincx (2014): Sharing information in teams: giving up privacy or compromising on team performance? (Hrsg.): *Proceedings of the 2014 International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Paris, International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, S. 413-420.
- Hart und Staveland (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research, In: Hancock und Meshkati (Hrsg.): *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland Press.
- Henderson, Wright und Brazier (2002): Human factors aspects of remote operation in process plants. Health and Safety Executive.
- Herczeg (2014): *Prozessführungssysteme: Sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme und interaktive Medien zur Überwachung und Steuerung von Prozessen in Echtzeit*, Köln: De Gruyter.
- Hockey (2003): Operator functional state as a framework for the assessment of performance degradation. In: Hockey, Gaillard und Burov (Hrsg.): *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Operator Functional State and Impaired Performance in Complex Work Environments*, Il Ciocco, IOS Press, S. 8-23.
- Höhn, Goertz, Lehder et al. (2006): *Maschinennormung und Ergonomie*, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH.
- Holden, Scanlon, Patel et al. (2011): A human factors framework and study of the effect of nursing workload on patient safety and employee quality of working. *British Medical Journal Quality and Safety*, 20, 1, S. 15-25.
- Hoskinson und Toomin (2015): brainworkshop.sourceforge.net.
- Iqbal, Zheng und Bailey (2004): Task-evoked pupillary response to mental workload in human-computer interaction. In: Dykstra-Erickson und Tescheli (Hrsg.): *Conference on Human Factors in Computer Science 2004*, Wien, S. 1477-1480.
- Ishii, Ogata, Takano et al. (2008): Study on mental stress using near-infrared spectroscopy, electroencephalography, and peripheral arterial tonometry. In: IEEE (Hrsg.): *Annual Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2008*, Vancouver, S. 4992-4995.
- Ivergard und Hunt (2008): *Handbook of control room design and ergonomics*, Boca Raton: CRC Press Inc.
- Jandova (2009): *Zusammenhänge zwischen Arbeitssicherheit und psychischer Fehlbeanspruchung – Synergien aus der habituellen und täglichen sowie einmaligen Erfassungsebene*. TU Dresden.

- Janssen und Brumby (2010): Strategic adaptation to performance objectives in a dual-task-setting. *Cognitive Science*, 34, 8, S. 1548-1560.
- Jeschke, Adolph und Wischniewski (2014): Operateure in Leitwarten - Multitasker der Automatisierung. In: Grandt und Schmerwitz (Hrsg.): *Der Mensch zwischen Automatisierung, Kompetenz und Verantwortung - DGLR-Bericht 2014-01*, Ottobrunn, S. 155-170.
- Jeschke, Lafrenz und Wischniewski (2016): Vergleich subjektiver und objektiver Beanspruchungsmessung bei dual-2-back-Aufgaben. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 70, 4, S. 211-219.
- Kaber und Endsley (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, S. 126-131.
- Kaber und Riley (1999): Adaptive automation of a dynamic control task based on secondary task workload measurement. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 3, 3, S. 169-187.
- Kahlert und Frank (1993): *Fuzzy Logik und Fuzzy Control*, Wiesbaden: Vieweg.
- Kane, Hambrick und Conway (2005): Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: comment on Ackerman, Beier, and Boyle *Psychological Bulletin*, 131, 1, S. 66-71.
- Kitamura, Murai, Fukushi et al. (2012): Evaluation of ship navigator's mental workload for ship handling based on salivary NO3. In: IEEE (Hrsg.): *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2012*, Seoul, S. 1531-1535.
- Klapp (2010): Comments on the classic Henry and Rogers (1960) paper on its 50th anniversary: resolving the issue of simple versus choice reaction time. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 81, 1, S. 108-112.
- Langner, Steinborn, Chatterjee et al. (2010): Mental fatigue and temporal preparation in simple reaction-time performance. *Acta Psychol (Amst)*, 133, 1, S. 64-72.
- LASI (1999): LV16 - Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter. *Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik*.
- Linton, Plamondon, Diack et al. (1988): Operator Workload for Military System Acquisition, In: McMillan, Beevis, Salas et al. (Hrsg.): *Applications of Human Performance Models to Systems Design*. New York: Plenum.
- Locke und Latham (2002): Building a practically useful theory of goal setting and task motivation: A 35-year odyssey. *American Psychologist*, 57, 9, S. 705-717.
- Loukopoulos, Dismukes und Barshi (2009): *The multitasking myth: handling complexity in real-world operations*, Farnham: Ashgate Pub. Ltd.
- Lunze (2010): *Künstliche Intelligenz für Ingenieure*, München: Oldenbourg Verlag.
- Lunze (2016): *Künstliche Intelligenz für Ingenieure*, München: Oldenbourg Verlag.
- Manzey (1998): Psychophysiologie mentaler Beanspruchung, In: Rösler (Hrsg.): *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Masson und Cacciabue (1989): The contribution of cognitive modelling to the development of training technology and safety improvement. In: IVSS (Hrsg.): *Internationales Kolloquium der IVSS - Erziehung und Ausbildung zur Prävention*, Heidelberg, S. 221-226.
- Matthews, Campbell und Falconer (2001): Assessment of motivational states in performance environments. In: HFES (Hrsg.): *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 2001*, Minneapolis, S. 906-910.

- Matthews, Campbell, Falconer et al. (2002): Fundamental dimensions of subjective state in performance settings: Task engagement, distress, and worry. *Emotion*, 2, 4, S. 315-340.
- Matthews, Davies, Westerman und Stammers (2000): *Human performance: cognition, stress, and individual differences*, Philadelphia: Taylor & Francis.
- Matthews, Reinerman-Jones, Wohleber et al. (2015): Workload is multidimensional, not unitary: What now? In: Schmorrow und Fidopiastis (Hrsg.): 9th International Conference on Augmented Cognition, Los Angeles, S. 44-55.
- Mayer, Mechler, Schlindwein und Wolke (1993): *Fuzzy Logik*, Bonn: Addison-Wesley.
- McFarlane (2002): Comparison of four primary methods for coordinating the interruption of people in human-computer interaction. *Human Computer Interaction*, 17, 1, S. 63-139.
- McFarlane und Latorella (2002): The scope and importance of human interruption in human-computer interaction design. *Human Computer Interaction*, 17, 1, S. 1-61.
- Mertens, Motz, Bützler et al. (2013): Modulares Bedienkonzept und generisches Bemessungssystem zur Arbeitsorganisation in Steuerzentralen für die Fernbedienung und -überwachung von technischen Anlagen. In: GfA (Hrsg.): 59. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Krefeld, S. 749-754.
- Michalos, Makris und Chryssolouris (2013): The effect of job rotation during assembly on the quality of final product. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6, 3, S. 187-197.
- Mioch, Looije und Neerincx (2010): Developing a model of cognitive lockup for user interface design. In: Salvucci und Gunzelmann (Hrsg.): 10th International Conference on Cognitive Modeling 2010, Philadelphia, S. 157-162.
- Möckel, Beste und Wascher (2015): The effects of time on task in response selection - an ERP study of mental fatigue. *Scientific Reports*, 5, 10113.
- Montazer, Saremi und Ramezani (2009): Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection. *Expert Systems with Applications*, 36, 8, S. 10837-10847.
- Mulder (1988): *Assessment of cardiovascular reactivity by means of spectral analysis*, Groningen: University of Groningen.
- Mulder (1992): Measurement and analysis methods of heart rate and respiration für use in applied environments. *Biological Psychology*, 34, 2-3, S. 205-236.
- Müsseler (2000): *Lexikon der Psychologie*, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Nachreiner, Bockelmann und Nickel (2012): Ergonomische Überlegungen zu Remote Operations Control Centers (ROCC). In: GfA (Hrsg.): 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Kassel, GfA-Press, S. 585-589.
- Naikar, Hopcroft und Moylan (2005): *Work domain analysis: theoretical concepts and methodology*. Fishermans Bend: Air Operations Division, Defence Science and Technology Organisation.
- Neerincx (1995): *Harmonizing tasks to human knowledge and capacities*. Ph. D. Dissertation, Rijksuniversiteit Groningen.
- Neerincx (2003): Cognitive task load analysis: allocating tasks and designing support, In: Hollnagel (Hrsg.): *Handbook of Cognitive Task Design*. Mawah: Lawrence Earlbaum.
- Neerincx, Harbers, Lim und Tas (2014): Automatic Feedback on Cognitive Load and Emotional State of Traffic Controllers.

- Neerincx, Harbers, Lim und van der Tas (2014): Automatic feedback on cognitive load and emotional state of traffic controllers. In: Harris (Hrsg.): 11th International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics 2014, Heraklion, Springer, S. 42-49.
- Neerincx, Kennedie, Grootjen und Grootjen (2009): Modeling the cognitive task load and performance of naval operators, Foundations of Augmented Cognition. Neuroergonomics and Operational Neuroscience. Heidelberg: Springer.
- Neerincx, Van Doorne und Ruijsendaal (2000): Attuning computer-supported work to human knowledge and processing capacities in ship control centers, In: Schraagen, Chipman und Shalin (Hrsg.): Cognitive Task Analysis. New York: Lawrence Erlbaum.
- Nickel und Nachreiner (2005): Anforderungen an Arbeitsunterlagen für die Prozessführung. Dortmund: BAuA.
- Oberauer, Süß, Wilhelm und Wittman (2003): The multiple facets of working memory: storage, processing, supervision, and coordination. *Intelligence*, 31, 2, S. 167-193.
- Owen, McMillan, Laird und Bullmore (2005): N-back working memory paradigm: A meta analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25, 1, S. 46-59.
- Ozaki, Motohashi, Kaneko und Fujita (2012): Association between psychological distress and a sense of contribution to society in the workplace. *BMC Public Health*, 12, 1, S. 1.
- Parsons (2000): Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*, 31, 6, S. 581-594.
- Pleydell-Pearce, Dickson und Whitecross (2000): Cognition monitor: a system for real time pilot assessment. In: McCabe, Hanson und Robertson (Hrsg.): *Contemporary Ergonomics 2000*, London, S. 67-71.
- Polany (1985): *Implizites Wissen (The tacit dimension)*, Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Ramsey (1995): Task performance in heat: a review. *Ergonomics*, 38, 1, S. 154-165.
- Rasmussen (1983): Skills, rules, knowledge; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 13, 3, S. 257-266.
- Rasmussen (1986): *Information processing and human-machine-interaction: an approach to cognitive engineering*, New York: Elsevier Science.
- Rasmussen und Goodstein (1985): *Decision support in supervisory control*. Roskilde: RISO National Laboratory.
- Rasmussen und Vicente (1989): Coping with human errors through system design: implications for ecological interface design. *International Journal of Man-Machine Studies*, 31, S. 517-534.
- Reid und Colle (1988): Critical SWAT values for predicting operator overload. (Hrsg.): 32. Annual Meeting Human Factors Society, Anaheim, S. 1414-1418.
- Reid und Nygren (1988): The subjective workload assessment technique: a scaling procedure for measuring mental workload. *Advances in Psychology*, 52, S. 185-218.
- Reiner und Gelfeld (2014): Estimating mental workload through event-related fluctuations of pupil area during a task in a virtual world. *International Journal of Psychophysiology*, 93, 1, S. 38-44.

- Ren, Barreto, Gao und Adjouadi (2011): Affective assessment of computer users based on processing pupil diameter signal. In: IEEE (Hrsg.): 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Boston, IEEE, S. 2594-2597.
- Richter (1988): Prinzipien der künstlichen Intelligenz, Stuttgart: Teubner.
- Richter, Debitz und Schulze (2002): Diagnostik von Arbeitsanforderungen und kumulativen Beanspruchungsfolgen am Beispiel eines Call Centers. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 56, 1-2, S. 67-76.
- Rohmert (1983): Formen menschlicher Arbeit, In: Rohmert und Rutenfranz (Hrsg.): Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart: Thieme.
- Rohmert (1984): Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 38, 10, S. 193-200.
- Rubinstein, Meyer und Evans (2001): Executive control of cognitive processes in task switching. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27, 4, S. 763-797.
- Ruser und Puente León (2007): Informationsfusion – Eine Übersicht (Information Fusion – An Overview). tm – Technisches Messen, 74, 3.
- Salvucci (2005): A multitasking general executive for compound continuous tasks. Cognitive Science, 29, 3, S. 457-492.
- Saqer und Parasuraman (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, S. 15-31.
- Schlick, Luczak und Bruder (2010): Arbeitswissenschaft, Heidelberg: Springer.
- Schmidt (2008): Ergonomie und Führungssysteme, In: Schmidt, Grosche und Schlick (Hrsg.): Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. Heidelberg: Springer.
- Schulte (1993): Einführung in die Fuzzy Logik - Fortschritt durch Unschärfe, München: Franzis Verlag.
- Schulze-Kissing und Eißfeldt (2015): ConCent: Eine Simulationsplattform zur Untersuchung kollaborativer Entscheidungsprozesse in Leitzentralen. In: Grandt und Schmerwitz (Hrsg.): Kooperation und kooperative Systeme in der Fahrzeug- und Prozessführung, Rostock, Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrttechnik - Lilienthal-Oberth e.V., S. 157-170.
- Schwarz und Fuchs (2014): Adaptive Automation als sozialer Akteur: Anforderungen an die Gestaltung aus psychologischer und systemtheoretischer Sicht, In: Grandt und Schmerwitz (Hrsg.): Der Mensch zwischen Automatisierung, Kompetenz und Verantwortung - DGLR-Bericht 2014-01. Ottobrunn.
- Shepard (1973): Technology, division of labor, and alienation. The Pacific Sociological Review, 16, S. 61-88.
- Sheridan (1980): Computer Control and Human Alienation. MIT's Technology Review, 83, S. 60-73.
- Siegrist, Dragano und Wahrendorf (2009): Arbeitsbelastungen und psychische Gesundheit bei älteren Erwerbstätigen: die Bedeutung struktureller Intervention, In: Badura (Hrsg.): Arbeit und Psyche. Heidelberg: Springer.
- Singh, Gupta, Meitzler et al. (2013): Real-life applications of Fuzzy Logic. Advances in Fuzzy Systems, 2013, S. 1-3.
- Stanton, Salmon, Jenkins und Walker (2010): Human factors in the design and evaluation of central control room operations, Boca Raton: Crc Press Inc.
- Stocké und Hunkler (2004): Die angemessene Erfassung der Stärke und Richtung von Anreizen durch soziale Erwünschtheit. Zentralarchiv für Empirische Sozialforschung, 54, S. 53-88.

- Tarvainen, Niskanen, Lipponen et al. (2014): Kubios-HRV - Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113, 1, S. 210-220.
- Tokuda und Obinata (2012): Development of an algorithm to detect saccadic intrusions as an index of mental workload. In: IEEE (Hrsg.): *IEEE Annual Conference of the Society of Instruments and Control Engineers*, Akita, IEEE, S. 1369-1372.
- VDI/ VDE 3699-2:2014 - Prozessführung mit Bildschirmen - Blatt 2: Grundlagen, Place Published.
- VDI/ VDE 3699-1:2015 - Prozessführung mit Bildschirmen - Blatt 1: Begriffe, Place Published.
- Verwey und Veltman (1996): Detecting short periods of elevated workload: a comparison of nine workload assessment techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2, 3, S. 270-285.
- Vicente und Rasmussen (1992): Ecological interface design: theoretical foundations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22, S. 589-606.
- Vogt, Adolph, Ayan et al. (2002): Stress in modern air traffic control systems and potential influences on memory. *Human Factors and Aerospace Safety*, 2, 4, S. 355-378.
- Watanabe, Chen und Konuri (1996): Evaluation of min/max instructions for fuzzy information processing. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4, 3, S. 369-374.
- Wetherell und Carter (2014): The multitasking framework: the effects of increasing workload on acute psychobiological stress reactivity. *Stress Health*, 30, 2, S. 103-9.
- Wickens (2002): Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3, 2, S. 159-177.
- Wickens (2008): Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50, 3, S. 449 -455.
- Wickens und Hollands (1999): *Engineering psychology and human performance*, Toronto: Columbus.
- Wild, Johnson und Johnson (2004): Towards a composite modelling approach for multitasking. In: ACM (Hrsg.): *3rd International Workshop on Task Models and Diagrams for User Interface Design 2004*, Prag, S. 17-24.
- Xie und Salvendy (2000): Review and reappraisal of modelling and predicting mental workload in single- and multi-task environments. *Work & Stress*, 14, 1, S. 74-99.
- Yin und Fan (2001): Estimating R² shrinkage in multiple regression: a comparison of different analytical methods. *Journal of Experimental Education*, 69, 2, S. 203-224.
- Young, Brookhuis, Wickens und Hancock (2015): State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*, 58, 1, S. 1-17.
- Zadeh (1965): Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 3, S. 338-353.
- Zadeh (2008): Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*, 178, 13, S. 2751-2779.
- Zapf (1989): *Selbst- und Fremdbeobachtung in der psychologischen Arbeitsanalyse: methodische Probleme bei der Erfassung von Stress am Arbeitsplatz*, Göttingen: Hogrefe.
- Zijlstra (1993): *Efficiency in work behaviour: a design approach for modern tools*. PhD Thesis, Delft University of Technology.

- Zijlstra, Roe, Leonora und Krediet (1999): Temporal factors in mental work: Effects of interrupted activities. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 72, 2, S. 163-185.
- Zimber und Rigotti (2015): Multitasking. Komplexe Anforderungen im Arbeitsalltag verstehen, bewerten und bewältigen, Göttingen: Hogrefe.
- Zimmermann (2001): Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen: Validierung und vergleichende Bewertung arbeitsanalytischer Fragebogenverfahren unter Einschluss objektiver Arbeitsplatzdaten. Universität Dortmund.

Abkürzungsverzeichnis

- AFNS - all frequencies, no sampling
- APCPS - average percentage change in pupil size
- bspw - beispielsweise
- bzw - beziehungsweise
- COA - center of area, Flächenmittelpunktmethode
- COG - center of gravity, Flächenschwerpunktmethode
- CTL - Cognitive Task Load
- DIN - Deutsches Institut für Normung
- EN - Europäische Norm
- GUI - graphical user interface, grafische Benutzungsschnittstelle
- ISO - International Standards Organization, Internationale Organisation für Normung
- KBB - knowledge based behaviour, wissensbasierte Informationsverarbeitung
- LIP - level of information processing, Ebene der Informationsverarbeitung
- PU - planmäßige Unterhaltung
- RBB - rule based behaviour, regelbasierte Informationsverarbeitung
- SBB - skill based behaviour, fertigkeitbasierte Informationsverarbeitung
- TO - time occupied, zeitliche Auslastung
- TSS - task set switches, Aufgabensetwechsel
- Vp - Versuchsperson
- Vps - Versuchspersonen
- WSV - Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Schematische Darstellung des Lösungsansatzes	14
Abb. 2.1	Beschreibung des Standes der Wissenschaft und Technik	16
Abb. 2.2	Zeitverlauf einer Multitaskingsituation, in Anlehnung an Brixey et al. (2007)	18
Abb. 2.3	Wirksamkeit der individuellen Merkmale auf die Beanspruchung	20
Abb. 2.4	Leistung und mentale Beanspruchung (in Anlehnung an Colle und Reid 2005)	23
Abb. 2.5	Ergebnisübersicht der Bewertung identifizierter Prognosemodelle	27
Abb. 2.6	Belastungsraum (qualitativ von „gering“ bis „hoch“), inkl. Risikobereiche (nach Neerincx 2003)	30
Abb. 2.7	Bereich der optimalen Beanspruchung (nach Grootjen et al. 2006)	31
Abb. 2.8	Inferenzoperatoren: links Algebraisches Produkt, rechts Minimum-Operator; hierbei ist die x-Koordinate des Flächenschwerpunkts, mit $a < b$	35
Abb. 2.9	Aggregation der Eingangsvariablen mittels Minimum-Operator und den sich aus den zutreffenden Regeln ergebenden Erfüllungsgraden der Prämissen	36
Abb. 2.10	Implikation zur Ermittlung der Erfüllungsgrade der Konklusionen (Algebraisches Produkt-Operator)	37
Abb. 2.11	Akkumulation (Summen-Operator) führt bei Ergebnismenge zu irregulärer Fläche (links)	37
Abb. 3.1	Überführung des CTL-Modells in ein kartesisches Koordinatensystem	41
Abb. 3.2	Belastungsraum mit Beanspruchungsfolgen	42
Abb. 3.3	Vorgehen zur Prognose der mentalen Beanspruchung (Berechnung und Bewertung)	44
Abb. 3.4	Grafische Darstellung der Regelbasis des fuzzyCTL-Modells	46
Abb. 3.5	Funktionsweise des Inferenzmechanismus	47
Abb. 4.1	Dreidimensionaler Belastungsraum (links) mit Schnittebenen zur Ableitung der Überprüfungspunkte (Beanspruchungsprognose: perspektivisch (Mitte) und Draufsicht mit Überprüfungspunkten (rechts))	52
Abb. 4.2	Exemplarische grafische Benutzungsschnittstelle, links zur Bedienung der Schiffsschleuse und rechts zur Überwachung	57
Abb. 4.3	Versuchsstand im Labor der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin	63
Abb. 4.4	Externe Versuchsstände	64
Abb. 4.5	Messtechnik (eigene Darstellungen), links: Polar Pulsuhr, rechts: Ergoneers Dikablis Professional	64
Abb. 4.6	Erhobene Daten und deren Verarbeitung	68
Abb. 4.7	Übersicht über statistische Testverfahren; Vps - Versuchspersonen	77
Abb. 4.8	Gegenüberstellung der intendierten und tatsächlichen Belastungsfaktoren pro Bewertungsstufe Erläuterungen: dunkelblau - intendierte Belastung hellblau - tatsächliche Belastung ** - $p < .01$ *** - $p < .001$	82
Abb. 4.9	Histogramm der RSME Werte (personenbezogen) nach prognostizierter (blau) und tatsächlicher Bewertung (rot)	83

Abb. 4.10	Oben: Leistungsparameter hits, misses und false hits geordnet nach Soll- und Ist-Bewertung, Zusatzaufgaben Unten: Verlauf der Reaktionszeit, geordnet nach Soll- und Ist-Beanspruchung, Zusatzaufgaben	86
Abb. 4.11	Darstellung der Beanspruchungsfolgen in Draufsicht (pro Ebene der Informationsverarbeitung), links: basierend auf Theorie rechts: basierend auf experimenteller Überprüfung	93
Abb. 5.1	Mit RSME erweitertes Vorgehen zur Prognose der mentalen Beanspruchung	96
Abb. 5.2	Funktionsweise des erweiterten Inferenzmechanismus (mit Beispiel: Aufgabensetwechsel 1,2; Ebene der Informationsverarbeitung 0,2; zeitliche Auslastung 0,825)	97
Abb. 6.1	Ableiten von Gestaltungshinweisen, links: Bewertungsebene, rechts: Faktorebene	99
Abb. 8.1	Bildschirmmaske des Programms „brainworkshop“	130
Abb. 8.2	links: Ebene der Informationsverarbeitung (LIP_{ges}) als Funktion der zeitlichen Auslastung (TO) rechts: Ebene der Informationsverarbeitung (LIP_{ges}), bereinigt von der zeitlichen Auslastung (TO)	138
Abb. 8.3	Darstellung der Regelbasis zur Prognose der subjektive Beanspruchung: links: CTL, rechts: RSME	141
Abb. 8.4	Aufbau der Schleusenanlage, Darstellung ohne Steuerungsbereich:	143
Abb. 8.5	Grafische Benutzungsschnittstelle, Layout LIP = 1	145
Abb. 8.6	Grafische Benutzungsschnittstelle, Layout LIP = 2	146
Abb. 8.7	Grafische Benutzungsschnittstelle, Layout LIP = 3	147
Abb. 8.8	Prozessüberwachungsaufgabe, zwei Zustände	148
Abb. 8.9	Störungsmeldung Einfahrtssignal Oberhaupt, Einfahrt gesperrt, defekt, Priorität mittel	150
Abb. 8.10	Störungsmeldung Laufzeitüberschreitung Tor Oberhaupt, Priorität mittel	151
Abb. 8.11	Störungsmeldung Sparbecken entleeren sich nicht vollständig, Priorität niedrig	151
Abb. 8.12	Störungsmeldung gestörte Datenverbindung zur zentralen Steuerung, Priorität hoch	151
Abb. 8.13	Störungsmeldung Beleuchtung Planie ausgefallen/ defekt, Priorität niedrig	152
Abb. 8.14	Freigabeliste mit relevanten Informations- und Interaktionsbereichen (1. Berechtigungscode (orange), 2. Sperrung Anlagenteil (blau), 3. Eintragungen durch Versuchsperson [Kürzel, Einlassdatum, ggf. Sperrung](lila), 4. Freigabe, Ablehnen (grün))	155
Abb. 8.15	Zusatzaufgabe Instandhaltung LIP = 2, Alternative 1	159
Abb. 8.16	Zusatzaufgabe Instandhaltung LIP = 2, Alternative 2	159
Abb. 8.17	Zusatzaufgabe Instandhaltung LIP = 3, Alternative 1	160
Abb. 8.18	Zusatzaufgabe Instandhaltung LIP = 3, Alternative 2	160
Abb. 8.19	Schiffahrtspolizeiliche Mitteilung, Variante 1	163
Abb. 8.20	Schiffahrtspolizeiliche Mitteilung, Variante 2	163
Abb. 8.21	Anpassen der Gültigkeit von Prozessunterlagen	164
Abb. 8.22	Eingabemaske für statistische Informationen	165
Abb. 8.23	Markieren von ungültigen Prozessunterlagen	166

Abb. 8.24 Entwickeln einer Problemlösung oder alternativen Herangehensweise, Variante 1	167
Abb. 8.25 Entwickeln einer Problemlösung oder alternativen Herangehensweise, Variante 2	167
Abb. 8.26 Auszug aus dem Protokollblatt für Mathematikaufgaben	169
Abb. 8.27 exemplarischer EKG-Verlauf (eigene Darstellung)	239
Abb. 8.28 oben: Kardiologische Rohdaten (dunkelgrau, dick) mit gleitendem Mittelwert (schwarz) und Bandbreite aus ± 2 -fache Standardabweichung (hellgrau, dünn) unten: Kardiologische Rohdaten (dunkelgrau, dick) und bereinigte Werte (schwarz) mit Anteil von Rohdaten (schwarz)	240
Abb. 8.29 oben: Okulomotorische Rohdaten (dunkelgrau, dick) mit gleitendem Mittelwert (schwarz) und Bandbreite aus ± 2 -fache Standardabweichung (hellgrau, dünn) unten: Okulomotorische Rohdaten (dunkelgrau, dick) und bereinigte Werte (schwarz) mit Anteil von Rohdaten (schwarz)	242

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Begriffsdefinitionen allgemeiner und psychischer Belastung und Beanspruchung	20
Tab. 2.2	Exemplarische Fuzzyfizierung der Eingangsvariablen Innen- und Außentemperatur	34
Tab. 2.3	Übersicht der anwendbaren Regeln, mit Erfüllungsgrad der Eingangsvariablen	35
Tab. 3.1	Übersicht über Modellvergleich und modellspezifische Prognoseleistung (Spearman-Koeffizienten)	49
Tab. 4.1	Beschreibung einer Versuchsaufgabe anhand der Aufgabenschritte und Informationsblöcke (IDs) mit Berechnung der Aufgabensetwechsel (TSS) *Für alle Aufgabenschritte beträgt LIP = 2.	54
Tab. 4.2	Einfluss der Eyetrackingbrille auf die Aufgabenbearbeitung (n = 28)	66
Tab. 4.3	Abweichungsmatrix	69
Tab. 4.4	Auswertevorgehen je Zusatzaufgabe und deren Alternativen	72
Tab. 4.5	Bearbeitungsschritte, deren Auswertung und Bewertung für die Zusatzaufgabe „Zutrittskontrolle“	73
Tab. 4.6	Bearbeitungsschritte, deren Auswertung und Bewertung für die Zusatzaufgabe „Anpassen der Gültigkeitsdauer der Prozessunterlagen“	74
Tab. 4.7	Bearbeitungsschritte, deren Auswertung und Bewertung für die Zusatzaufgabe „Dokumentation einer Störungsmeldung“	74
Tab. 4.8	Einfluss der Gestaltung des Arbeitsplatzes, inkl. Umgebungsfaktoren, und der Arbeitsmittel auf die Aufgabenbearbeitung (n = 28)	80
Tab. 4.9	Kontrollvariablen der Versuchspersonen, n = 29; * Angabe durch Versuchsperson; a...Jahre (annum)	80
Tab. 4.10	Subjektive Beanspruchung pro Bewertungsstufe (aufgabenbezogen), unterschieden in prognostizierte und tatsächliche Bewertung	84
Tab. 4.11	Ergebnisse der multivariaten Regression für RSME	84
Tab. 4.12	Mittelwerte der objektiven Beanspruchungsparameter, Einheit: Abweichung von der Baseline in %, Hervorhebung: Beanspruchungsmaximum	85
Tab. 4.13	Bivariate Korrelationen der Leistungsparameter (Überwachungsaufgabe) und Bewertung	87
Tab. 4.14	Leistungsparameter Zusatzaufgaben und Mathematikaufgaben; Hervorhebung: Leistungsmaximum	87
Tab. 4.15	Leistungsparameter Abfragen, Bedienfehler und Rückmeldungen (als % der Stichprobe)	88
Tab. 4.16	Prognostizierte und tatsächliche Bewertung je Aufgabe und für Gesamtdatensatz	90
Tab. 4.17	Gegenüberstellung der Verhältnisse übereinstimmender, widersprüchlicher und indifferenter Beanspruchungswerte, Korrelationen zwischen Beanspruchungsparametern und prognostizierter bzw. tatsächlicher Bewertung	91
Tab. 8.1	Übersicht über CTL-Modellvarianten	133
Tab. 8.2	Wechselwirkung zwischen Ebene der Informationsverarbeitung (LIP) und zeitlicher Auslastung (TO)	139

Tab. 8.3	Verknüpfen subjektiver Beanspruchung mit prognostizierter Beanspruchung	142
Tab. 8.4	Störungsmeldungen mit Kontrollfragen und Antwortalternativen (richtige Antworten sind grün hinterlegt)	152
Tab. 8.5	Kontrollfragen für schiffahrtspolizeiliche Meldungen (richtige Antworten sind grün hinterlegt)	164
Tab. 8.6	Anzahl bereinigter Messpunkte für verschiedene Kombinationen aus Mittelwert und Standardabweichung, Anzahl Messpunkte gesamt n = 2394	241
Tab. 8.7	Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Belastungsfaktoren pro Beanspruchungsstufe, [ohne Einheit], inkl. Ergebnisse der Mittelwertvergleiche (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, mit $\alpha = 0,0167$)	248
Tab. 8.8	Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Belastungsfaktoren für Versuchsaufgaben ohne und mit Bearbeitung von Zusatzaufgaben, [ohne Einheit]	248
Tab. 8.9	Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Belastungsfaktoren für Versuchsaufgaben ohne und mit Bearbeitung von Mathematikaufgaben, [ohne Einheit]	248
Tab. 8.10	Zusammenfassung der Leistungsdaten der Prozessüberwachungsaufgaben, gruppiert nach prognostizierten Beanspruchungsstufen, tatsächlichen Beanspruchungsstufen, mit und ohne Zusatzaufgaben, mit und ohne Mathematikaufgaben	249
Tab. 8.11	Matrix zur Bestimmung der absoluten Abweichung der Bewertung der Beanspruchung (Ist) vom prognostizierten Beanspruchungsniveau (Soll), inklusive Häufigkeiten (in Klammern gesetzt)	250
Tab. 8.12	Auswertung der Prognosegüte nach Soll-Bewertungsstufen	251
Tab. 8.13	Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests: Mittelwerte der 41 Versuchsaufgaben gegen die Stufen der absoluten Abweichung [-2:+2], Hintergrund orange: Nullhypothese (H0) ablehnen, grün: Prognose zutreffend	252
Tab. 8.14	Überblick über subjektive und objektive Beanspruchungsparameter geordnet nach Bewertungsstufen gesamt, unterfordernd, optimal (unkritisch), überfordernd; Korrelationen zwischen Beanspruchungsparametern und prognostizierter bzw. tatsächlicher Bewertung	253
Tab. 8.15	Bewertungsstufe für Abgleich zwischen subjektiver und objektiver Beanspruchung	256
Tab. 8.16	Gegenüberstellung der Verhältnisse widersprüchlicher, übereinstimmender und indifferenter Beanspruchungswerte, Korrelationen zwischen Beanspruchungsparametern und prognostizierter bzw. Ist-Beanspruchung	257
Tab. 8.17	Vergleich zwischen übereinstimmender (übe), widersprüchlicher (wid) und indifferenter (ind) Beanspruchung zur prognostizierten und tatsächlichen Beanspruchung; sortiert nach Prognose zutreffend (Spalte 2 grüner Hintergrund) Legende: ¹ Mittelwert \pm Standardabweichung, rote Hervorhebung = nicht konsistent	259

Formelverzeichnis

Formel 1	Unterforderung	43
Formel 2	Herabgesetzte Wachsamkeit/ Vigilanzprobleme	43
Formel 3	Psychische Sättigung	43
Formel 4	Kognitive Fixierung	44
Formel 5	Überforderung	44
Formel 6	Ermittlung der x-Koordinate des Flächenschwerpunkts nach (Kahlert und Frank 1993): links exakt und rechts als Näherung	47
Formel 7	Berechnung der nicht aufgabengebundenen Zeiträume vor und nach der Prozessdurchführung	55
Formel 8	Ermittlung des Füllwertes pro Leerzeile zur geradlinigen Interpolation	70
Formel 9	Berechnung der APCPS	71
Formel 10	Korrektur der Varianzaufklärung nach Darlington(bzw. Stein) (Claudy 1978)	79
Formel 11	Berechnung Konsistenzmaß ($cons_{Kat}$)	95
Formel 12	Aufgabensetwechsel (TSS) nach Colin et al. (2012)	136
Formel 13	Zeitliche Auslastung (TO) nach Colin et al. (2012)	137
Formel 14	Ebenen der Informationsverarbeitung (LIP) nach Colin et al. (2012)	137
Formel 15	Formel zur Normalisierung der Beanspruchungswerte nach (Ren et al. 2011)	256

Anhang

Anhang zu Kapitel 2

1 Hintergrund zum Nutzerzustand

Die zur Beanspruchungsmessung verwendeten Leistungsparameter können, neben der aufgabenimmanenten Beanspruchung, von einer Vielzahl weiterer Einflussgrößen abhängen. Diese Einflussgrößen und deren dynamische Wechselwirkungen lassen sich in dem Konstrukt Nutzerzustand (operator state) zusammenfassen (Hockey 2003). Als zentraler Faktor des Nutzerzustands mit starken Auswirkungen auf die Leistung der Versuchsperson gilt die subjektive Beanspruchung (Pleydell-Pearce et al. 2000). Weitere Faktoren sind z. B. Motivation, emotionaler Zustand, Situationsbewusstsein, Müdigkeit, Bewältigungsstrategien, Aufmerksamkeit, situationelle oder individuelle Charakteristika wie Multitaskingfähigkeit sowie Umgebungsfaktoren (siehe z. B. Hockey 2003, Neerincx et al. 2014). Für eine ausführliche Beschreibung zu den Faktoren des Nutzerzustands und deren Wechselwirkungen siehe z. B. Schwarz und Fuchs (2014).

Um den Zustand der Versuchsperson und damit die Einflussgrößen auf die Leistung ganzheitlich zu erfassen, können die im Folgenden vorgestellten zwei Skalen und der Test begleitend in einer Labor- oder Feldstudie eingesetzt werden. Für die Umgebungsfaktoren (Beleuchtung, thermische und akustische Umgebung) und deren Erhebung wird auf Anhang 21 verwiesen.

Bewertungsskala der mentalen Anstrengung (Rating Scale of Mental Effort, RSME)

Zur Erfassung der subjektiven Beanspruchung wurde die eindimensionale Bewertungsskala der mentalen Anstrengung (rating scale of mental effort, RSME (Zijlstra 1993)) eingesetzt (siehe Anhang 17). Eine validierte deutsche Übersetzung erfolgte durch Eilers et al. (1996). Die Skala nutzt das Konstrukt „Anstrengung“, um die erlebte Beanspruchung abzuschätzen. Neben der Möglichkeit, die erlebte Anstrengung numerisch zwischen 0 und 150 anzugeben, beinhaltet die Skala als Orientierungshilfe verbale Ankerpunkte, z. B. „absolut keine Anstrengung“ oder „erhebliche Anstrengung“. Die Versuchspersonen wurden gebeten, nach Ende einer jeden Versuchsaufgabe die erlebte Anstrengung (Beanspruchung) zu protokollieren.

Um die Versuchspersonen mit der Verwendung der Skala vertraut zu machen, wird empfohlen, zu Beginn der Versuche eine Gewöhnung durchzuführen. Für die im Rahmen der Laborstudie durchgeführte Skalengewöhnung wird auf Anhang 18 verwiesen. Zur Skalengewöhnung wurden die Versuchspersonen zum einen gebeten, sich neun beispielhaft beschriebene Arbeitssituationen vorzustellen und die damit assoziierte Anstrengung zu protokollieren. Zum anderen sollte für eine vorgegebene mentale Anstrengung eine entsprechende Arbeitssituation stichpunktartig beschrieben werden.

Kurzfassung des Dundee Stress State Questionnaire (DSSQ short)

Anhand der von Matthews et al. (2001, 2002) entwickelten Skalen können drei Dimensionen des Nutzerzustands in verschiedenen Betrachtungszeiträumen beschrieben werden: Bindung an die Aufgabe (task engagement), Bedrängnis (distress) und Besorgnis (worry). Anhand der in diesen Dimensionen enthaltenen Kriterien werden alle der oben genannten Faktoren abgedeckt. Über die Dauer der Versuchsdurchführung wurde der DSSQ short einmal prospektiv und zweimal retrospektiv durch die

Versuchspersonen beantwortet (für Messzeitpunkte siehe Unterabschnitt 4.4.3, für den Fragebogen siehe Anhang 16).

Der DSSQ setzt sich aus mehreren eigenständigen Fragebögen zusammen, so z. B. dem NASA Taskload Index (Hart und Staveland 1988). Die Bewertung erfolgt auf einer fünfstufigen Likert-Skala von Null bis Vier. Eine validierte deutsche Übersetzung liegt mit Langner (2010) vor. Zur Auswertung kann einerseits die zeitliche Entwicklung der Summe über die jeweilige Dimension (Bindung an die Aufgabe, Besorgnis, Bedrängnis) herangezogen werden oder andererseits die zeitliche Entwicklung eines Kriteriums (z. B. „Ich bin motiviert, mich bei der Aufgabe anzustrengen“).

Dual-2-back Test

Die Leistung der Versuchsperson bei der parallelen Bearbeitung von Aufgaben hängt auch von der Multitaskingfähigkeit der Versuchsperson ab (Bühner et al. 2006, C.J.König et al. 2005, nach Baethge und Rigotti 2010). Die Multitaskingfähigkeit wird vorrangig durch das Arbeitsgedächtnis und die Aufmerksamkeit bestimmt.

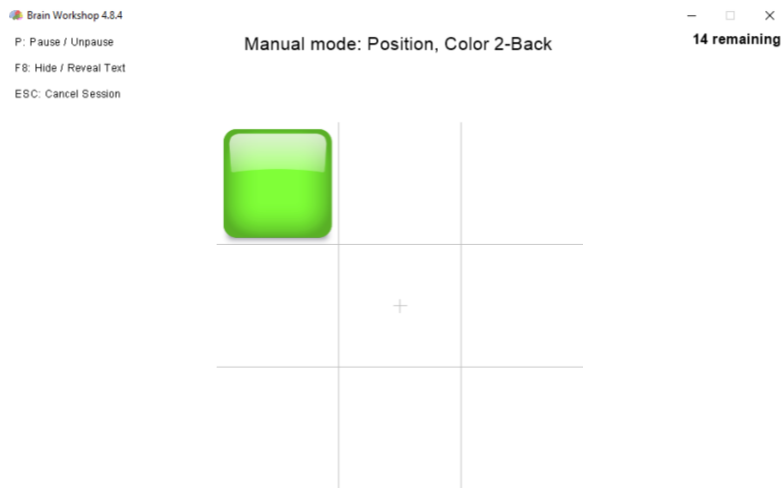
Mittels Aufmerksamkeit können relevante Informationen fokussiert und Störreize unterdrückt werden (Müsseler 2000). Aufmerksamkeit wurde über den Versuchsablauf mittels der Prozessüberwachungsaufgabe messtechnisch operationalisiert. Es wurden Reaktionszeit, „hits“, „misses“ und „false hits“ als Messgrößen erfasst.

Das Arbeitsgedächtnis dient als Zwischenspeicher zur Bearbeitung von Informationen. Die Leistung des Arbeitsgedächtnisses wird anhand zweier Größen beschrieben: Arbeitsgedächtniskapazität und Arbeitsgedächtnisspanne (Kane et al. 2005, nach Baethge und Rigotti 2010). Die Kapazität entspricht hierbei der Fähigkeit, Informationen trotz Störeinflüssen zu memorieren. Die Spanne beschreibt die informatorische Menge an Merkeinheiten. Die Leistung des Arbeitsgedächtnisses kann mittels n-back-Tests überprüft werden. Hierbei ist strittig, ob die Präsentation abstrakter Informationen Rückschlüsse auf relevante Fertigkeiten für die praktische Prozessführung überhaupt zulässt. Nach Abwägen der Argumente wurde sich dafür entschieden, abstrakte Informationen zu präsentieren. Es war nicht Ziel des Tests zu zeigen, dass Versuchspersonen mit langer Berufserfahrung besser im Erinnern von bedeutungsvoller Information sind (Cook et al. 2001), sondern wie die individuelle Arbeitsgedächtnisleistung, d. h. Kapazität und Spanne, einer Versuchsperson ausgeprägt sind.

Um die Arbeitsgedächtnisleistung zu testen, wurde die GNU GPL³⁹ Software brainworkshop (Hoskinson und Toomin 2015) verwendet. Brainworkshop ist eine frei konfigurierbare Umsetzung von n-back-Tests in Form einer Bochumer Matrize (3x3 Matrix) (siehe Abb. 8.1). Im Rahmen der hier vorgestellten Versuche wurde die Arbeitsgedächtnisleistung durch eine dual-2-back⁴⁰ Version getestet. Als Leistungsmaß für die Arbeitsgedächtnisleistung wurde ein nach Merkeinheiten (Farbe und Position) aufgeschlüsselter Erfüllungsgrad ermittelt.

³⁹ „GNU's Not Unix General Public License“ ist eine Lizenz für freie Software, mit der die Software verwendet, verändert und kopiert werden darf.

⁴⁰ Dual: Präsentation zweier Merkeinheiten, hier Farbe und Position (Arbeitsgedächtnisspanne); 2-back: Vergleich der aktuellen Darstellung mit der vorletzten Darstellung, letzte Darstellung entspricht Störreiz (Arbeitsgedächtniskapazität)



Left-click or A: position match

Right-click or F: color match

Abb. 8.1 Bildschirmmaske des Programms „brainworkshop“

2 Literaturrecherche: Modelle zur Prognose der Beanspruchung

Datenbank:

- EBSCO (PsycINFO, PSYINDEX, PsycArticles und EBSCO-E-Journals)

Suchstring:

- (mental* or cognitiv*) and (workload* or task load*) and (multitask* or dual task* or switch*)

Anzahl Treffer: 702

Geprüfte Kurzfassungen: 82 (12 %)

Identifizierte Modelle: 4

Datenbank:

- Proquest (z.B. Medline), OSH-Update, Web of Science

Suchstring:

- ("cognitive load*" OR "cognitive taskload" OR "mental load*" OR "mental taskload" OR "cognitive workload" OR "mental workload") AND (multitask* OR dual* OR switch*) AND (prognos* OR predict* OR model* OR method*)

Anzahl Treffer: 269

Geprüfte Kurzfassungen: 11 (4 %)

Identifizierte Modelle: 1, redundant zu einem bereits identifizierten Modell

3 Modellvergleich

Übersicht über die Bewertungskriterien

1. Multidimensionale Beschreibung der mentalen Beanspruchung:
können diese integriert werden?

K1. Kann die mentale Gesamtbeanspruchung anhand verschiedener Attribute, wie durchschnittliche, kumulierte oder Spitzenbeanspruchung beschrieben werden?

K2. Sind die Beanspruchungsfolgen (DIN EN ISO 10075-1:2001) Bestandteil des Modells bzw. können diese integriert werden?

2. Berücksichtigen der Anforderungen des Arbeitsgebiets (Prozessführung, Multitasking, Arbeitsmittel)

K3. Prozessführung: Werden in der Literatur Referenzanwendungen aus dem Arbeitsgebiet der Prozessführung benannt?

K4. Multitasking: Kann das Prognosemodell Multitasking beschreiben?

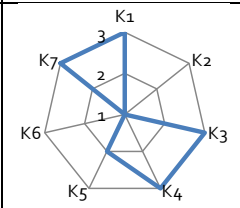
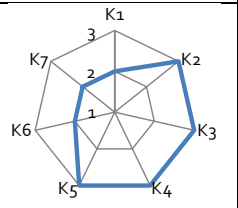
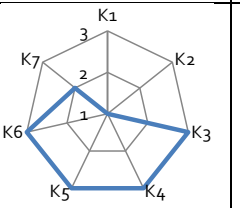
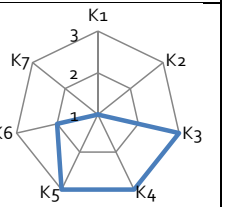
K5. Multitasking: Werden Anforderungen zur Ausführung von Arbeitsaufgaben abgebildet?

K6. Arbeitsmittel: Werden Anforderungen zur Benutzung von Arbeitsmitteln abgebildet?

3. Berücksichtigen individueller Unterschiede der Operateure

K7. Können Erfahrung oder Trainingsgrad der Operateure abgebildet werden?

Ergebnisse des Modellvergleichs

Kriterien	Framework for predicting mental workload	Cognitive Task Load	analysing and predicting mental workload	predictive mental workload modelling
K1	3	2	1	1
K2	1	3	1	1
K3	3	3	3	3
K4	3	3	3	3
K5	2	3	3	3
K6	1	2	3	2
K7	3	2	2	1
Bewertung	 <p>Summe = 16</p>	 <p>Summe = 18</p>	 <p>Summe = 16</p>	 <p>Summe = 14</p>

Bewertung erfolgt anhand: 1 - nicht erfüllt | 2 - erfüllt, mit Einschränkungen | 3 - erfüllt

4 Detailprüfung des CTL-Modells (Neerincx, 1995)

Verschiedene Modelle zur Beanspruchungsprognose im Multitasking wurden in einer Literaturstudie identifiziert und anschließend bewertet. Das CTL-Modell erfüllte alle Anforderungen. Darauf aufbauend wird eine Detailprüfung durchgeführt, die sicherstellen soll, dass die Beanspruchung durch das Modell transparent und nachvollziehbar prognostiziert werden kann. Folgende Kriterien werden überprüft:

1. Werden alle in den Normen DIN EN ISO 100075 Teil 1:2000 und Teil 2:2000 aufgeführten negativen Beanspruchungsfolgen durch das CTL-Modell abgebildet?
2. Gibt es Anhaltspunkte für systematische Fehlerquellen?

Beanspruchungsfolgen

Im Folgenden werden die negativen Beanspruchungsfolgen der Normen DIN EN ISO 10075 Teil 1 und 2 mit Stand 2000 und des CTL-Modells hinsichtlich ihrer Definitionen verglichen. Um die Unterscheidbarkeit zu verbessern, werden die im CTL-Modell benannten Beanspruchungsfolgen als Risikobereiche deklariert. Können Beanspruchungsfolgen nicht durch Risikobereiche abgebildet werden, wird eine Weiterentwicklung des Modells geprüft.

Psychische Ermüdung

Die in DIN EN ISO 10075-1:2000 aufgeführte Beanspruchungsfolge psychische Ermüdung wird als vorübergehende Beeinträchtigung der psychischen sowie physischen Leistungsfähigkeit definiert. Sie wird beeinflusst durch Intensität, Dauer und Verlauf der vorangegangenen psychischen Beanspruchung (ebd.). Psychische Ermüdung tritt somit auf als vorübergehende Reaktion. Auf der Ebene des Individuums kann dies als eine (temporäre) Überforderung gewertet werden (Jandova 2009). Folglich wird psychische Ermüdung dem Risikobereich Überforderung zugeordnet.

Monotonie

Die Beanspruchungsfolge Monotonie ist ein langsam eintretender Zustand herabgesetzter Aktivierung, der u. a. durch Müdigkeit, Verminderung der Umstellungs- und Reaktionsfähigkeit bzw. Leistungsschwankungen und -abnahme begleitet wird (siehe DIN EN ISO 10075-1:2000, DIN EN ISO 10075-2:2000). Monotonie entsteht vor allem durch einen begrenzten Beachtungsumfang (geringe Aufgabensetwechsel) bei lang andauernden (hohe zeitliche Auslastung), einförmigen und sich wiederholenden Arbeitsaufgaben bzw. Tätigkeiten (geringe Ebenen der Informationsverarbeitung). Respektive kann die Beanspruchungsfolge Monotonie dem Risikobereich Vigilanzprobleme zugeordnet werden.

Herabgesetzte Wachsamkeit

Diese Beanspruchungsfolge ist deckungsgleich mit dem Risikobereich Vigilanzprobleme.

Psychische Sättigung

Mit psychischer Sättigung beschreibt DIN EN ISO 10075-1 eine Beanspruchungsfolge, die als Ablehnung einer sich wiederholenden Tätigkeit mit dem Erleben des Aufder-Stelle-Tretens wirksam wird. Sie unterscheidet sich durch ein gesteigertes Aktivierungsniveau von psychischer Ermüdung (DIN EN ISO 10075-1:2000). In Ergänzung zu den aufgeführten Normen, bezieht Jandova (2009) die Beanspruchungsfolge psychische Sättigung auch auf abwechslungsreiche Tätigkeiten und bestätigt die von Richter et al. (Richter et al. 2002, zitiert nach Jandova 2009, S. 20) beschriebene Überlappung zwischen psychischer Ermüdung und Monotonie.

Ausgedrückt in Belastungsfaktoren bedeutet das eine Bandbreite von Aufgabensetwechsellern, geringe Ausprägung der Ebene der Informationsverarbeitung, mit hoher zeitlicher Auslastung. Die Bandbreite der Aufgabensetwechsel reicht von niedrigen bis hohen Ausprägungen. Damit wird psychische Sättigung als weiterer Risikobereich in das CTL-Modell integriert.

Fazit

Das CTL-Modell kann die in der Normung beschriebenen negativen Beanspruchungsfolgen abbilden. Die Beanspruchungsfolge psychische Sättigung muss nachträglich ergänzt werden.

Systematische Fehlerquellen

Die Überprüfung der Modelltheorie auf systematische Fehlerquellen verfolgt den Zweck, argumentative Lücken in der Modelltheorie bzw. nicht nachvollziehbare oder gar nicht dokumentierte Modelleigenschaften zu identifizieren.

Es wurden alle zum Modell erschienenen Publikationen der Jahre 1995 bis einschließlich 2015 einbezogen. Das Ergebnis der Literaturrecherche umfasste 17 Publikationen, in denen drei Modellvarianten identifiziert wurden:

Tab. 8.1 Übersicht über CTL-Modellvarianten

	Modellvariante 1 (original CTL-Modell) Neerincx (2003, 1995) Grootjen et al. (2006)	Modellvariante 2 Colin et al. (2014, 2013, 2012)	Modellvariante 3 Habers et al. (2014)
Anwendungsgebiet	Eisenbahn, Marine	Robotersteuerung im städtischen Rettungseinsatz	Eisenbahn
Belastungsfaktor x-Achse	Aufgabensetwechsel mittels Informationsdomänen	- Grundaufgabe - Informationsdomänen, normalisiert	Anzahl der Aufgaben
Belastungsfaktor y-Achse	Ebenen der Informationsverarbeitung: nicht normalisiert	Ebenen der Informationsverarbeitung: normalisiert	Ebenen der Informationsverarbeitung: normalisiert
Belastungsfaktor z-Achse	zeitliche Auslastung	mentale Auslastung normalisiert	zeitliche Auslastung
Prognose der mentalen Beanspruchung	niedrig/ hoch, in Abhängigkeit zur Ecke des Belastungsraumes	niedrig/ hoch, 1. Trigonometrische Abstandsberechnung, Variante 1 2. Bayes Klassifikator	niedrig/ hoch, 1. Trigonometrische Abstandsberechnung, Variante 2 2. Bayes Klassifikator.

Die Schritte zur Überprüfung der Modelle auf systematische Fehlerquellen orientieren sich am Vorgehen zur Prognose der Beanspruchung:

1. Beschreiben der Belastungsfaktoren auf Basis der zu bewertenden Aufgabe und potentiell einzusetzende Arbeitsmittel; und
2. Prognose der mentalen Beanspruchung.

Letztlich wird das noch nicht betrachtete Element des CTL-Modells, der Bereich der optimalen Beanspruchung, auf systematische Fehlerquellen untersucht. Im Folgenden wird nur von „optimaler“ Beanspruchung gesprochen. Die Ergänzung „unkritisch“ entfällt in diesem Unterabschnitt zur Detailprüfung des CTL-Modells, da in den Originaltexten und Artikeln diese Ergänzung nicht vorgenommen wird.

Belastungsfaktor x-Achse: Aufgabensetwechsel

In den analysierten Modellen werden drei verschiedene Arten der Aufgabenbeschreibung genutzt: Informationsdomänen; Grundaufgabe in Verbindung mit normalisierten Informationsdomänen; und Anzahl der Aufgaben.

Informationsdomänen werden benutzt, um die mit der (Teil-)Aufgabe und den benötigten Arbeitsmitteln in Zusammenhang stehende mentale Repräsentation zu beschreiben (Neerincx 2003). Informationsdomänen können bspw. „Benutzen der Steuerung“ oder „Umgehen von Hindernissen“ sein (Colin et al. 2012).

Die **Grundaufgabe** wird als eine Art permanent ablaufende, generische Hintergrundaufgabe verstanden, wie z. B. Strategieplanung oder Beobachten von Kamera-Bildern. Die Grundaufgabe wird allerdings nicht für die Berechnung der mentalen Beanspruchung wirksam.

Die dritte Alternative ist die Beschreibung des Belastungsfaktors anhand der **Anzahl der gewechselten Aufgaben**. Hierbei wird jedem Aufgabenwechsel die gleiche Auswirkung auf die Beanspruchung beigemessen, unabhängig von den auszutauschenden Informationsdomänen.

Aus den drei Alternativen berücksichtigt nur der Ansatz der Informationsdomänen explizit die Arbeitsmittel. Somit werden für die weitere Verwendung die Informationsdomänen herangezogen.

Belastungsfaktor y-Achse: Ebene der Informationsverarbeitung

Alle drei Modellvarianten nutzen die Ebenen der Informationsverarbeitung. Respektive werden für die weitere Verwendung die Ebenen der Informationsverarbeitung herangezogen.

Belastungsfaktor z-Achse: zeitliche bzw. mentale Auslastung

In den analysierten Modellen werden zwei Alternativen beschrieben, um die Aufmerksamkeitsspanne zu operationalisieren: zeitliche und mentale Auslastung.

Zeitliche Auslastung beschreibt das Verhältnis von der Zeit, die für die Aufgabenausführung benötigt wird zur Gesamtzeit. **Mentale Auslastung** beschreibt das Maß der Aufmerksamkeit für die Ausführung einer (Teil-)Aufgabe. Dieses Konzept hat sich allerdings nicht durchsetzen können. Neerincx benutzt weiterhin das Konzept der zeitlichen Auslastung (Harbers et al. 2014, Neerincx et al. 2014). Harbers et al. (2014) stehen dem Konzept der mentalen Auslastung sogar kritisch gegenüber.

Darauf aufbauend wird für die weitere Verwendung die zeitliche Auslastung herangezogen.

Prognose der mentalen Beanspruchung

Auch die mentale Beanspruchung wird in jeder Modellvariante unterschiedlich prognostiziert. Das Modell 1 bestimmt die mentale Beanspruchung **relativ zu den Risikobereichen** (Beanspruchungsfolgen). Je näher die prognostizierte Beanspruchung an einem Risikobereich ist, je wahrscheinlicher treten Beanspruchungsfolgen auf. Modell 2 und 3 nutzen ein **zweistufiges Vorgehen**. Im ersten Schritt wird die Lage der prognostizierten Beanspruchung über die **trigonometrische Abstandsbestimmung** zum Ortsvektor $\vec{v} = \langle 1|1|1 \rangle$ (Diagonale) im dreidimensionalen Koordinatenraum ermittelt. Modell 2 und 3 verwenden unterschiedliche Vorgehensweisen zur trigonometrischen Abstandsbestimmung. Im darauf folgenden zweiten Schritt wird in beiden Modellen der errechnete Beanspruchungswert (Abstandswert zur Diagonale) mit dem **Bayes-Klassifikator** einer Beanspruchungsklasse zugeordnet. Dazu muss der Bayes-Klassifikator individuell oder gruppenbezogen trainiert werden. Auf Basis der Trainingsreferenz ordnet der Klassifikator einen errechneten Beanspru-

chungswert 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.

Aus den Beschreibungen wird ersichtlich, dass die trigonometrische Abstandbestimmung mit Bewertung durch einen Bayes-Klassifikator eine zusätzliche Referenz benötigt, die nicht durch das Modell abgebildet wird. Erschwerend kommt hinzu, dass keine Publikation genau darüber berichtete, unter welchen Bedingungen die Referenzwerte zu bilden sind.

Aus den dargestellten Gründen der Intransparenz und einem Vorgehen, dass nicht direkt auf der Modelltheorie aufbaut, wird für die weitere Verwendung das in Modell 1 eingesetzte Verfahren herangezogen und für die Berücksichtigung der Beanspruchungsfolgen weiterentwickelt.

Bereich der optimalen Beanspruchung

Von den drei untersuchten Modellen wurde nur im Modell 1 ein Bereich der optimalen Beanspruchung verwendet. Nach Neerincx (2003) und Grootjen et al. (2006) ist der optimale Beanspruchungsbereich eine Kugel mit dem Mittelpunkt $\vec{M} = \langle 0,5|0,5|0,5 \rangle$. Eine Herleitung, warum der Bereich optimaler Beanspruchung eine Kugel und warum diese in der Mitte des dreidimensionalen Koordinatenraumes verortet wurde, erfolgte nicht.

Von einer weiteren Verwendung des Bereichs der optimalen Beanspruchung wird abgesehen. Es wird erwogen, den Bereich, der nicht durch Beanspruchungsfolgen charakterisiert wird, als Bereich unkritischer Beanspruchung zu bezeichnen.

Fazit

In Anlehnung an das Vorgehen zur Beanspruchungsprognose wurden die drei Modellvarianten auf systematische Fehlerquellen untersucht. Zusammenfassend wurden erkannt:

1. Die Beanspruchungsfolge „psychische Sättigung“ (DIN EN ISO 10075-1:2000) wird nicht erfasst.
2. Im Originalmodell werden die Beanspruchungsfolgen zur Bewertung der prognostizierten mentalen Beanspruchung nur ungenügend berücksichtigt.
3. Die Bewertung der mentalen Beanspruchung mittels Bayes-Klassifikator ist nicht in der Modelltheorie verankert. Das stellt eine potentielle systematische Fehlerquelle dar.
4. Im Originalmodell wird ein Bereich der optimalen Beanspruchung propagiert, der in der auf das Modell bezogenen Literatur nicht hergeleitet wurde. Das stellt eine potentielle systematische Fehlerquelle dar.

Damit die Beanspruchung durch das Modell transparent und nachvollziehbar prognostiziert werden kann, müssen die beiden identifizierten potentiellen Fehlerquellen im Rahmen einer Weiterentwicklung des Modells behoben werden. Auch wäre eine weitere Differenzierung der prognostizierten Beanspruchung über „niedrig“ und „hoch“ hinaus zweckmäßig.

Anhang zu Kapitel 3

5 Beschreibung der Eingangsvariablen

In Unterabschnitt 3.1.4 wird der Fuzzy Logik Schlussfolgerungsmechanismus vorgestellt. Um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, werden im folgenden Kapitel die Eingangs- und Ausgangsvariablen detailliert beschrieben.

Aufgabensetwechsel

Die Eingangsvariable Aufgabensetwechsel wird berechnet anhand Formel 12 und verläuft analog zu Colin et al. (2012) im Wertebereich $[0..5]$. Es werden fünf linguistische Variablen zur Beschreibung des Wertebereiches verwendet. Der Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen ergibt sich aus einer symmetrischen Aufteilung des Wertebereiches um den Mittelwert von 2,50. Die linguistischen Variablen „wenige“ und „viele“ dienen zur linguistischen Beschreibung der Übergänge zwischen dem mittleren und den peripheren Bereichen. Grundsätzlich können diese Bereiche auch mathematisch durch Überlappungen beschrieben werden. Durch die Abbildung der linguistischen Beschreibungen wird jedoch die Nachvollziehbarkeit der Fuzzyfizierung unterstützt, was sich auf die Anwendbarkeit des Modells auswirkt.

Formel 12:
Aufgabensetwechsel
(TSS) nach Colin et al.
(2012)

$$TSS = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |I_i \cap I_{i+1}|}{|I_i \cup I_{i+1}|}$$

ohne Einheit, mit Anzahl i , Aufgabensets I_i

Wertebereich

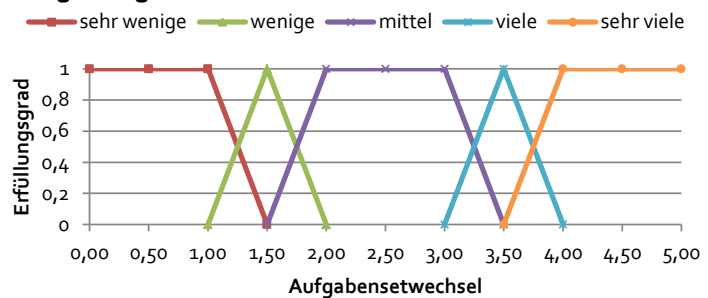
Aufgabensetwechsel
(nach Neerincx,
1995)

$0 \leq TSS \leq 5$,
mit $TSS \in R$

Ausprägungen

1. sehr wenige
2. wenige
3. mittel
4. viele
5. sehr viele

Zugehörigkeitsfunktionen



Zeitliche Auslastung

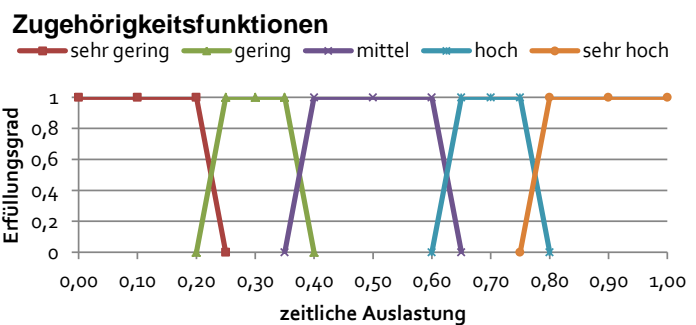
Die Eingangsvariable zeitliche Auslastung wird berechnet nach Formel 13 und verläuft im Wertebereich [0...1]. Nach Beevis (1992) ist zu erwarten, dass Operateure bei einer zeitlichen Auslastung von $TO \geq 0,8$ zur Moderation der subjektiven Beanspruchung Aufgaben nicht bearbeiten, was Neerincx (2003) als Übergang zur Überforderung interpretiert. Der Wertebereich kann somit in fünf linguistische Variablen unterteilt werden. Der Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen folgt einer symmetrischen Aufteilung des Wertebereiches um den Mittelwert 0,5. Die linguistischen Variablen „gering“ und „hoch“ dienen zur Unterstützung der Anwendbarkeit (siehe Aufgabensetwechsel).

Formel 13:
Zeitliche Auslastung (TO) nach Colin et al. (2012)

$$TO = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{f}$$

ohne Einheit, mit Anzahl der Aufgaben i, Bearbeitungsdauer der Aufgabe d_i , Gesamtbearbeitungsdauer f

Wertebereich	Ausprägungen
zeitliche Auslastung (nach Neerincx, 1995)	1. sehr gering
	2. gering
	3. mittel
	4. hoch
$0 \leq TO \leq 1$, mit $TO \in R$	5. sehr hoch



Ebene der Informationsverarbeitung

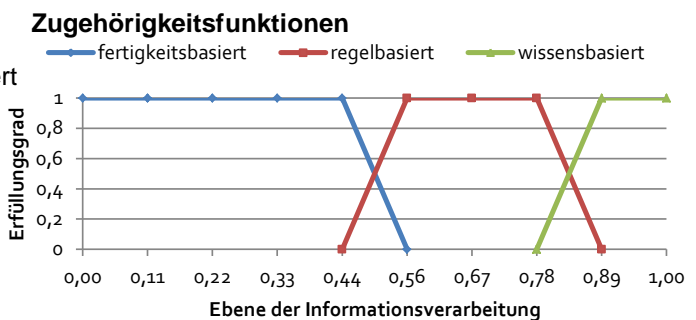
Die Variable „Ebene der Informationsverarbeitung“ ist normalisiert auf den Wertebereich [0...1]. Nach Rasmussen (1983) werden drei Ebenen unterschieden: fertigkeit-, regel- und wissensbasiert. Die Ebene der Informationsverarbeitung wird als Funktion der zeitlichen Auslastung ermittelt (siehe Formel 14). Die betrachtete Aufgabe kann aus mehreren Teilaufgaben zusammengesetzt sein. Das hat zur Folge, dass die für die Aufgabe resultierende Ebene der Informationsverarbeitung eine Mischung aus diesen ist. Um den kontinuierlichen Verlauf abzubilden, wurde der Wertebereich in drei sich überlappende Teilbereiche unterteilt und nicht mittels Singletons (diskrete Verteilungen) definiert. Die linguistischen Terme sind symmetrisch um $LIP_i = \frac{m_i}{3}$ verteilt, mit $m_i = [1, 2, 3]$.

Formel 14:
Ebenen der Informationsverarbeitung (LIP) nach Colin et al. (2012)

$$LIP(TO) = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \times d_i}{\max(l_i) \times f} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \times TO}{\max(l_i)}$$

ohne Einheit, mit Anzahl der Aufgaben i, aufgabenspezifische LIP l_i , Bearbeitungsdauer der Aufgabe d_i , Gesamtbearbeitungsdauer f

Wertebereich	Ausprägungen
Ebenen der Informationsverarbeitung (nach Neerincx, 1995)	1. fertigkeitbasiert
	2. regelbasiert
$0 \leq LIP \leq 1$, mit $LIP \in R$	3. wissensbasiert



Die Ebene der Informationsverarbeitung ist eine Funktion der zeitlichen Auslastung (siehe Formel 14). Durch diese rechnerische, und nicht inhaltlich begründete, Abhängigkeit können der Eingangsvariablen linguistische Terme falsch zugeordnet werden (siehe Abb. 8.2).

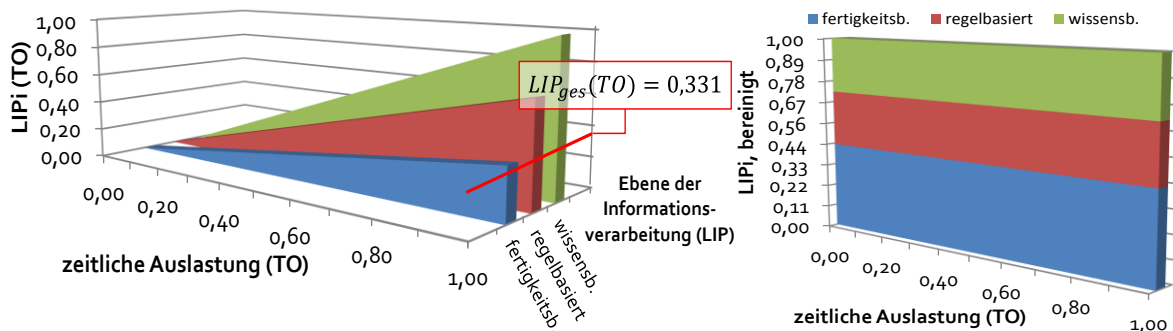


Abb. 8.2 links: Ebene der Informationsverarbeitung (LIP_{ges}) als Funktion der zeitlichen Auslastung (TO) | rechts: Ebene der Informationsverarbeitung (LIP_{ges}), bereinigt von der zeitlichen Auslastung (TO)

Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird dieser Sachverhalt am Beispiel mit einer aufgabenbezogenen $LIP_{ges} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \times d_i}{\max(l_i) \times f} = \frac{\sum_{i=1}^3 (1 \times 30s; 2 \times 52s; 3 \times 15s)}{3 \times 180s} = 0,331$ verdeutlicht. Eine Zuordnung von $LIP_{ges} = 0,331$ erfolgt zum linguistischen Term „fertigkeitbasiert“. Angesichts Teilaufgaben spezifischer LIP_i mit [1, 2, 3] ist das schwer nachvollziehbar. Somit muss vor einer weiteren Verwendung der aufgabenbezogenen Ebene der Informationsverarbeitung LIP_{ges} der Wert mit bzw. von der zeitlichen Auslastung bereinigt werden. Die zeitliche Auslastung beträgt im hier verwendeten Beispiel $TO = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{f} = \frac{\sum_{i=1}^3 (40s; 50s; 10s)}{180s} = 0,54$. Wird die aufgabenbezogene Ebene der Informationsverarbeitung LIP_{ges} mit TO bereinigt, folgt $LIP_{ges,ber} = \frac{LIP_{ges}}{TO} = \frac{0,331}{0,54} = 0,613$, was dem linguistischen Term „regelbasiert“ entspricht. Angesichts der Teilaufgaben spezifischen LIP_i erscheint das plausibel. Die Wechselwirkung zwischen nicht bereinigter aufgabenbezogener Ebene der Informationsverarbeitung und zeitlicher Auslastung sind in Tab. 8.2 dargestellt.

Tab. 8.2 Wechselwirkung zwischen Ebene der Informationsverarbeitung (LIP) und zeitlicher Auslastung (TO)

Eine zeitliche Auslastung (TO) von ...		resultiert in	der ... Ebene der Informationsverarbeitung.
$LIP_{ges}(TO) = \frac{0,331}{TO}$	$0,66 \leq TO_i \leq 1,00$		„fertigkeitbasierten“
	$0,33 \leq TO_i \leq 0,66$		„regelbasierten“
	$0,00 < TO_i \leq 0,33$		„wissensbasierten“

Diesen Sachverhalt zusammenfassend wird darauf hingewiesen, dass die Eingangsvariable „Ebene der Informationsverarbeitung“ nur bereinigt von der zeitlichen Auslastung verwendet wird (siehe Tab. 8.2 links). Das wiederum unterstützt die Nachvollziehbarkeit des Inferenzmechanismus.

6 Beschreibung der Ausgangsvariablen

Anhand der in Anhang 5 vorgestellten drei Belastungsfaktoren (Eingangsvariablen) werden zwei mentale Beanspruchungsparameter (Ausgangsvariablen) errechnet. Die Ausgangsvariablen umfassen die prognostizierte mentale Beanspruchung (cognitive task load, CTL_{prog}) und die prognostizierte subjektive mentale Beanspruchung (rating scale of mental effort, $RSME_{prog}$). Im Folgenden werden die Ausgangsvariablen anhand ihrer Wertebereiche, linguistischen Terme und deren Zugehörigkeitsfunktionen beschrieben.

Prognostizierte mentale Beanspruchung (cognitive task load)

Die Ausgangsvariable „mentale Beanspruchung (cognitive task load, CTL_{prog})“ verläuft im Wertebereich von [-2...7]. Der Wertebereich unterscheidet sich dabei in den für die Berechnung [-2...7] und den für die Bewertung [0...5] genutzten. Diese Unterscheidung ist in der Berechnungsmethode zum Flächenschwerpunkt begründet und wird notwendig, um Ausgangswerte von $CTL_{prog} = 0$ und $CTL_{prog} = 5$ zu erhalten. Als linguistische Terme werden drei Beanspruchungsbereiche unterschieden: „unterfordernd“, „unkritisch“ und „überfordernd“. Die Verteilung der Zugehörigkeitsfunktionen erfolgt symmetrisch um den Mittelwert des Wertebereiches 2,50.

Alternativ wäre eine Lösung mit nur zwei linguistischen Termen denkbar. Dagegen und somit für die Dreiteilung mit dem linguistischen Term „unkritisch“ spricht, dass im Originalmodell dieser Bereich das größte Volumen einnimmt. Die adäquate Abbildung dieses Volumens mittels Fuzzy Logik bedingt eine entsprechend große Anzahl von Regeln, die einen separaten linguistischen Term zweckmäßig machen.

Wertebereich

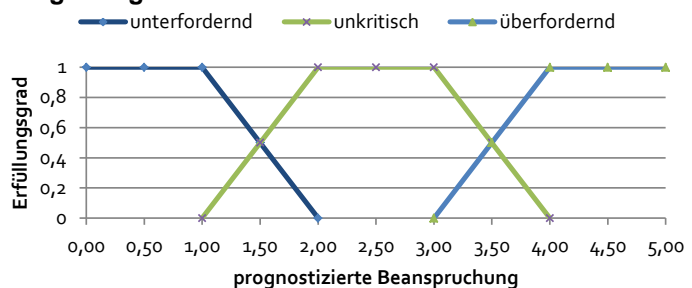
prognostizierte Beanspruchung (CTL)

$$0 \leq CTL_{prog} \leq 5, \text{ mit } CTL_{prog} \in R$$

Ausprägungen

1. unterfordernd
2. unkritisch
3. überfordernd

Zugehörigkeitsfunktionen



Prognostizierte subjektive mentale Beanspruchung (rating scale of mental effort)

Die Ausgangsvariable „mentale Beanspruchung (rating scale of mental effort, $RSME_{prog}$)“ bildet die Bewertungsskala zur mentalen Anstrengung (Zijlstra 1993, ins Deutsche übersetzt und validiert durch Eilers et al. 1996) ab und verläuft im Wertebereich $[-4...187]$. Analog zur der ersten Ausgangsvariable unterscheidet sich der Wertebereich in den für die Berechnung $[-4...187]$ und die Bewertung $[0...150]$ genutzten. Als linguistische Terme werden die zehn Anstrengungsbereiche (im engeren Sinne Bereiche mentaler Beanspruchung) der RSME verwendet. In der nachfolgenden Darstellung der Ausgangsvariablen ist die RSME zum Vergleich als x-Achse dargestellt.

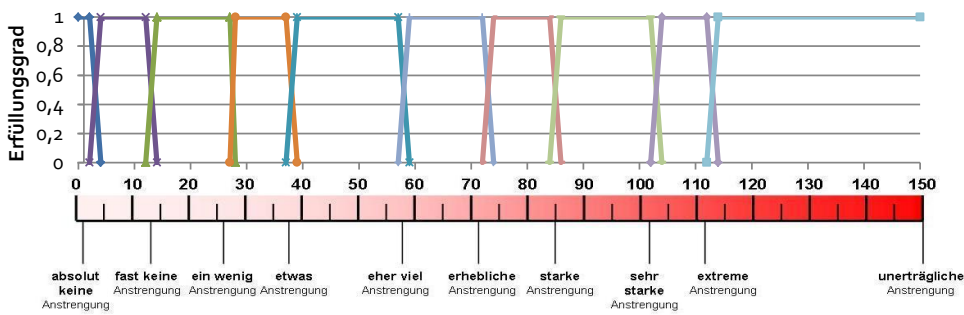
Wertebereich

prognostizierte subjektive mentale Beanspruchung (RSME), $0 \leq RSME_{prog} \leq 150$, mit $RSME_{prog} \in \mathbb{R}$

Ausprägungen

1. absolut keine; 2. fast keine; 3. ein wenig; 4. etwas; 5. eher viel; 6. erheblich; 7. starke; 8. sehr stark; 9. extrem; 10. unerträglich

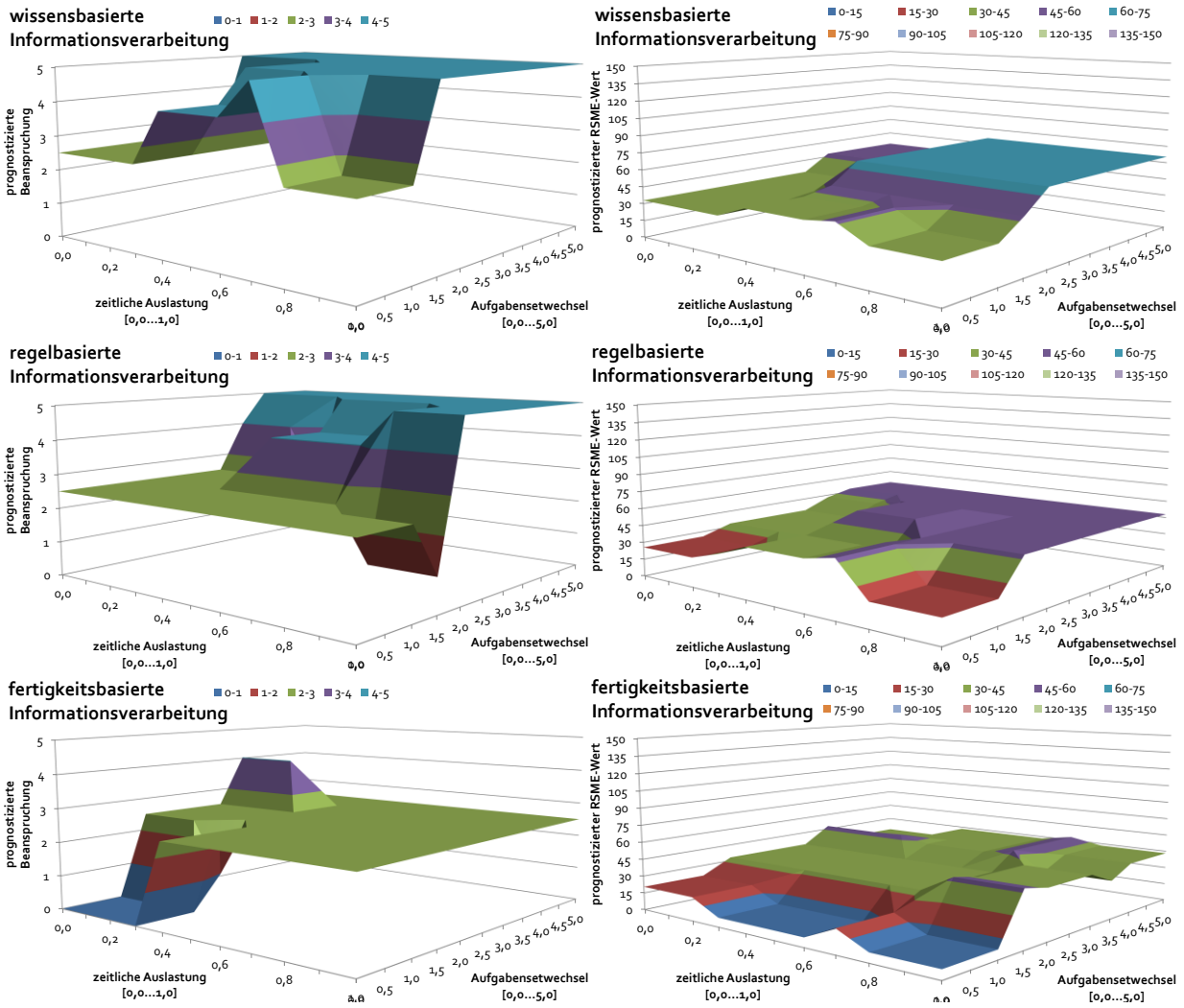
Zugehörigkeitsfunktionen



7 Darstellung der Regelbasis

Um einen Überblick über die zugrunde liegende Regelbasis zu geben, werden in Abb. 8.3 die beiden Ausgangsvariablen „prognostizierte mentale Beanspruchung (CTL)“ und „prognostizierte subjektive mentale Beanspruchung (RSME)“ in 3d-Diagrammen dargestellt. Wichtig für die Interpretation der Diagramme ist, dass auf den Koordinatenachsen die realen Ein- bzw. Ausgangswerte dargestellt sind und nicht die Zugehörigkeitsfunktionen. Zur Verbesserung der Übersicht wird die y-Achse (Ebene der Informationsverarbeitung) ausschnittsweise, d. h. für jede Ebene separat, betrachtet. In Abb. 8.3 wird die optimierte und erweiterte Regelbasis dargestellt.

Hinweis zum Lesen von Abb. 8.3: Der Koordinatenursprung befindet sich an der linken Seite, wo „zeitliche Auslastung“ (z-Achse) und y-Achse sich schneiden. „Aufgabensetwechsel“ (x-Achse) wurden zur besseren Lesbarkeit vorn angeordnet. Die Zunahme des Belastungsfaktors erfolgt nach rechts. Generell nimmt die Beanspruchung von unten nach oben zu und innerhalb der Ebenen diagonal von links nach rechts. Die unterschiedlichen Farben sind ein Hinweis auf die Beanspruchungshöhe.



Legende:

cognitive task load (CTL)	Farbe	rating scale of mental effort (RSME)
überfordernd	Hellblau	„erheblich“ bis „starke“
unkritisch bis überfordernd	Violett	„eher viel“
unkritisch	Grün	„etwas“ bis „eher viel“
unterfordernd bis unkritisch	Rot	„ein wenig“ bis „etwas“
unterfordernd	Dunkelblau	„absolut keine“ bis „fast keine“

Abb. 8.3 Darstellung der Regelbasis zur Prognose der subjektive Beanspruchung: links: CTL, rechts: RSME

8 Subjektive und prognostizierte Beanspruchung

Tab. 8.3 Verknüpfen subjektiver Beanspruchung mit prognostizierter Beanspruchung

subjektive Beanspruchung [0...150]			Skala	prognostizierte Beanspruchung [0...5]		
Bereich	numerisch	linguistisch		linguistisch		numerisch
0-3	2,5	absolut keine	0	unterfordert	unterfordert	0
3,01-13	12,5	fast keine	10		unterfordert	
			20		unterfordert	1
13,01-28	27,5	ein wenig	30		unterfordert	
28,01-38	37,5	etwas	40		optimal/ unterfordert unkritisch	2
			50	optimal/ unkritisch	optimal/ unkritisch	
38,01-58	57,5	eher viel	60		optimal/ unkritisch	3
58,01-73	72,5	erhebliche	70		optimal/ unkritisch	
			80		überfordert	4
73,01-85	85,0	stark	90		überfordert	
85,01-103	102,5	sehr stark	100	überfordert	überfordert	5
103,01-113	112,5	extrem	110		überfordert	
			120		überfordert	
			130		überfordert	
			140		überfordert	
113,01-150	150,0	unerträglich	150		überfordert	

Anhang zu Kapitel 4

9 Beschreibung der Hauptaufgabe „Schleusung“

Hintergrund

Zweck

Eine Schiffsschleuse gewährleistet die Durchlässigkeit von Wasserstraßenabschnitten bei unterschiedlichen Wasserständen.

Art der Anlage

Die hier zu bedienende und zu überwachende Schleusenanlage ist eine Kanalschleuse. Um den Wasserverbrauch zu minimieren, werden Sparbecken (6) eingesetzt, in denen das Wasser während des Schleusenvorgangs zwischengespeichert wird.

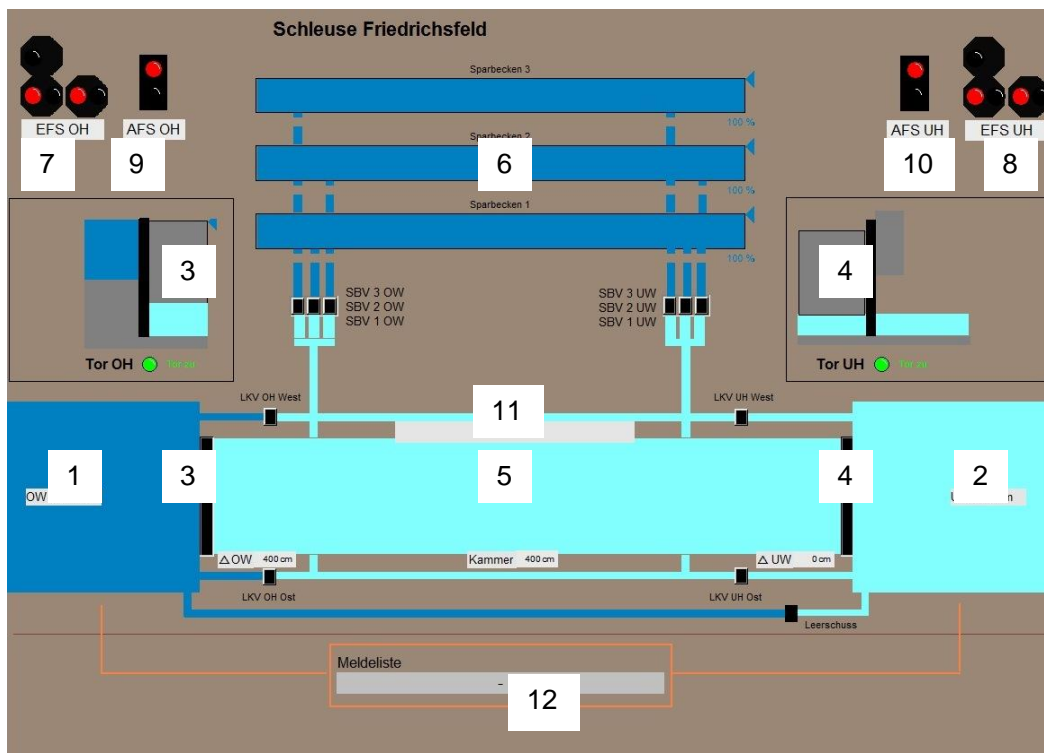


Abb. 8.4 Aufbau der Schleusenanlage, Darstellung ohne Steuerungsbereich:

Bestandteile der Anlage (siehe Abb. 8.4)

Den Eingangsbereich in die Schleusenanlage bilden zwei Vorhäfen, der obere (1) und der untere (2) Vorhafen, mit Anlegestellen. Der Bereich im oberen Vorhafen wird mit „Oberwasser“, der im unteren Vorhafen mit „Unterwasser“ bezeichnet. Der Eingang in die Schleusenkammer mit den jeweiligen Toren wird mit Oberhaupt (OH, 3) bzw. Unterhaupt (UH, 4) bezeichnet. Die Schleusenkammer (5) bildet den Kernbereich der Anlage.

An den Häuptern befinden sich Signalanlagen (Ampeln), welche die Ein- und Ausfahrt der Schiffe in bzw. aus der Schleusenkammer regeln. Außerhalb der Kammer befinden sich die Einfahrtssignale (EFS): EFS OH (7), EFS UH (8). Diese zeigen der Schifffahrt auch bei geöffnetem Tor an, dass bei "Grün" in die Kammer eingefahren werden darf oder bei "Rot" nicht eingefahren werden darf bzw. ob die Schleusenanlage gesperrt ist. Ein Schiff in der Schleusenkammer wird unter (11) angezeigt. Innerhalb der Kammer befinden sich die Ausfahrtssignale (AFS): AFS OH (9) und AFS

UH (10). Bei "Grün" weisen die AFS die Schifffahrt an, aus der Kammer auszufahren. Trotz geöffnetem Tor darf die Schifffahrt bei "Rot" nicht aus der Kammer ausfahren.

Ablauf

Nachdem sich ein Schiff für eine Schleusung angemeldet hat, wird es der Anlagenbedienung übergeben und erscheint in (12). Eine Schleusung verläuft richtungsabhängig wie folgt:

<p>Vom Unterwasser ins Oberwasser:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tor UH (4) "öffnen" - EFS UH (8) "Grün" schalten - Tor UH (4) "schließen" und "Pegelausgleich einleiten" - Warten, bis Pegelausgleich stattgefunden hat (Füllstand der Sparbecken beträgt 0 %) - Tor OH (3) "öffnen" - AFS OH (9) auf "Grün" schalten - Tor OH (3) "schließen" 	<p>Vom Oberwasser ins Unterwasser:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tor OH (3) "öffnen" - EFS OH (7) auf "Grün" schalten - Tor OH (3) "schließen" und "Pegelausgleich einleiten" - Warten, bis Pegelausgleich stattgefunden hat (Füllstand der Sparbecken beträgt 100 %) - Tor UH (4) "öffnen" - AFS UH (10) auf "Grün" schalten - Tor UH (4) "schließen"
---	--

Nachdem das Schiff aus der Schleusenkommer ausgefahren ist, muss das geschleuste Schiff in das Verkehrstagebuch übernommen werden. Dies geschieht auf Nachfrage durch eine Meldung automatisch.

Grafische Benutzungsschnittstelle

Die grafische Benutzungsschnittstelle der Schleusenanlage unterteilt sich in zwei Bereiche:

- mittlerer Monitor: Bedienung der Schleusenanlage
- rechter Monitor: Verkehrstagebuch und zu überwachende Prozessparameter

Während das Verkehrstagebuch und die zu überwachenden Prozessparameter stets identisch dargestellt wurden, unterschied die Bedienung der Schleusenanlage, je nach Ebene der Informationsverarbeitung, drei Darstellungsformen.

Instruktion LIP = 1

Schleusenfernbedienung mit Operatorführung

1. Nehmen Sie die Anmeldung eines Schiffes zum Schleusen an.
2. Führen Sie eine Schleusung in die entsprechende Richtung durch. Befolgen Sie dafür die Vorgaben der Operatorführung.
3. Beobachten Sie die Prozessparameter nach Beginn der Schleusung.
4. Bestätigen Sie die Übernahme ins Verkehrstagebuch und halten Sie sich bereit für die nächste Schiffsanmeldung.
 - Führen Sie die Schleusung so schnell wie möglich durch!
 - Beobachten Sie die Prozessparameter so genau wie möglich!
 - Nehmen Sie Störungsmeldungen bzw. Alarmer zur Kenntnis!

Erläuterung zu Layout LIP = 1 (siehe Abb. 8.5)

Für die Operatorführung wird die grafische Benutzeroberfläche in den Übersichtsbereich (links) und Arbeitsbereich (rechts) unterteilt. Die Bedienung erfolgt hier ausschließlich über den Arbeitsbereich an der rechten Seite des Bildschirms. Der Prozessablauf erfolgt sequentiell von oben nach unten. Der nächste auszuführende Prozessschritt wird durch ein grünes Dauerlicht vorgegeben. In Verbindung mit dem hohen Automatisierungsgrad startet bei „Tor Schließen ++“ und „Tor Schließen –“ der Pegelausgleich automatisch. Außerdem werden bei „Ausfahrt OH++“ und „Ausfahrt UH++“ die Tore automatisch geschlossen. Für größtmögliche Sicherheit sind alle Verriegelungen aktiv und verhindern eine falsche Reihenfolge der Bedienschritte.

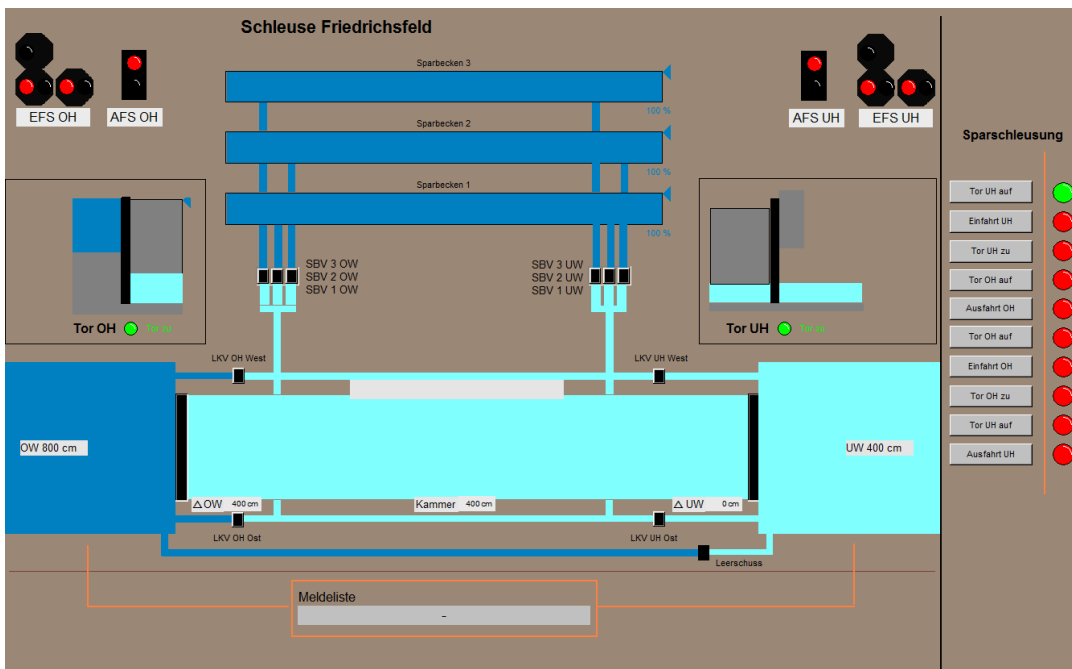


Abb. 8.5 Grafische Benutzeroberfläche, Layout LIP = 1

Instruktion LIP = 2

Schleusenfernbedienung ohne Operatorführung, Verriegelungen teilweise aktiv

1. Nehmen Sie die Anmeldung eines Schiffes zum Schleusen an.
2. Führen Sie eine Schleusung in die entsprechende Richtung durch.
3. Beobachten Sie die Prozessparameter nach Beginn der Schleusung.
4. Bestätigen Sie die Übernahme ins Verkehrstagebuch und halten Sie sich bereit für die nächste Schiffsanmeldung.
 - Führen Sie die Schleusung so schnell wie möglich durch!
 - Beobachten Sie die Prozessparameter so genau wie möglich!
 - Nehmen Sie Störungsmeldungen bzw. Alarmer zur Kenntnis!

Erläuterung zu Layout LIP = 2 (siehe Abb. 8.6)

In dieser Darstellungsvariante ist der Orientierungsbereich (links) identisch mit Layout LIP = 1. Der Arbeitsbereich unterscheidet sich in der Gruppierung der Bedienungsbuttons, hier nach Häuptionen. Innerhalb der Häuptionen werden durch das Gestaltungsgesetz der Nähe die Signalanlagen gruppiert, außerdem entspricht deren Anordnung der räumlichen Realität auf der Schleusenanlage (Einfahrtssignal der Kammer abgewandt [außerhalb], Ausfahrtssignal der Kammer zugewandt [innerhalb]). Die Tastenbelegung ist identisch mit Layout LIP = 1.

Verriegelungen gelten nur für sicherheitsrelevante Bedienhandlungen. Es können Bedienschritte frei gewählt werden, auch steht der Funktionsumfang der Signalanlagen komplett zur Verfügung.

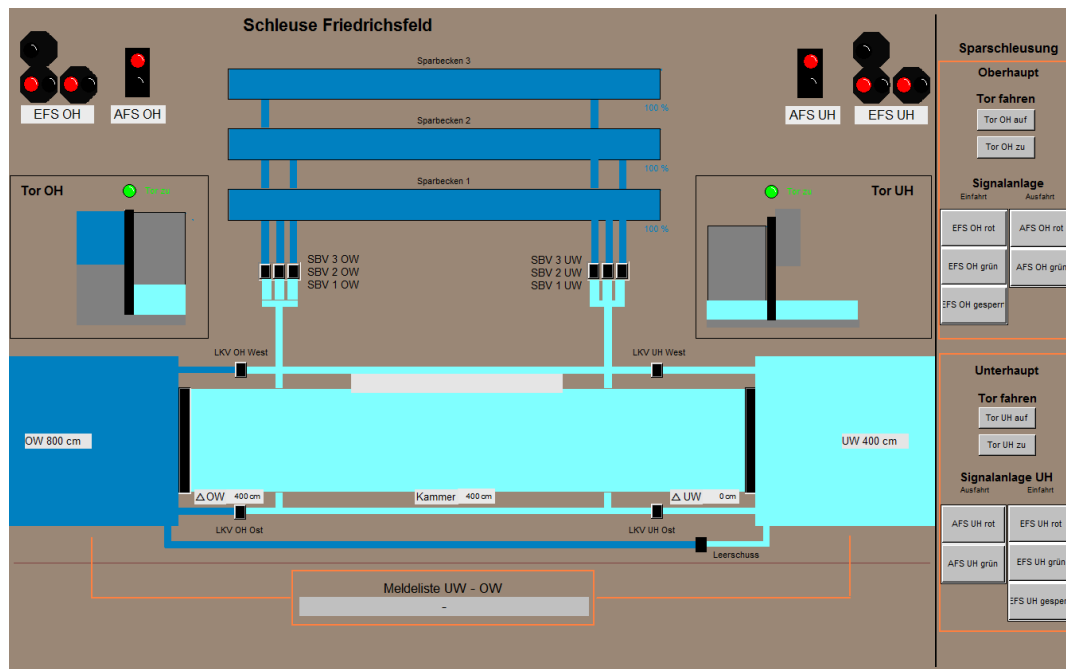


Abb. 8.6 Grafische Benutzungsschnittstelle, Layout LIP = 2

Instruktion LIP = 3

Schleusenfernbedienung ohne Operatorführung und ohne Verriegelungen

1. Nehmen Sie die Anmeldung eines Schiffes zum Schleusen an.
2. Führen Sie eine Schleusung in die entsprechende Richtung durch, ohne Operatorführung und ohne Verriegelungen.
3. Beobachten Sie die Prozessparameter nach Beginn der Schleusung.
4. Bestätigen Sie die Übernahme ins Verkehrstagebuch und halten Sie sich bereit für die nächste Schiffsanmeldung.
 - Führen Sie die Schleusung so schnell wie möglich durch!
 - Beobachten Sie die Prozessparameter so genau wie möglich!
 - Nehmen Sie Störungsmeldungen bzw. Alarme zur Kenntnis!

Erläuterung zu Layout LIP = 3 (siehe Abb. 8.7)

In dieser Darstellungsvariante unterscheiden sich Orientierungsbereich (links) und Arbeitsbereich (rechts) von den beiden vorherigen Layouts. Der Orientierungsbereich wurde durch Interaktionselemente für die Tore angereichert. Diese sind standardisiert, also unabhängig der Richtung des Verfahrenswegs des Tores, angeordnet. Die Anordnung der Interaktionselemente für die Signalanlagen ist ebenfalls standardisiert und erfolgt unabhängig der Realität auf der Schleusenanlage. Hinzugekommen sind die Buttons für die Richtung des Pegelausgleichs. In diesem Layout verläuft kein Prozessschritt automatisiert. Alle Prozessschritte müssen manuell initiiert werden. Es sind keine Verriegelungen aktiv. Es können alle Bedienschritte frei gewählt werden.

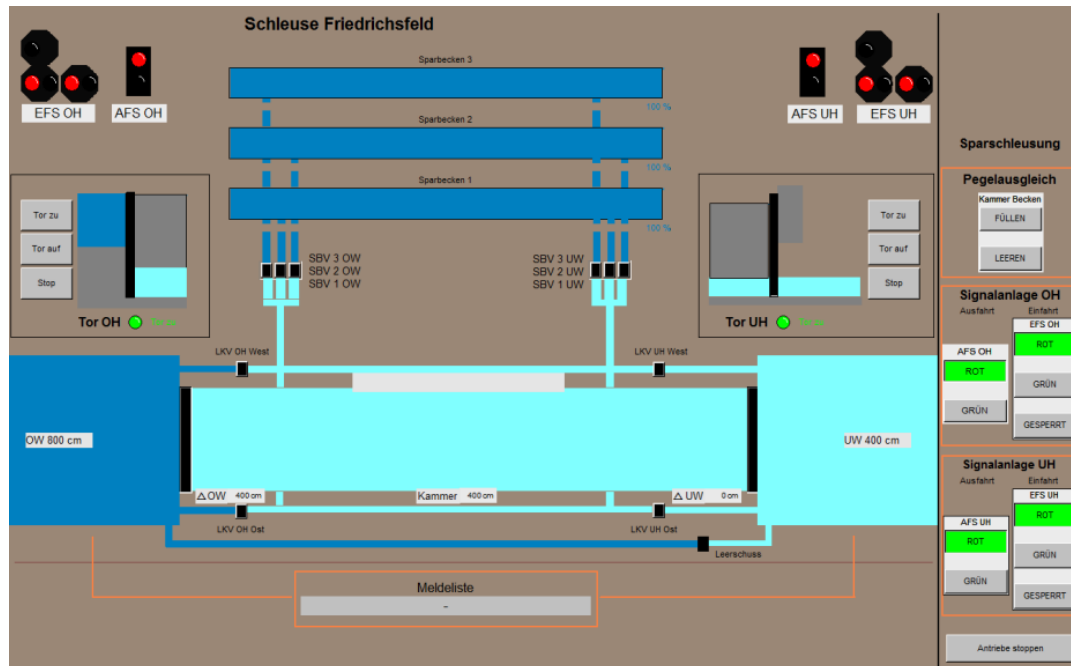


Abb. 8.7 Grafische Benutzungsschnittstelle, Layout LIP = 3

Prozessüberwachung

Die Prozessparameter der Schleusung werden in Form von drei Balken grafisch dargestellt und während des Pegelausgleichs eingeblendet (siehe Abb. 8.8). Sie ändern sich in Amplitude und Farbe. Verändert sich die Farbe der Prozessparameter von Rot auf Blau oder umgekehrt, muss dies mit der Taste "Farbe" auf dem separaten Tastenfeld bestätigt werden. Bei einer Veränderung der Position des längsten Balkens, muss dies mit der Taste "Balken" quittiert werden. Der letzte quittierte Stand wird in Textform am oberen Rand angezeigt.

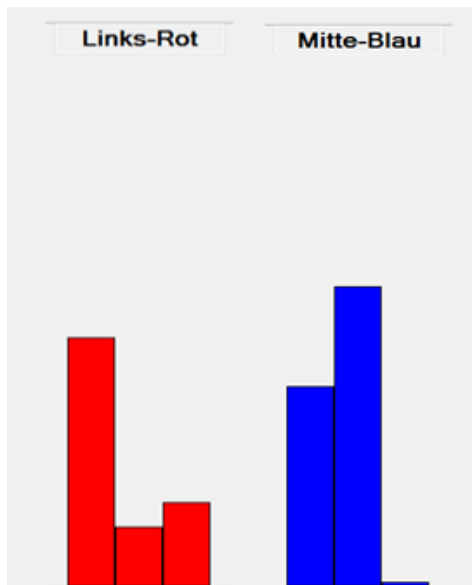


Abb. 8.8 Prozessüberwachungsaufgabe, zwei Zustände

Mögliche Bedienfehler

Prozessbedienung

- Verwechseln der Prozessschrittfolge, z. B. Signalanlage setzen, bevor Tor geöffnet
- Verwechseln der Häupter, z. B. Oberhaupt anstatt Unterhaupt
- Verwechseln der Signalanlage, z. B. Ausfahrts- anstatt Einfahrtssignal
- Richtung der Schleusung, z. B. Kammer füllen anstatt leeren

Prozessüberwachung

- Taste drücken, obwohl kein Unterschied zwischen letztem protokollierten Stand und Ist-Stand (entspricht false hit)
- Falsche Taste drücken, z. B. Balkenlänge anstatt Balkenfarbe (entspricht false hit)
- Keine Taste drücken, obwohl Unterschied zwischen letztem protokollierten Stand und Ist-Stand (entspricht miss)

Bekannte Gestaltungsdefizite in der grafischen Benutzungsschnittstelle und qualitative Rückmeldung durch Versuchspersonen

Allgemein

- Layouts wechseln erst bei Übergabe des Schiffes an die Anlagenbedienung und nicht bereits bei Start der Versuchsaufgabe
- drei unterschiedliche Layouts verwirrten manche Versuchspersonen
- Trennung von Orientierungs- und Arbeitsbereich erschwert Zuordnung der Interaktionselemente zu den Häuptionen
- „Überkreuz“ arbeiten ist nachteilig, d. h. mit linker Hand (Nummernpad) bedient man rechten Bildschirm (Prozessüberwachung), mit rechter Hand (Maus) interagiert man auf allen drei Monitoren

Verkehrstagebuch

- deutlichere Hervorhebung ankommender Schiffe

Layout 1

- Operatorführung funktionierte nicht immer einwandfrei, besonders nach Bedienfehlern

Layout 3

- Anzeigefeld mit Inhalt „Rot“ und grünem Hintergrund verwirrt
- Räumliche Nähe der Torbedienungen zu Toren, aber nicht der Bedingungen der Signalanlagen zu eben diesen
- durch fehlenden Überblick häufigere Bedienfehler

10 Beschreibung der Störungsmeldungen

Hintergrund

Wenn Anlagen von einem Zustand in einen anderen Zustand übergehen, kann das Prozessleitsystem Meldung erzeugen. Im Allgemeinen werden Betriebs-, Leittechnik-, Prozess-, Störungs-, Gefahr- und Alarmmeldungen unterschieden. Meldungen können als nicht quittierpflichtig oder quittierpflichtig ausgelegt werden. Da Betriebsmeldungen einen bestimmungsgemäßen Betrieb anzeigen sind diese in der Regel nicht quittierpflichtig.

Störungsmeldungen werden dann vom Prozessleitsystem erzeugt, wenn bei der Leittechnikprogrammierung der Zustandsübergang als nicht bestimmungsgemäß klassifiziert wurde. Um die Vielfalt der nichtbestimmungsgemäßen Betriebszustände handhabbar zu machen, können Prioritäten vergeben werden. Die Prioritäten richten sich in erster Linie nach den zu erwarteten Konsequenzen. Eine Meldung mit hoher Priorität zieht schwerwiegendere Konsequenzen nach sich (z. B. für Umwelt, Anlage, Menschen), als eine Meldung mit niedriger Priorität (Konsequenzen aus defektem, aber redundant ausgelegtem Leuchtmittel).

Die Störungsmeldungen werden im 2-Kanal-Prinzip angezeigt:

- Akustisch: gepulster Hup-Ton in Endlosschleife mit Möglichkeit des Stummschaltens
- Optisch: Überblenden des Verkehrstagebuchs bis zum Quittieren

Inhalt und Häufigkeit der Störungsmeldungen (siehe Abb. 8.9 - Abb. 8.13)

Die Störungsmeldungen wurden über den Versuchsablauf wiederholt dargeboten (Häufigkeit):

Störungsmeldung Einfahrtssignal Oberhaupt: 3x

Störungsmeldung Tor Oberhaupt: 2x

Störungsmeldung Sparbecken: 1x

Störungsmeldung gestörte Datenverbindung: 5x

Störungsmeldung Beleuchtung: 5x


	Priorität - Mittel
	14.05.2016 22:37
	Kurzbeschreibung: EFS OH, Einfahrt gesperrt, defekt
	Beschreibung: Einfahrtssignal Oberhaupt zweite rote Lampe defekt
	mögliche Ursachen: (1) Lampe defekt (2) Kabelverbindung getrennt (3) SPS ausgefallen
	Konsequenz: Warnen Sie die Schifffahrt. Geben Sie mündliche Anweisungen, wenn Schleuse gesperrt ist.
	Behebung: Benachrichtigen Sie die Instandhaltung.
	<u>Status:</u> Benachrichtigung ist bereits erfolgt.

Abb. 8.9 Störungsmeldung Einfahrtssignal Oberhaupt, Einfahrt gesperrt, defekt, Priorität mittel


	Priorität - Mittel
	14.05.2016 22:37
	Kurzbeschreibung: Tor OH - Laufzeitüberschreitung
	Beschreibung: Tor OH öffnet langsamer als vorgesehen
	mögliche Ursachen: (1) Tor öffnet gegen Druckunterschied zwischen Vorhafen und Schleusenkammer (2) Drehmomentenregler am Antrieb defekt (3) Antrieb defekt (4) SPS Torantrieb defekt
	Konsequenz: Bei wiederholtem Auftreten kann es zu Beschädigungen am Torantrieb bzw. am Tor selbst kommen.
	Behebung: Benachrichtigen Sie die Instandhaltung bei wiederholtem Auftreten.

Abb. 8.10 Störungsmeldung Laufzeitüberschreitung Tor Oberhaupt, Priorität mittel


	Priorität - Niedrig
	14.05.2016 22:37
	Kurzbeschreibung: Sparbecken entleeren sich nicht vollständig.
	Beschreibung: Der Pegel der Sparbecken zeigt einen Restfüllstand in den Sparbecken an.
	mögliche Ursachen: (1) Pegelmessanlage defekt (2) SPS Sparbeckenverschluss fehlerhaft
	Konsequenz: Das fehlende Wasser aus den Sparbecken wird durch ein Mehr an Wasser aus der Oberhaltung kompensiert. Da dieses Wasser zurückgepumpt werden muss, entstehen höhere Betriebskosten. Weiterhin verlängert sich die Schleusungszeit.
	Vorgehen: Benachrichtigen Sie die Instandhaltung.

Abb. 8.11 Störungsmeldung Sparbecken entleeren sich nicht vollständig, Priorität niedrig


	Priorität - Hoch
	14.05.2016 22:37
	Kurzbeschreibung: Gestörte Datenverbindung zur zentralen Steuerung
	Beschreibung: Auslösen des Not-Halts wegen gestörter Datenverbindung zur zentralen Steuerung
	mögliche Ursachen: (1) temporär zu geringe Übertragungsbandbreite (2) SPS fehlerhaft (3) Unterbrochene Verbindung
	Konsequenz: Bei dauerhaftem Bestehen der Störung kann keine Schleusung durchgeführt werden.
	Behebung: (1) Warten Sie einen Augenblick, da sich temporäre Störungen ggf. von selbst aufheben. (2) Ist dies nicht der Fall, wählen Sie die Anlage erneut an. (3) Bei bestehender Störung benachrichtigen Sie die Instandhaltung.

Abb. 8.12 Störungsmeldung gestörte Datenverbindung zur zentralen Steuerung, Priorität hoch


	Priorität - Niedrig
	29.07.2016 11:04
	Kurzbeschreibung: Beleuchtung Planie ausgefallen/ defekt
	Beschreibung: Beleuchtung der Schleusenplattform ist ausgefallen oder defekt.
	mögliche Ursachen:
	(1) Lampenschaden
	(2) Verteilerschaden
	(3) Beleuchtungsmesser defekt
	(4) SPS fehlerhaft
	(5) Überspannung
Konsequenz:	
Warnen Sie die Schifffahrt bei unsichtigem Wetter/ nachts.	
Behebung:	
Benachrichtigen Sie die Instandhaltung.	
Status:	
Benachrichtigung ist bereits erfolgt.	

Abb. 8.13 Störungsmeldung Beleuchtung Planie ausgefallen/ defekt, Priorität niedrig

Kontrollfragen

Aus der nachstehenden Liste von Kontrollfragen wurden für jede Versuchsaufgabe, in denen Störungsmeldungen auftraten, pro Meldung drei Fragen aus verschiedenen Rubriken an die Versuchsperson gestellt. Die Fragen wurden inklusive deren Antworten vorgelesen.

Tab. 8.4 Störungsmeldungen mit Kontrollfragen und Antwortalternativen (richtige Antworten sind grün hinterlegt)

Fragenrubrik	Antwortalternativen		
Kontrollfragen Störungsmeldung Beleuchtung			
Was war defekt?	Beleuchtung	Türsprechstelle	Tor
Was war defekt?	Sparbecken	Signalanlage	Beleuchtung
Was war defekt?	Signalanlage OH	Beleuchtung	Signalanlage UH
Was war defekt?	Beleuchtung	Türsprechstelle	Längskanalverschluss
Was war defekt?	Beleuchtung auf der Planie	Beleuchtung auf der Schleusenplattform	Beleuchtung im Betriebsgebäude
Welche Beleuchtung ist ausgefallen?	am Eingang	Auf der Planie	an der Zufahrt für PKW
Was ist eine mögliche Ursache dafür?	SPS fehlerhaft	Überspannung	Beleuchtungsmesser defekt
Was waren mögliche Ursachen?	Lampenschaden	Kabelschaden	Wasserschaden
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	Warnung bei unsichtigem Wetter und nachts	Lenkung des Richtungsverkehrs	Warnung der Schifffahrt jederzeit
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	Warnung der Schifffahrt jederzeit	Lenkung des Richtungsverkehrs	Warnung bei unsichtigem Wetter und nachts
Was war der Status?	Instandhaltung muss benachrichtigt werden	Warten	Instandhaltung wurde bereits benachrichtigt
Was war der Status?	Instandhaltung wurde bereits benachrichtigt	Beleuchtung ist kaputt	Instandhaltung kontrolliert turnusmäßig
Was war der Status?	Hausmeister muss benachrichtigt werden	Instandhaltung wurde bereits benachrichtigt	Wartungsfirma anrufen
Welche Priorität hatte die Meldung?	Hoch	Mittel	Niedrig

Kontrollfragen Störungsmeldung Sparbecken			
Was war defekt?	Einfahrt gesperrt am EFS OH	Sparbecken	Datenverbindung
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	höhere Betriebskosten	mehr Wasser aus Oberhaltung	längere Schleusenzeit
Was wurde zur Behebung geraten?	Warten	erneute Anwahl	Instandhaltung benachrichtigen
Kontrollfragen Störungsmeldung Einfahrtssignal Oberhaupt			
Was war defekt?	Einfahrt gesperrt am EFS OH	SPS	Beleuchtung
Was war defekt?	SPS	Einfahrt gesperrt am EFS OH	Sparbecken
Was war defekt?	Einfahrt gesperrt am AFS OH	SPS	Einfahrt gesperrt am EFS OH
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	Lenkung des Richtungsverkehrs	Warnung der Schifffahrt jederzeit	Warnung bei unsichtigem Wetter und nachts
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	Lenkung des Richtungsverkehrs	Warnung der Schifffahrt jederzeit	Sperrung einer Fahrinne
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	Mündliche Anweisung, wenn Schleuse gesperrt	Warnung der Schifffahrt jederzeit	Warnung bei unsichtigem Wetter und nachts
Was war der Status?	Instandhaltung muss benachrichtigt werden	Instandhaltung wurde bereits benachrichtigt	Lampe defekt
Was war der Status?	Instandhaltung muss benachrichtigt werden	Lampe defekt	Instandhaltung wurde bereits benachrichtigt
Was sind mögliche Ursachen	SPS ausgefallen	Kabelverbindung getrennt	Lampe defekt
Kontrollfragen Störungsmeldung Tor Oberhaupt			
Was war defekt?	Tor UH	Tor OH	Datenverbindung
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	Beschädigungen am Tor	Warnung der Schifffahrt jederzeit	Schleusenbetrieb einstellen
Was war der Status?	Instandhaltung benachrichtigen bei wiederholtem Auftreten	Instandhaltung wurde bereits benachrichtigt	Wartungsfirma repariert bereits
Was war der Status?	Instandhaltung benachrichtigen bei wiederholtem Auftreten	Instandhaltung wurde bereits benachrichtigt	Warten
Kontrollfragen Störungsmeldung Datenverbindung			
Was war defekt?	Einfahrt gesperrt am EFS OH	SPS	Datenverbindung
Was war defekt?	Sparbecken	Tor OH	Datenverbindung
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	Lenkung des Richtungsverkehrs	Warnung der Schifffahrt jederzeit	Schleusenbetrieb einstellen
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	Beschädigungen am Tor	Warnung der Schifffahrt jederzeit	Schleusenbetrieb einstellen
Welche Konsequenzen resultieren daraus für Sie als Operateur?	Lenkung des Richtungsverkehrs	Warnung der Schifffahrt bei unsichtigem Wetter und nachts	Schleusenbetrieb einstellen
Was wurde zur Behebung geraten?	Warten	erneute Anwahl	Wartungsfirma benachrichtigen
Was wurde zur Behebung geraten?	Warten	erneute Anwahl	Instandhaltung benachrichtigen
Was wurde durch den Defekt ausgelöst	Not-Aus	Schleusen-Halt	Not-Halt
Welche Priorität hatte die Meldung?	niedrig	mittel	hoch

11 Beschreibung der Zusatzaufgabe „Zutrittskontrolle“

Hintergrund

Zweck

Zutrittsbegehren laufen in der Leitzentrale auf. Die Operateure in der Leitzentrale entscheiden darüber, ob dem Zutrittsgesuch stattgegeben oder ob es abgelehnt wird. Zutrittsbegehren werden unterschieden nach dem Bereich der Anlage:

- Bereiche mit eingeschränktem Zutritt
- Bereiche mit uneingeschränktem Zutritt

Bereiche für Zutritt mit Berechtigungsnachweis

Zutritt zu Bereichen der Anlage mit erhöhtem Gefährdungspotenzial stehen nur Personen/ Firmen zu, die einer vorherigen Akkreditierung unterzogen wurden. Bei erfolgreicher Akkreditierung wird ein Berechtigungscodex ausgestellt.

Dieser Berechtigungscodex wird zur Anmeldung an der entsprechenden Eintrittsstelle eingegeben und an die Leitzentrale übermittelt.

Bereiche für allgemeinen Zutritt

Diese Bereiche mit geringem Gefährdungspotenzial unterliegen keiner Zutritts-einschränkung und können von jeder Person auf dem Anlagengelände betreten werden. Es wird kein Berechtigungscodex benötigt.

Alle Daten zu Firmen/ Personen auf dem Gelände sind in der Freigabeliste enthalten.

Berechtigungscodex

Zum Eintritt in Bereich mit eingeschränktem Zutritt wird ein Berechtigungscodex benötigt, wie z. B. 150325B12_IV09708BL. Dieser setzt sich zusammen aus folgenden Informationen:

- 150325 - Datum, ab wann die Berechtigung gültig ist
- B - Kategorie, wie häufig die Person/ Firma auf der Anlage bisher tätig waren
- 12 - Anzahl der angemeldeten Personen
- IV - Kürzel des Verwaltungsmitarbeitenden
- 09708 - Ablagenummer in Verwaltung
- BL - Zufallsgenerierte Variable zu Erhöhung der Sicherheit

Ablauf

1. Bereiche für Zutritt mit Berechtigungsnachweis (eingeschränkter Zutritt)
 - a. Bei anstehendem Zutrittsgesuch wird ein Berechtigungscode angegeben; eigene Mitarbeiter benötigen jedoch keinen. Wird dieser nicht angegeben, fordern Sie diesen an.
 - b. Vergleichen Sie den angegebenen Berechtigungscode mit den Einträgen in der Freigabeliste.
 - c. Falls Prüfung negativ, lehnen Sie das Zutrittsgesuch mit der "Ablehnen"-Taste ab.
2. Falls Prüfung positiv, weiter mit: Eintragungen in die Freigabeliste
 - a. Die Notwendigkeit zur Sperrung eines Anlagenteils wird in der Freigabeliste angezeigt.
 - b. Sperren Sie bei Notwendigkeit den Teil der Anlage über die Taste "Anlagenteil sperren".
3. Falls Prüfung des Berechtigungscode positiv, tragen Sie durch ihr Kürzel das Zutrittsbegehren in die Freigabeliste ein. Dieser Schritt entfällt, falls dies bereits durch einen Kollegen durchgeführt wurde.
4. Freigabe des Zutrittsgesuchs mittels "Freigabe"-Taste.

Freigabeliste (Grafische Benutzungsschnittstelle, identisch für LIP 1-3)

Die Freigabeliste (siehe Abb. 8.14) umfasst alle Informationen zu angemeldeten Zutrittsbegehren. Auf Basis der Freigabeliste kann stets Auskunft gegeben werden, welche Firma sich mit welchem Auftrag in welchem Bereich der Anlage befindet.

The screenshot shows a software interface for managing access requests. At the top left, there is a form for entering access request details. Below this is a large table titled 'Freigabeliste' containing columns for request ID, date, time, location, and status. On the right side, there are several buttons: 'Freigabe', 'Berechtigungscode anfordern', 'Anlagenteil sperren', and 'Ablehnen'. Colored arrows and numbers point to these elements: 1 (orange) points to the 'Berechtigungscode anfordern' button; 2 (blue) points to the 'Anlagenteil sperren' button; 3 (purple) points to the 'Freigabe' button; and 4 (green) points to the 'Ablehnen' button.

Abb. 8.14 Freigabeliste mit relevanten Informations- und Interaktionsbereichen (1. Berechtigungscode (orange), 2. Sperrung Anlagenteil (blau), 3. Eintragungen durch Versuchsperson [Kürzel, Einlassdatum, ggf. Sperrung](lila), 4. Freigabe, Ablehnen (grün))

Instruktion LIP = 1

Alternative 1: Freigabe des Zugangs

1. Es wird die Anmeldung einer Torsprechstelle im linken Bildschirm angezeigt.
2. Geben Sie den Zugang ohne weitere Prüfung des Berechtigungscode frei.

- Reagieren Sie auf die Anfrage so schnell wie möglich und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
- Prüfen Sie weitere Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Alternative 2: Anmeldung einer Instandhaltungsfirma

1. Es wird die Anmeldung einer Firma, inkl. Berechtigungscode, im linken Bildschirm angezeigt.
2. Falls noch nicht durch einen Kollegen geschehen, tragen Sie in der Freigabeliste die Anmeldung in die entsprechende Zeile (Berechtigungscode) durch Ihr Kürzel inkl. Datum ein.
3. Bestätigen Sie die Anmeldung der Firma.
 - Füllen Sie die entsprechende Zeile vollständig aus und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Bestätigen Sie die Anmeldung so schnell wie möglich!
 - Prüfen Sie weitere Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Instruktion LIP = 2

Alternative 1: Vervollständigen der Eingabemaske

1. Von der Verwaltung wird das Memo eines Telefonats an Sie übermittelt.
2. Korrigieren Sie mit den Angaben den Eintrag in der Freigabeliste.
 - Bearbeiten Sie die Anmeldung während des Pegelausgleichs!
 - Prüfen Sie weitere Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Alternative 2: Vervollständigen der Eingabemaske

1. Eine Besuchergruppe meldet sich ohne Berechtigungscode an der Geländeeinfahrt zur Schleuse.
2. Erstellen Sie aus den Angaben einen Eintrag in der Freigabeliste.
3. Geben Sie den Zugang frei.
 - Bearbeiten Sie die Anmeldung während des Pegelausgleichs!
 - Prüfen Sie weitere Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Alternative 3: Vervollständigen der Eingabemaske

1. Ein Instandhaltungsteam meldet sich ohne Berechtigungscode an der Geländeeinfahrt zur Schleuse.
2. Erstellen Sie aus den Angaben einen Eintrag in der Freigabeliste.
3. Sperren Sie ggf. den betroffenen Anlagenteil.
4. Geben Sie den Zugang frei.
 - Bearbeiten Sie die Anmeldung während des Pegelausgleichs!
 - Prüfen Sie weitere Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Instruktion LIP = 3

Prüfen der Zugangsberechtigung

1. Es wird die Anmeldung von einer Torsprechstelle im linken Bildschirm angezeigt.
2. Fordern Sie den Berechtigungscode an.
3. Prüfen Sie den Berechtigungscode mit der Freigabeliste. Entscheiden Sie bei Unstimmigkeiten nach eigenem Ermessen bzw. Wissen.
4. Treffen Sie die Freigabeentscheidung.
 - Prüfen Sie gewissenhaft!
 - Treffen Sie die Freigabeentscheidung so schnell wie möglich!
 - Begründen Sie Ihre Entscheidung bei Unstimmigkeiten in der Freigabeliste!

- Beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
- Prüfen Sie weitere Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Erläuterungen zur grafischen Benutzungsschnittstelle

Die Liste war von den Ausdehnungen so bemessen, dass Sie bei normaler Darstellungsgröße (Zoomstufe 100 %) auf einen 22 Zoll Monitor (Format 16:10) passte ohne zu scrollen. Die Tabelle enthält zahlreiche Informationen, von denen aber nur zwei tatsächlich relevant für die Bearbeitung der Aufgabe waren: Berechtigungscode (1) und Sperrung Anlagenteil (2).

Für die Bearbeitung der Aufgabe war die Suchfunktion gesperrt. Außerdem waren die Bearbeitungszeile und Überschriften (Spaltenbuchstabe und Zeilenzahl) von der Ansicht ausgeschlossen.

Die Berechnungsformeln im Hintergrund zu dieser Tabelle waren so gestaltet, dass sie beim Öffnen der Datei neu berechnet wurden. Alle Aufgaben vom Typ „Zutrittskontrolle“ griffen auf denselben Grunddatensatz zurück. Eine Veränderung des Grunddatensatzes während des Versuchs war ausgeschlossen, da die Tabellenblätter für die Versuchspersonen nur „Werte“ und keine „Formeln“ enthielten und der Grunddatensatz gesperrt war. Mit der Neuberechnung wurden z. B. die Berechtigungs_codes neu generiert, weitere Zellen mit zufallsgeneriertem Inhalt gefüllt oder bewusst fehlerhafte Berechtigungs_codes erstellt. Die Freigabeliste bestand zu gleichen Teilen aus einem sichtbaren und einem unsichtbaren Teil. Hierbei entsprach der Inhalt des unsichtbaren Teils den Zutrittsgesuchen, die abgelehnt werden mussten. Um die Wahrscheinlichkeit für Freigabe oder Ablehnen eines Zutrittsgesuchs über den Versuchstag mit jeweils 50 % zu garantieren, wurden für die zu bearbeitenden Zutrittsgesuche die beiden Tabellenteile zufallsgeneriert angesprochen. Wie oben gesagt, wurden im Rahmen der Aktualisierung auch ungültige Berechtigungs_codes erzeugt. Diese waren zur Bearbeitung der Aufgabenstellung für LIP = 3 notwendig (siehe Instruktion LIP = 3). Die fehlerhaften Berechtigungs_codes variierten zufallsgeneriert in nur einem kleinen Detail: entweder der angemeldeten Personenanzahl ± 1 oder des „Gültig ab“-Datums ± 1 Tag.

Mögliche Bedienfehler

- je nach Aufgabenstellung, Freigabe/ Ablehnen ohne Berechtigungscode anzufragen
- Nicht-Sperren/ Sperren des Anlagenteils
- Fehlerhafte, unvollständige Einträge durch Versuchsperson (Kürzel, Einlassdatum, Sperrung ja/ nein)
- falsche Entscheidung für Freigabe/ Ablehnen
- Fehlerhafte, unvollständige Einträge durch Versuchsperson (Name des Ansprechpartners)
- Fehlerhafte, unvollständige Einträge durch Versuchsperson (Informationen zur Besuchergruppe bzw. Instandhaltungsfirma)

12 Beschreibung der Zusatzaufgabe „Instandhaltung“

Hintergrund

Zweck

Damit eine Störung oder Ereignis beseitigt werden kann, muss bspw. ein Instandhaltungsteam benachrichtigt werden.

Ablauf

Bei einer quittierten Störungsmeldung bzw. einem Ereignis wird:

1. die betroffene Anlage/ das Ereignis identifiziert ,
2. je nach Fall, die Störungsmeldung kurz dokumentiert
3. je nach Fall, einen Lösungshinweis für die Instandhaltung erarbeitet
4. die Instandhaltung benachrichtigt

Instruktion LIP = 2

Alternative 1: Instandhaltung an einer Wehranlage

1. Das Automatikprogramm einer Wehranlage ist seit längerem gestört.
2. Prüfen Sie den Pegel des Wehrs Oberesslingen auf Einhaltung der Pegelgrenzen.
3. Benachrichtigen Sie die Instandhaltung, falls eine Abflusskorrektur vor Ort vorgenommen werden soll.
 - Füllen Sie die entsprechende Zeile vollständig aus und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Prüfen Sie weitere Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Alternative 2: Instandhaltung an einer Wehranlage

1. Die Wehranlagen sind wegen der Wartung der Pegelanlage vor Ort besetzt und nicht mit der Leitzentrale verbunden.
2. Prüfen Sie den Pegel des OW und UW der dargestellten Wehranlagen auf Einhaltung der Pegelgrenzen und deren Trend.
3. Benachrichtigen Sie die Instandhaltung, falls Pegelkorrekturen vor Ort vorgenommen werden sollen bzw. dies kurzfristig zu erwarten ist.
 - Füllen Sie die entsprechende Zeile vollständig aus und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Prüfen Sie weitere Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Erläuterungen zur Grafischen Benutzungsschnittstelle LIP = 2

Die gestellten Aufgaben beinhalten beides Mal den Vergleich zwischen Ist- und Soll-Werten. Alternative 1 (siehe Abb. 8.15) unterscheidet sich von Alternative 2 darin, dass nur eine Anlage betroffen ist. Bei Alternative 2 (siehe Abb. 8.16) erfolgte der Abgleich für vier Anlagen und die betroffenen Anlagen mussten benannt werden. Die grafische Benutzungsschnittstelle greift für die Bearbeitung die Wenn-Dann-Beziehungen auf: wenn Ist-Wert vom Soll-Wert abweicht, dann muss Instandhaltung vor Ort benachrichtigt werden.

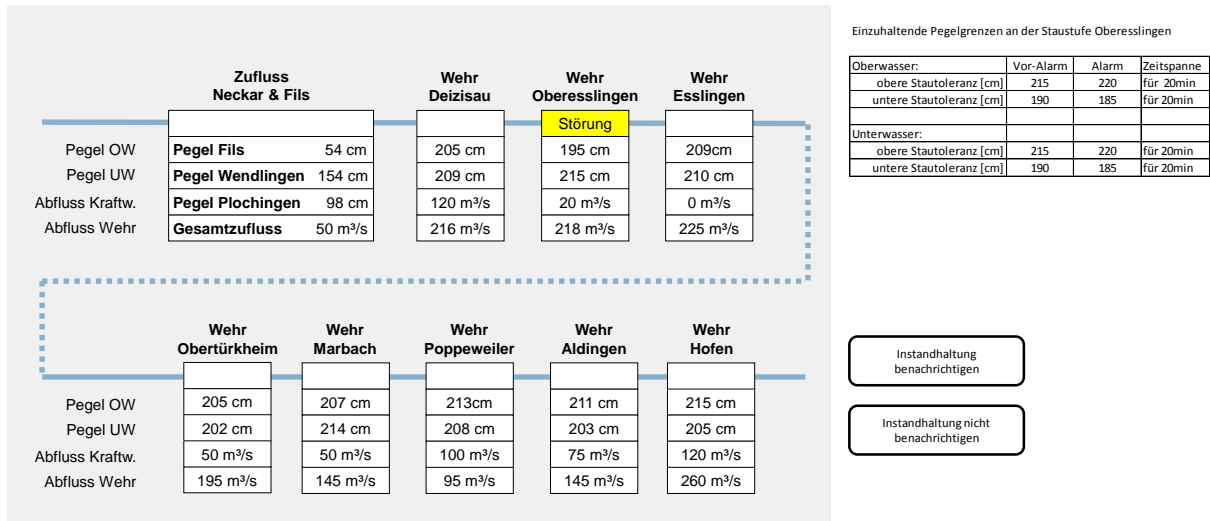


Abb. 8.15 Zusatzaufgabe Instandhaltung LIP = 2, Alternative 1

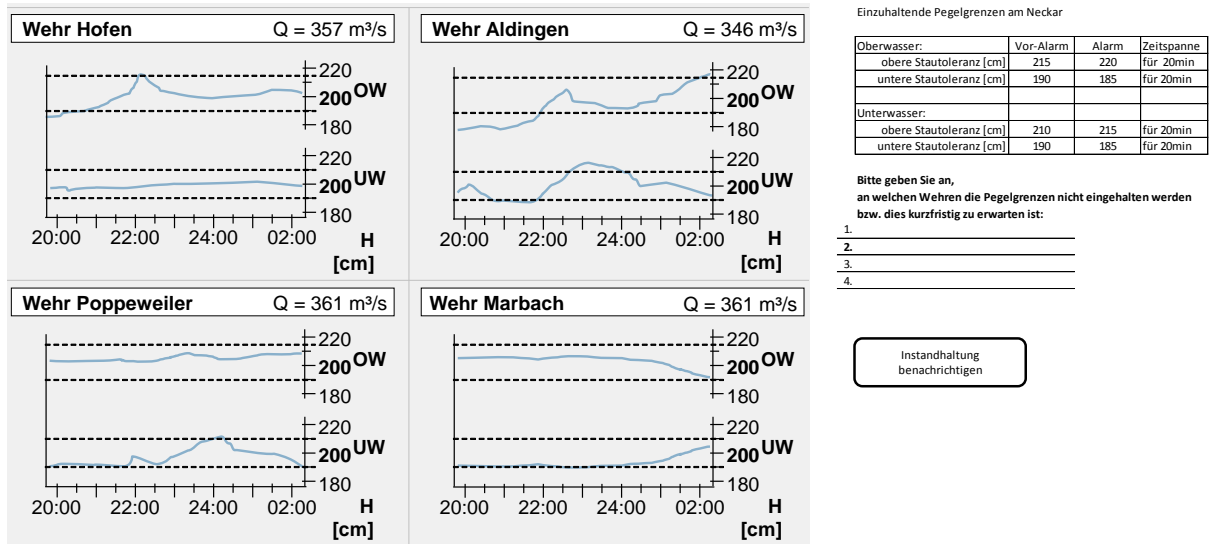


Abb. 8.16 Zusatzaufgabe Instandhaltung LIP = 2, Alternative 2

Instruktion LIP = 3

Alternative 1: Problemsuche (siehe Abb. 8.17)

1. Finden Sie das Problem.
2. Dokumentieren Sie das Problem und beschreiben dessen Auslöser.
 - Füllen Sie das Formular vollständig aus und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Prüfen Sie etwaige Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Alternative 2: Dokumentation einer Störungsmeldung (siehe Abb. 8.18)

1. Dokumentieren Sie die Störungsmeldung.
2. Erarbeiten Sie einen Lösungsvorschlag bzw. eine Umgehung.
 - Füllen Sie das Formular vollständig aus und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Prüfen Sie etwaige Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Erläuterungen zur Grafischen Benutzungsschnittstelle LIP = 3

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; padding: 2px;">Problembeschreibung:</td> <td style="padding: 2px;">Tragen Sie hier Ihre Beschreibung ein und fassen Sie sich bitte kurz!</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Ursache/ Grund:</td> <td style="padding: 2px;">Tragen Sie hier den von Ihnen identifizierten Grund ein und fassen Sie sich bitte kurz!</td> </tr> </table>	Problembeschreibung:	Tragen Sie hier Ihre Beschreibung ein und fassen Sie sich bitte kurz!	Ursache/ Grund:	Tragen Sie hier den von Ihnen identifizierten Grund ein und fassen Sie sich bitte kurz!	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> Beenden </div>
Problembeschreibung:	Tragen Sie hier Ihre Beschreibung ein und fassen Sie sich bitte kurz!				
Ursache/ Grund:	Tragen Sie hier den von Ihnen identifizierten Grund ein und fassen Sie sich bitte kurz!				

Abb. 8.17 Zusatzaufgabe Instandhaltung LIP = 3, Alternative 1

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: red; color: white;"> <td>Priorität - Niedrig</td> </tr> <tr> <td>15.05.2016 09:04</td> </tr> <tr> <td>Kurzbeschreibung: Sparbecken entleeren sich nicht vollständig.</td> </tr> <tr> <td>Beschreibung: Der Pegel der Sparbecken zeigt einen Restfüllstand in den Sparbecken an. mögliche Ursachen: (1) Pegelmessanlage defekt (2) SPS Sparbeckenverschluss fehlerhaft</td> </tr> <tr> <td>Konsequenz: Das fehlende Wasser aus den Sparbecken wird durch ein Mehr an Wasser aus der Oberhaltung kompensiert. Da dieses Wasser zurückgepumpt werden muss, entstehen höhere Betriebskosten. Weiterhin verlängert sich die Schleusungszeit.</td> </tr> <tr> <td>Behebung: Benachrichtigen Sie die Instandhaltung.</td> </tr> </table>	Priorität - Niedrig	15.05.2016 09:04	Kurzbeschreibung: Sparbecken entleeren sich nicht vollständig.	Beschreibung: Der Pegel der Sparbecken zeigt einen Restfüllstand in den Sparbecken an. mögliche Ursachen: (1) Pegelmessanlage defekt (2) SPS Sparbeckenverschluss fehlerhaft	Konsequenz: Das fehlende Wasser aus den Sparbecken wird durch ein Mehr an Wasser aus der Oberhaltung kompensiert. Da dieses Wasser zurückgepumpt werden muss, entstehen höhere Betriebskosten. Weiterhin verlängert sich die Schleusungszeit.	Behebung: Benachrichtigen Sie die Instandhaltung.
Priorität - Niedrig							
15.05.2016 09:04							
Kurzbeschreibung: Sparbecken entleeren sich nicht vollständig.							
Beschreibung: Der Pegel der Sparbecken zeigt einen Restfüllstand in den Sparbecken an. mögliche Ursachen: (1) Pegelmessanlage defekt (2) SPS Sparbeckenverschluss fehlerhaft							
Konsequenz: Das fehlende Wasser aus den Sparbecken wird durch ein Mehr an Wasser aus der Oberhaltung kompensiert. Da dieses Wasser zurückgepumpt werden muss, entstehen höhere Betriebskosten. Weiterhin verlängert sich die Schleusungszeit.							
Behebung: Benachrichtigen Sie die Instandhaltung.							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Störungsmeldung:</td> <td style="padding: 2px;">Was?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Problembeschreibung:</td> <td style="padding: 2px;">Wann, Wo? Umfang Dauer Auswirkungen</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Auftrag/ Alternative:</td> <td style="padding: 2px;">Bitte fassen Sie sich kurz!</td> </tr> </table>	Störungsmeldung:	Was?	Problembeschreibung:	Wann, Wo? Umfang Dauer Auswirkungen	Auftrag/ Alternative:	Bitte fassen Sie sich kurz!	<div style="text-align: center;"> Beenden </div>
Störungsmeldung:	Was?						
Problembeschreibung:	Wann, Wo? Umfang Dauer Auswirkungen						
Auftrag/ Alternative:	Bitte fassen Sie sich kurz!						

Abb. 8.18 Zusatzaufgabe Instandhaltung LIP = 3, Alternative 2

Mögliche Bedienfehler

LIP = 2

- Alternative 1: Instandhaltung nicht benachrichtigen
- Alternative 2: unvollständige/ falsche Benennung⁴¹ (Lösungshinweis: Aldingen, Poppeweiler, Marbach)

LIP = 3

- Alternative 1: Problem wird nicht erkannt (Lösungshinweis: Tor Unterhaupt offen, obwohl Kammer im Oberwasser)
- Alternative 1 & 2: Fehlerhafte/ unvollständige Einträge durch Versuchsperson

13 Beschreibung der Zusatzaufgabe „Administrative Aufgaben“**Hintergrund****Zweck**

Zur Unterstützung der Verwaltung der Schleusenanlage werden Aufgaben aus dem administrativen Bereich auf die Operateure der Leitzentrale übertragen.

Zum Beispiel muss sichergestellt werden, dass die Verfahrensanweisungen aktuell sind. Dafür fallen regelmäßig Aufgaben an, welche durch die Operateure der Leitzentrale übernommen werden. Die Verfahrensanweisungen werden:

1. auf Gültigkeit überprüft und ggf. zur Bearbeitung vorgemerkt
2. im Rahmen der Bearbeitung auf Richtigkeit überprüft und ggf. überarbeitet
3. die Inhaltsverzeichnisse (inkl. Gültigkeitsdauer) aktualisiert.

Ablaufzur Kenntnisnehmen schiffahrtspolizeilicher Meldungen

Lesen Sie aufmerksam die eingehende Meldung. Haben Sie die Meldung zur Kenntnis genommen, unterzeichnen Sie diese mit dem Datum und Ihrem Kürzel.

Anpassen der Gültigkeitsdauer von Prozessunterlagen

Ist die inhaltliche Überarbeitung abgeschlossen, werden die Einträge in den Inhaltsverzeichnissen an den aktuellen Stand angepasst. Jedes Dokument ist hier mit Erstelldatum und dem Datum, ab welchem es gültig ist, hinterlegt:

- wurde ein Dokument inhaltlich überarbeitet, ändert sich entsprechend das Erstelldatum;
- wurde keine inhaltliche Anpassung vorgenommen, wird die Gültigkeitsdauer um weitere 45 Tage verlängert, in dem das Datum "Gültig ab" auf das aktuelle Datum angepasst wird.

Statistiken erstellen

Um die in den gesammelten Daten beinhalteten Informationen auswerten zu können, werden verschiedenste Statistiken erstellt. Nutzen Sie die Filterfunktionen und stellen Sie damit die benötigten Informationen zusammen.

auf Gültigkeit überprüfen und ggf. zur Bearbeitung vormerken

Um die Aktualität der Dokumente zu gewährleisten, besitzen die Dokumente der Verfahrensanweisungen eine Gültigkeitsdauer von 45 Tagen.

Dokumente die älter sind, wurden im Inhaltsverzeichnis markiert.

Die markierten Dokumente werden in einem nächsten Schritt auf inhaltliche Richtigkeit überprüft. Sind getroffene Angaben bzw. Informationen veraltet, werden diese aktualisiert.

⁴¹ Bei der Auswertung wurden Rechtschreibfehler nicht als falsche Benennung gewertet.

Optimierungsvorschläge erarbeiten

In der täglichen Arbeitsroutine fallen nicht optimale Abläufe auf. Diese werden über das entsprechende Formblatt in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess eingebracht.

Um eine Vielzahl von Meinungen zu berücksichtigen, werden diese Optimierungsbedarfe mit den anderen Operateuren diskutiert. Dafür wird ein Formular bereitgestellt, welches ausgefüllt werden muss.

Instruktion LIP = 1

Alternative 1: schiffahrtspolizeiliche Mitteilung

1. Lesen Sie die Mitteilung.
2. Markieren Sie diese als gelesen mit Datum und Ihrem Kürzel.
 - Arbeiten Sie so schnell wie möglich und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Merken Sie sich so viele Details der Meldung wie möglich. Sie werden danach getestet!
 - Prüfen Sie etwaige Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Alternative 2: Anpassen der Gültigkeit von Prozessunterlagen

1. Suchen Sie die vormarkierten Einträge.
2. Ändern Sie das Datum "Gültig ab" der vormarkierten Einträge auf das heutige Datum und setzen Sie die Markierung auf "Grün".
 - Arbeiten Sie so schnell wie möglich und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Ändern Sie alle markierten Einträge!
 - Prüfen Sie etwaige Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Erläuterungen zur Grafische Benutzungsschnittstelle LIP = 1, Alternative 1

Die Mitteilungen wurden in einem Excel-Arbeitsblatt als Formular aufbereitet (siehe Abb. 8.19 und Abb. 8.20). Alle Daten aktualisierten sich beim Öffnen der Datei, so dass für alle Versuchspersonen die relativen Bezüge identisch waren. Um ein ungewolltes Verändern des Mitteilungsinhalts zu vermeiden, waren die Zellen geschützt. Die roten Hinterlegungen waren auch für die Versuchspersonen zu sehen und lenkten das Augenmerk auf die in den Kontrollfragen abgefragten Informationen.

Einzelansicht der Nachricht 0164/2015:							
Titel:	teilweise Sperre wegen Inspektion: Richtungsverkehr						
Veröffentlicht als:	Anordnung						
Herausgeber:	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes						
Herausgabedatum:	02. Mai 16						
Eingabestelle:	WSA Rheine						
Betreff:	Richtungsverkehr						
Grund:	Gebäudeinspektion und Wartungsarbeiten						
Betreff gültig von:	05.05.2016 9.00 Uhr						
Betreff gültig bis:	04.06.2016 16.00 Uhr						
Wasserstraße Datteln-Hamm-Kanal:							
Örtlichkeit	km von Koordinaten km bis Koordinaten	Einschränkung	Zielgruppe	Richtung	Bereich	gültig von gültig bis	Intervall
Eisenbahnbrücke Hamm	35,87 51° 40.550' N 7° 48.241' E	Richtungs- verkehr	alle	alle Richtungen	ganz	05.05.2016 9.00 Uhr 04.06.2016 16.00 Uhr	
Zusätzliche Informationen:	Wegen Wartungsarbeiten an der Unterseite der Eisenbahnbrücke Hamm ist die Durchfahrt vom Sonntag, den 05.05.2016, von 9.00 Uhr bis Dienstag, den 04.06.2016, voraussichtlich 16.00 Uhr für die Schifffahrt nur in einer Fahrhinne freigegeben. Der Richtungsverkehr wird durch die Leitzentrale Hamm gelenkt.						
Gelesen (Datum, Kürzel):							

Abb. 8.19 Schifffahrtspolizeiliche Mitteilung, Variante 1

Einzelansicht der Nachricht 0156/2015:							
Titel:	teilweise Sperre wegen Inspektion: Sperre						
Veröffentlicht als:	Anordnung						
Herausgeber:	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes						
Herausgabedatum:	21. Apr 16						
Eingabestelle:	WSA Duisburg-Meiderich						
Betreff:	teilweise Sperre						
Grund:	Inspektion						
Betreff gültig von:	15.05.2016 8.00 Uhr						
Betreff gültig bis:	17.05.2016 14.00 Uhr						
Wasserstraße Wesel-Datteln-Kanal:							
Örtlichkeit	km von Koordinaten km bis Koordinaten	Einschränkung	Zielgruppe	Richtung	Bereich	gültig von gültig bis	Intervall
Schleuse Oberhausen Südammer	59,5 51° 40.036' N 7° 21.569' E 59,5 51° 40.036' N 7° 21.569' E	Sperre	alle	alle Richtungen	ganz	15.05.2016 8.00 Uhr 17.05.2016 14.00 Uhr	
Zusätzliche Informationen:	Wegen Wartungsarbeiten ist die Südammer der Schleuse Oberhausen vom Sonntag, den 15.05.2016, von 8.00 Uhr bis Dienstag, den 17.05.2016, voraussichtlich 14.00 Uhr für die Schifffahrt gesperrt. Fahrzeuge > 110m können in Abstimmung mit der Schleusenaufsicht zwischenzeitlich geschleust werden.						
Gelesen (Datum, Kürzel):							

Abb. 8.20 Schifffahrtspolizeiliche Mitteilung, Variante 2

Erläuterungen zur Grafische Benutzungsschnittstelle LIP = 1, Alternative 2

Für die Bearbeitung der Alternative 2 „Anpassen der Gültigkeit von Prozessunterlagen“ wurde eine Tabelle vorbereitet, die ein beispielhaftes Inhaltverzeichnis einer Prozessdokumentation wiedergibt. Da die Aufgabe im Versuchsablauf vier Mal bearbeitet wurde, gab es vier Varianten dieser Tabelle. Die Varianten unterschieden sich in den Kapitelüberschriften und in den beiden Datumsspalten.

Die Spalten „Erstelldatum“ und „Gültig ab“ wurden beim Öffnen des Dokuments automatisch berechnet bzw. aktualisiert. Dies verlief so lange, bis für jede Tabelle in der

Spalte „Gültig ab“ die Anzahl der zu ersetzenden Einträge mit der Anzahl der nicht zu ersetzenden Einträge gleich war. In einem weiteren Schritt wurden in der Spalte „Gültig ab“ die Einträge mittels bedingter Formatierung hervorgehoben, die am Versuchstag älter als 45 Tage waren (für Abb. 8.21 wäre der angenommene Versuchstag der 16. Mai 2016).

lfd #	Kapitel	Erstelldatum	Gültig ab
1	1. Einleitung		
2	1.1. Schlussbericht der Arbeitsgruppe	22.03.2016	02.04.2016
3	1.2. Sachstand- und Erfahrungsbericht	22.03.2016	01.04.2016
4	1.3. Auftrag zur Überarbeitung des Schlussberichts	27.03.2016	30.03.2016
5	1.4. Ist-Erfassung	17.03.2016	02.04.2016
6	1.5. Modulare Erarbeitung der Verfahrensanweisung	23.03.2016	02.04.2016
7	1.6. Ausblick	24.03.2016	02.04.2016
8	2. Vorgaben		
9	2.1. Verifizierung der rechtlichen Bewertung des Schlussberichts	17.03.2016	01.04.2016
10	2.2. Gutachten	19.03.2016	31.03.2016
11	2.3. Verfahrensanweisung zum Schleusenbetrieb	21.03.2016	03.04.2016
12	2.4. Richtlinie zur Gestaltung von anderen Anlagen	26.03.2016	03.04.2016
13	3. Geltungsbereich	17.03.2016	29.03.2016
14	4. Grundsätze der Automatisierung und Fernbedienung		
15	4.1. Aufgaben	25.03.2016	03.04.2016
16	4.2. Standardprozess Schleusenablauf	20.03.2016	03.04.2016
17	4.3. Leitzentralen	25.03.2016	29.03.2016
18	4.4. Alternativen		
19	4.4.1. Alternative 1	22.03.2016	31.03.2016
20	4.4.2. Alternative 2	24.03.2016	02.04.2016
21	4.4.3. Alternative 3	23.03.2016	31.03.2016
22	4.4.4. Alternative 4	18.03.2016	29.03.2016
23	4.4.5. Alternative 5	23.03.2016	31.03.2016
24	4.4.6. Alternative 6	17.03.2016	03.04.2016
25	4.5. Anbindungen		
26	4.5.1. Anbindungen Alternative 1	21.03.2016	03.04.2016
27	5. Anhang	18.03.2016	30.03.2016

Abb. 8.21 Anpassen der Gültigkeit von Prozessunterlagen

Kontrollfragen

Tab. 8.5 Kontrollfragen für schiffahrtspolizeiliche Meldungen (richtige Antworten sind grün hinterlegt)

Fragen	Antwortalternativen		
Kontrollfragen für Variante 1			
1. Um welches Bauwerk handelte es sich?	Schleuse	Eisenbahnbrücke	Straßenbrücke
2. Welche Aufgabe wird durch die Leitzentrale Hamm übernommen?	Bekanntmachung	Lenkung des Richtungsverkehrs	Inspektion und Wartung
3. Was ist gesperrt?	komplette Benutzung	Straßenverkehr	eine Fahrinne
Kontrollfragen für Variante 2			
1. Welche Maßnahme wird bekannt gegeben?	Tauchereinsatz	Sperrung	Verkehrszählung
2. Was wird für Fahrzeuge >110m zwischenzeitlich ermöglicht?	Schleusung	Abgabenerhebung	Zollangelegenheiten
3. Was ist gesperrt?	Kleine Kammer	Westkammer	Südkammer

Instruktion LIP = 2

Alternative 1: Erstellen einer Statistik

1. Erstellen Sie eine Statistik zum Schiffstyp Gütermotorschiff (GMS).
2. Extrahieren Sie in einem ersten Schritt folgende Daten: Gesamtanzahl | Gesamttonnage | max. Breite | Anzahl deutscher GMS.
3. Ermitteln Sie in einem zweiten Schritt das Verhältnis deutscher Gütermotorschiffe zur Gesamtanzahl der Gütermotorschiffe.
 - Arbeiten Sie so schnell wie möglich und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Füllen Sie die Tabelle vollständig und korrekt aus! Eine schrittweise Anleitung wird angezeigt.
 - Prüfen Sie etwaige Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Alternative 2: Markieren von ungültigen Prozessunterlagen

1. Finden Sie die Einträge, die vom heutigen Tag bereits länger als 45 Tage gültig sind (d. h. 'Gültig ab' älter als: 02.04.2016).
2. Markieren Sie diese Einträge, in dem Sie die Hintergrundfarbe der Zellen „Rot“ färben.
 - Arbeiten Sie so schnell wie möglich und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Markieren Sie alle entsprechenden Einträge!
 - Prüfen Sie etwaige Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Erläuterungen zur Grafische Benutzungsschnittstelle LIP = 2, Alternative 1

Die grafische Benutzungsschnittstelle zum Erstellen der Schifffahrtsstatistik bestand einerseits aus der Eingabemaske für die ermittelten Daten oben links, der schrittweisen Anleitung oben rechts und aus einer Tabelle mit den relevanten Daten des Verkehrstagebuches (1760 anonymisierte Datensätze, siehe Abb. 8.22). Zur Bearbeitung waren im Tabellenkopf die Sortierfunktionen (rechts bündiges graues Quadrat mit Dreieck) aktiviert. Aufgrund des Datenvolumens mussten die Sortierfunktionen genutzt werden, um die Aufgabenstellung in der zur Verfügung stehenden Zeit bearbeiten zu können. Die für die Aufgabenbearbeitung relevanten Sortierfunktionen wurden allen Versuchspersonen im Übungsdurchgang vor Beginn des Versuchs erläutert.

Statistik

Gesamtanzahl GMS:	
Gesamttonnage GMS:	
max. Länge GMS:	
Anzahl dt. GMS:	
% der Gesamt-GMS:	%

Schrittweise Anleitung

1. Aktivieren Sie "Filtern" für die erste Zeile der Tabelle (Tabellenkopf).
2. Wählen Sie im Filter der Spalte "Typ" nur "GMS" aus.
3. Übertragen Sie die Anzahl der gefilterten Datensätze aus der Statuszeile in die Statistik.
4. Markieren Sie die Spalte "Tonnage" und Übertragen Sie die Gesamttonnage aus der Statuszeile in die Statistik.
5. Ermitteln Sie die max. Länge aus dem Filtermenü der entsprechenden Spalte.
6. Wählen Sie im Filter der Spalte "Nationalität" nur "D" aus.
7. Übertragen Sie die Anzahl der gefilterten Datensätze aus der Statuszeile in die Statistik.
8. Ermitteln Sie den prozentualen Anteil deutscher GMS an der Gesamtanzahl der GMS.

Auszug Verkehrstagebuch

lfd #	Schiffsname	Typ	Reg.-Nr.	Länge	Breite	Tonnage	Nationalität
1		KF		47,00	11,40	547,00	CZ
2		KF		13,23	3,29		A
3		KF		17,02	5,35		BG
4		KF		15,25	5,14	63,00	F
5		KF		55,23	9,60		CH
6		F		24,38	5,75	95,00	D
7		F		24,74	5,80	98,00	NL
8		F		24,27	5,73	101,00	D

Beenden

Abb. 8.22 Eingabemaske für statistische Informationen

Erläuterungen zur Grafische Benutzungsschnittstelle LIP = 2, Alternative 2

Für die Bearbeitung der Alternative 2 „Markieren von ungültigen Prozessunterlagen“ wurde eine Tabelle vorbereitet, die ein beispielhaftes Inhaltverzeichnis einer Prozessdokumentation wiedergibt (siehe Abb. 8.23). Die Aufgabe wurde im Versuchsablauf drei Mal bearbeitet, so dass es drei Varianten dieser Tabelle gab. Die Varianten unterschieden sich in den Kapitelüberschriften und in den beiden Datumsspalten. Die Spalten „Erstelldatum“ und „Gültig ab“ wurden beim Öffnen des Dokuments automatisch berechnet bzw. aktualisiert. Dies verlief so lange, bis für jede Tabelle in der Spalte „Gültig ab“ die Anzahl der zu markierenden Einträge mit der Anzahl der nicht zu markierenden Einträge gleich war. Der auf der vorherigen Seite exemplarisch beschriebenen Instruktion LIP = 2 Alternative 2 liegt folgende Berechnung zu Grunde: Versuchstag (angenommenes Datum 16. Mai 2016) minus 44 Tage ergibt 2. April 2016.

Das bedeutet für die Bearbeitung der Aufgabe, dass alle Einträge älter als oder gleich 1. April 2016 hervorzuheben sind.

Ifd #	Kapitel	Erstelldatum	Gültig ab
1	1. Leitfaden Maschinensicherheit	19.03.2016	29.03.2016
2	2. Halt		
3	<i>2.1. Beschreibung der Sicherheitsfunktionen</i>		
4	2.1.1. Prozess-Halt	21.03.2016	31.03.2016
5	2.1.2. Halt	23.03.2016	02.04.2016
6	2.1.3. Aus	19.03.2016	03.04.2016
7	<i>2.2. Ausstattung mit Sicherheitsfunktionen</i>		
8	2.2.1. An Schleusen	18.03.2016	29.03.2016
9	2.2.2. An anderen Anlagen	25.03.2016	29.03.2016
10	2.2.3. In Leitzentralen	19.03.2016	02.04.2016
11	2.2.4. An Peripherie	23.03.2016	30.03.2016
12	2.2.5. Tabellarische Übersicht	27.03.2016	31.03.2016
13	3. Überwachung von Gefährdungsbereichen		
14	<i>3.1. Überwachung von Gefährdungsbereichen bei Alternative 1</i>	21.03.2016	03.04.2016
15	<i>3.2. Überwachung von Gefährdungsbereichen bei Alternative 2</i>	17.03.2016	30.03.2016
16	<i>3.3. Überwachung von Gefährdungsbereichen bei Alternative 3</i>	24.03.2016	02.04.2016
17	4. Kamera		
18	<i>4.1. Kamera bei Alternative 1</i>	24.03.2016	01.04.2016
19	<i>4.2. Kamera bei Alternative 2</i>	18.03.2016	29.03.2016
20	<i>4.3. Kamera bei Alternative 3</i>	27.03.2016	02.04.2016
21	5. Nutzerschnittstellen		
22	<i>5.1. Nutzerschnittstelle Alternative 1</i>	18.03.2016	03.04.2016
23	<i>5.2. Nutzerschnittstelle Alternative 2</i>	25.03.2016	29.03.2016
24	<i>5.3. Nutzerschnittstelle Alternative 3</i>	18.03.2016	03.04.2016
25	<i>5.4. Nutzerschnittstelle Alternative 4</i>	20.03.2016	29.03.2016
26	<i>5.5. Nutzerschnittstelle Alternative 5</i>	27.03.2016	02.04.2016
27	6. Steuerungskonzept	26.03.2016	03.04.2016
28	7. Beleuchtungstechnik	20.03.2016	03.04.2016

Abb. 8.23 Markieren von ungültigen Prozessunterlagen

Instruktion LIP = 3

Entwickeln einer Problemlösung oder alternative Herangehensweise

1. Lesen Sie die kurze Problembeschreibung.
2. Entwickeln Sie eine Lösung oder alternative Herangehensweise.
3. Beschreiben Sie Ihre Lösung bzw. alternative Herangehensweise kurz und prägnant.
 - Bearbeiten Sie diese Aufgabe so schnell wie möglich und beenden Sie die Bearbeitung während des Pegelausgleichs!
 - Entwickeln Sie eine pragmatische Lösung bzw. Alternative!
 - Prüfen Sie etwaige Zutrittsgesuche gewissenhaft!

Erläuterungen zur Grafischen Benutzungsschnittstelle LIP = 3

Die Formulare wurden in einem Excel-Arbeitsblatt aufbereitet (siehe Abb. 8.24 und Abb. 8.25). Um eine ungewollte Veränderung der Problembeschreibung zu verhindern, waren die Zellen schreibgeschützt.

Problem:	kabellose Telefone weisen immer wieder einen kritischen Ladezustand auf
Problembeschreibung:	Trotz Ladeschalen am Bedienstand werden die kabellosen Telefone erst bei einem kritischen Ladezustand aufgeladen. Das kann die Kommunikation beeinträchtigen. Was kann unternommen werden, damit in Zukunft ein kritischer Ladezustand nicht zu einer Beeinträchtigung der Kommunikation führt.
Lösung/ Alternative:	
Tragen Sie hier Ihre Lösung/ Alternative ein und fassen Sie sich bitte kurz!	

Abb. 8.24 Entwickeln einer Problemlösung oder alternativen Herangehensweise, Variante 1

Problem:	Müllabfuhr fährt nach nur kurzer Wartezeit an der Geländeeinfahrt un verrichteter Dinge ab
Problembeschreibung:	Wenn das Geländeeinfahrtstor nicht unmittelbar nach Betätigen der Torsprechstelle geöffnet wird, fährt die Müllabfuhr un verrichteter Dinge weiter. Was kann unternommen werden, damit dies in Zukunft nicht mehr passiert und der Müll regelmäßig entsorgt wird.
Lösung/ Alternative:	
Tragen Sie hier Ihre Lösung/ Alternative ein und fassen Sie sich bitte kurz!	

Abb. 8.25 Entwickeln einer Problemlösung oder alternativen Herangehensweise, Variante 2

Mögliche Bedienfehler

LIP = 1

- Alternative 1: fehlerhafte/ keine Einträge durch Versuchsperson (Datum, Kürzel)
- Alternative 1: fehlerhaftes/ kein Memorieren des Meldungsinhalts
- Alternative 2: fehlerhaftes/ unvollständiges Ersetzen der markierten Einträge
- Alternative 2: fehlerhaftes/ unvollständiges Markieren der ersetzten Einträge

LIP = 2

- Alternative 1: fehlerhafte/ keine Einträge durch Versuchsperson
- Alternative 2: fehlerhaftes/ unvollständiges Markieren der entsprechenden Einträge

LIP = 3

- Nicht sinnvolle/ keine Einträge durch Versuchsperson

14 Beschreibung der Mathematikaufgaben

F2359 2.1 - Multitasking in Leitwarten					Versuchsperson				
Matheaufgaben					Seite 1/2				
lfd #	Inst.	Aufgabe	✓ x o	Bemerkung	lfd #	Inst.	Aufgabe	✓ x o	Bemerkung
1		$3 \times 5 = 15$			46		$48 / 8 = 6$		
2		$2 / 2 = 1$			47		$91 - 4 = 87$		
3		$51 - 3 = 48$			48		$12 - 6 = 6$		
4		$7 \times 4 = 28$			49		$6 \times 5 = 30$		
5		$20 + 6 = 26$			50		$45 / 9 = 5$		
6		$56 + 8 = 64$			51		$1 \times 3 = 3$		
7		$82 - 4 = 78$			52		$79 - 1 = 78$		
8		$0 / 3 = 0$			53		$35 / 7 = 5$		
9		$3 \times 9 = 27$			54		$2 \times 0 = 0$		
10		$0 \times 4 = 0$			55		$94 - 6 = 88$		
11		$23 + 8 = 31$			56		$20 / 4 = 5$		
12		$89 - 1 = 88$			57		$9 \times 6 = 54$		
13		$90 + 5 = 95$			58		$45 / 9 = 5$		
14		$37 - 0 = 37$			59		$1 \times 3 = 3$		
15		$78 + 1 = 79$			60		$0 / 8 = 0$		
16		$43 - 5 = 38$			61		$61 - 3 = 58$		
17		$43 - 0 = 43$			62		$0 \times 2 = 0$		
18		$2 \times 8 = 16$			63		$27 + 1 = 28$		
19		$36 + 4 = 40$			64		$66 - 7 = 59$		
20		$79 + 8 = 87$			65		$7 \times 7 = 49$		
21		$1 \times 6 = 6$			66		$6 \times 9 = 54$		
22		$40 / 8 = 5$			67		$83 - 4 = 79$		
23		$94 + 3 = 97$			68		$1 \times 1 = 1$		
24		$23 - 8 = 15$			69		$46 - 8 = 38$		
25		$7 \times 4 = 28$			70		$0 \times 0 = 0$		
26		$65 - 3 = 62$			71		$1 \times 1 = 1$		
27		$48 + 7 = 55$			72		$30 / 6 = 5$		
28		$47 + 8 = 55$			73		$8 \times 8 = 64$		
29		$1 \times 5 = 5$			74		$4 / 4 = 1$		
30		$12 / 6 = 2$			75		$49 + 2 = 51$		
31		$6 \times 0 = 0$			76		$2 / 2 = 1$		
32		$9 / 3 = 3$			77		$4 \times 6 = 24$		
33		$3 \times 6 = 18$			78		$2 \times 3 = 6$		
34		$21 / 7 = 3$			79		$9 \times 8 = 72$		
35		$78 - 4 = 74$			80		$16 + 1 = 17$		
36		$21 - 3 = 18$			81		$82 - 4 = 78$		
37		$27 / 9 = 3$			82		$83 + 8 = 91$		
38		$4 \times 4 = 16$			83		$6 \times 5 = 30$		
39		$0 \times 8 = 0$			84		$71 + 5 = 76$		
40		$35 - 9 = 26$			85		$36 - 8 = 28$		
41		$26 - 7 = 19$			86		$18 / 6 = 3$		
42		$28 + 3 = 31$			87		$16 / 4 = 4$		
43		$71 + 7 = 78$			88		$36 / 6 = 6$		
44		$14 - 5 = 9$			89		$10 - 2 = 8$		
45		$12 / 3 = 4$			90		$8 \times 8 = 64$		

Abb. 8.26 Auszug aus dem Protokollblatt für Mathematikaufgaben

15 Versuchsaufgaben: Prozessschritte und Auswertung

Aufgabe 00u: Bereich $0 < TSS < 1$; $LIP = 1$; $0,0 < TO < 0,2$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0\%$
2	Tor öffnen	0,50	1	0,0069	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0\%$
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$30 \pm 21,7\%$
10	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort [°]	ein wenig
15	Prozessüberwachung	0,00	1	0,0097	0,0292	Bewertung [^] : Ist/ Soll	unterfordernd/ unterfordernd
22	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	$-11 \pm 29,0\%$
27	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	PSD LF norm	$-2 \pm 19,7\%$
30	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	PSD HF norm	$-14 \pm 23,3\%$
35	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	PSD LF/HF ratio	$-11 \pm 48,9\%$
	Zusammenfassung:	1,00	1	0,05	0,1500	Pupillengröße	$1 \pm 12,1\%$
						APCPS	$1 \pm 12,0\%$
						hits/ misses/ false hits ²	56 / 16 / 32 %
						mittlere Reaktionszeit	$1,7 \pm 1,9$ sek
						Bedienfehler	0

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus,

² Abweichung von 100 % für hits und misses, da ggf. keine zu protokollierende Änderung bei kurzer Pegelausgleichszeit

Aufgabe 01u: $0 < TSS < 1$; $LIP = 1$; $0,2 < TO < 0,4$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0\%$
2	Tor öffnen	0,50	1	0,0069	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0\%$
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$12 \pm 7,7\%$
10	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	absolut keine
15	Prozessüberwachung	0,00	1	0,0764	0,2292	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkritisch)/ unterfordernd
70	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	$2 \pm 37,6\%$
75	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	PSD LF norm	$-10 \pm 15,1\%$
78	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	PSD HF norm	$13 \pm 40,4\%$
83	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	PSD LF/HF ratio	$-29 \pm 34,7\%$
	Zusammenfassung:	1,00		0,1194	0,3500	Pupillengröße	$3 \pm 15,5\%$
						APCPS	$3 \pm 15,5\%$
						hits/misses/false hits	92 / 8 / 14 %
						mittlere Reaktionszeit	$2,8 \pm 6,4$ sek
						Bedienfehler	0

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 02o: $0 < TSS < 1$; $LIP = 1$; $0,6 < TO < 0,8$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0\%$
2	Tor öffnen	0,50	1	0,0069	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0\%$
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$2 \pm 1,6\%$
10	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*	ein wenig
15	Prozessüberwachung	0,00	1	0,2097	0,6292	Bewertung*: Ist/ Soll	unterfordernd/ unterfordernd
166	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	$-8 \pm 33,2\%$
171	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	PSD LF norm	$-11 \pm 16,7\%$
174	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	PSD HF norm	$16 \pm 33,2\%$
179	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	PSD LF/HF ratio	$-40 \pm 26,4\%$
	Zusammenfassung:	1,00		0,2528	0,7500	Pupillengröße	$-2 \pm 11,3\%$
						APCPS	$-1 \pm 11,3\%$
						hits/misses/false hits	94 / 6 / 14 %
						mittlere Reaktionszeit	$1,5 \pm 0,7$ sek
						Bedienfehler	0

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 03u: $0 < TSS < 1$; $LIP = 1$; $0,8 < TO < 1,0$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0\%$
2	Tor öffnen	0,50	1	0,0069	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0\%$
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$5 \pm 4,0 \%$
10	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	absolut keine
15	Prozessüberwachung	0,00	1	0,2764	0,8292	Bewertung*^: Ist/ Soll	unterfordernd/ unterfordernd
214	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	$-5 \pm 40,1 \%$
219	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	PSD LF norm	$5 \pm 37,1 \%$
222	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	PSD HF norm	$-2 \pm 15,6 \%$
227	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	PSD LF/HF ratio	$-13 \pm 47,9 \%$
	Zusammenfassung:	1,00		0,3194	0,9500	Pupillengröße	$-5 \pm 12,2 \%$
						APCPS	$-4 \pm 12,3 \%$
						hits/misses/false hits	95 / 5 / 15 %
						mittlere Reaktionszeit	$1,7 \pm 0,9 \text{ sek}$

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 04u: $1 < TSS < 2$; LIP=1; $0,0 < TO < 0,2$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	53 ± 78,6 %
2	Meldung1 (Beleuchtung)	0,67	1	0,0028	0,0083	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	2 ± 6,3 %
4	Quittieren	0,50	1	0,0014	0,0042	Ist Bearbeitungszeit	97 ± 45,5 %
5	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	etwas
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ unterfordernd
12	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	-10 ± 27,8 %
15	Z5_1 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	PSD LF norm	2 ± 19,2 %
20	schnellstmgl. Freigabe	0,00	1	0,0042	0,0125	PSD HF norm	3 ± 47,1 %
23	Prozessüberwachung	0,00	1	0,0056	0,0167	PSD LF/HF ratio	-16 ± 42,1 %
27	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	Pupillengröße	2 ± 16,7 %
32	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	APCPS	2 ± 16,9 %
35	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	hits/misses/false hits ²	47 / 27 / 39 %
40	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	2,5 ± 4,32 sek
	Zusammenfassung:	1,67		0,0597	0,1708	Bedienfehler	7 ± 25 %
						Kontrollfragen	88 ± 27,0 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	90/ 12 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

² Abweichung von 100 % für hits und misses, da ggf. keine zu protokollierende Änderung bei kurzer Pegelausgleichszeit

Aufgabe 05o: $1 < TSS < 2$; $LIP = 1$; $0,6 < TO < 0,8$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	152 ± 52,5 %
2	Meldung1 (Beleuchtung)	0,67	1	0,0028	0,0083	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	123 ± 8,2 %
4	Quittieren	0,50	1	0,0014	0,0042	Ist Bearbeitungszeit	21 ± 8,8 %
5	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*	etwas
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
12	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	-11 ± 28,9 %
15	Z5_1 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	PSD LF norm	-2 ± 27,5 %
20	schnellstmgl. Freigabe	0,00	1	0,0042	0,0125	PSD HF norm	7 ± 37,4 %
23	Prozessüberwachung	0,00	1	0,1986	0,5958	PSD LF/HF ratio	2 ± 63 %
166	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	Pupillengröße	-3 ± 15,3 %
171	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	APCPS	-2 ± 15,4 %
174	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	hits/misses/false hits	81/ 19/ 28 %
179	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	4,4 ± 2,2 sek
	Zusammenfassung:	1,67		0,2528	0,7500	Bedienfehler	11 ± 30,9 %
						Kontrollfragen	95 ± 11,8 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	85/ 8 %

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 06u: $1 < TSS < 2$; $LIP = 1$; $0,8 < TO < 1,0$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	146 ± 59,4 %
2	Meldung1 (Beleuchtung)	0,67	1	0,0028	0,0083	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	126 ± 7,7 %
4	Quittieren	0,50	1	0,0014	0,0042	Ist Bearbeitungszeit	18 ± 11,6 %
5	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	eher viel
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ unterfordernd
12	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	-21 ± 20,5 %
15	Z5_1 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	PSD LF norm	1 ± 17,6 %
20	schnellstmgl. Freigabe	0,00	1	0,0042	0,0125	PSD HF norm	2 ± 41,3 %
23	Prozessüberwachung	0,00	1	0,2653	0,7958	PSD LF/HF ratio	-1 ± 54,9 %
214	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	Pupillengröße	4 ± 15,3 %
219	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	APCPS	5 ± 15,3 %
222	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	hits/misses/false hits	80/ 20/ 16 %
227	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	8,5 ± 20 sek
	Zusammenfassung:	1,67		0,3194	0,9500	Bedienfehler	17,86 ± 38,3 %
						Kontrollfragen	66,67 ± 21,73 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	94/ 5 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 07o: $2 < TSS < 3$; LIP=1; $0,6 < TO < 0,8$

Zeit- stem- pel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Base- line über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	72 ± 40,4 %
2	Tor öffnen	0,50	1	0,0069	0,0208	Ist-Ebene der Informati- onsverarbeitung	54 ± 35,8 %
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	11 ± 5,6 %
10	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*	etwas
15	Z3_1 Mitteilung lesen	1,00	1	0,0556	0,1667	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (un- krit)/ optimal (unkrit)
55	Datum und Kürzel ergänzen	0,00	1	0,0111	0,0333	HRV	-1 ± 32,5 %
63	Prozessüberwachung	1,00	1	0,1431	0,4292	PSD LF norm	-2 ± 0,9 %
166	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	PSD HF norm	5 ± 34,1 %
171	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	PSD LF/HF ratio	-18 ± 42,3 %
174	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	Pupillengröße	3 ± 11,9 %
179	Schiff ins Verkehrsta- gebuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	APCPS	3 ± 11,9 %
	Zusammenfassung:	3,00		0,2528	0,7500	hits/misses/false hits	74/ 26/ 20 %
						mittlere Reaktionszeit	5,5 ± 2,8 sek
						Bedienfehler	7 ± 25,3 %
						Kontrollfragen	81 ± 18,9 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	69/ 16 %

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 08u: 2<TSS<3; LIP=1; 0,8<TO<1,0

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	81 ± 33 %
2	Tor öffnen	0,50	1	0,0069	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	72 ± 38,8 %
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	12 ± 8,9 %
10	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	etwas
15	Z3_1 Mitteilung lesen	1,00	1	0,0556	0,1667	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ unterfordernd
55	Datum und Kürzel ergänzen	0,00	1	0,0111	0,0333	HRV	-17 ± 28,9 %
63	Prozessüberwachung	1,00	1	0,2097	0,6292	PSD LF norm	-5 ± 5,3 %
214	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	PSD HF norm	9 ± 34,7 %
219	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	PSD LF/HF ratio	-28 ± 29,5 %
222	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	Pupillengröße	7 ± 15,6 %
227	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	APCPS	7 ± 15,4 %
	Zusammenfassung:	3,00		0,3194	0,9500	hits/misses/false hits	75/ 25/ 16 %
						mittlere Reaktionszeit	8,4 ± 17,8 sek
						Bedienfehler	11 ± 30,9 %
						Kontrollfragen	65 ± 37,1 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	93/ 6 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 09o: $3 < TSS < 4$; $LIP = 1$; $0,2 < TO < 0,4$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	17 ± 31,7 %
2	Meldung2 (Einfahrtssignal)	0,67	1	0,0056	0,0167	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	9 ± 19,8 %
6	Quittieren	0,50	1	0,0028	0,0083	Ist Bearbeitungszeit	81 ± 35 %
8	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*	eher viel
13	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
16	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	-14 ± 27,9 %
21	Z4_1 Identifizieren der vormarkierten Listeneinträge	1,00	1	0,0139	0,0417	PSD LF norm	1 ± 13,1 %
31	Aktualisieren des Datums der vormarkierten Einträge	0,00	1	0,0556	0,1667	PSD HF norm	2 ± 29,1 %
71	Prozessüberwachung	1,00	1	0,0056	0,0167	PSD LF/HF ratio	-15 ± 38 %
75	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	Pupillengröße	7 ± 17,1 %
80	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	APCPS	7 ± 17,1 %
83	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	hits/misses/false hits	70/ 30/ 21 %
88	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	5,2 ± 2,8 sek
	Zusammenfassung:	3,67		0,1264	0,3708	Bedienfehler	11 ± 30,9 %
						Kontrollfragen	85 ± 21,2 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	61/ 16 %

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 10o: $3 < TSS < 4$; $LIP = 1$; $0,4 < TO < 0,6$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	40 ± 38,6 %
2	Meldung2 (Einfahrtsignal)	0,67	1	0,0056	0,0167	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	22 ± 25,2 %
6	Quittieren	0,50	1	0,0028	0,0083	Ist Bearbeitungszeit	44 ± 19,9 %
8	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*	etwas
13	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
16	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	-4 ± 25,1 %
21	Z4_1 Identifizieren der vormarkierten Listeneinträge	1,00	1	0,0139	0,0417	PSD LF norm	-14 ± 18,8 %
31	Aktualisieren des Datums der vormarkierten Einträge	0,00	1	0,0556	0,1667	PSD HF norm	16 ± 31,9 %
71	Prozessüberwachung	1,00	1	0,0653	0,1958	PSD LF/HF ratio	-44 ± 22 %
118	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	Pupillengröße	2 ± 12,4 %
123	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	APCPS	2 ± 12,5 %
126	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	hits/misses/false hits	69/ 31/ 21 %
131	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	4,9 ± 3,2 sek
	Zusammenfassung:	3,67		0,1861	0,5500	Bedienfehler	7 ± 25,3 %
						Kontrollfragen	85 ± 18,9 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	45/ 36 %

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 11ü: 3<TSS<4; LIP=1; 0,6<TO<0,8

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	56 ± 34,5 %
2	Meldung2 (Einfahrtsignal)	0,67	1	0,0056	0,0167	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	54 ± 46,6 %
6	Quittieren	0,50	1	0,0028	0,0083	Ist Bearbeitungszeit	32 ± 14 %
8	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	eher viel
13	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
16	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	2 ± 33,8 %
21	Z4_1 Identifizieren der vormarkierten Listeneinträge	1,00	1	0,0139	0,0417	PSD LF norm	-2 ± 22 %
31	Aktualisieren des Datums der vormarkierten Einträge	0,00	1	0,0556	0,1667	PSD HF norm	7 ± 51 %
71	Prozessüberwachung	1,00	1	0,1319	0,3958	PSD LF/HF ratio	-27 ± 35,3 %
166	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	Pupillengröße	10 ± 19,9 %
171	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	APCPS	10 ± 20 %
174	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	hits/misses/false hits	76/ 24/ 22 %
179	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	4,8 ± 3,1 sek
	Zusammenfassung:	3,67		0,2528	0,7500	Bedienfehler	14 ± 34,5 %
						Kontrollfragen	90 ± 13,4 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	69/ 4 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 12ü: $3 < TSS < 4$; $LIP = 1$; $0,8 < TO < 1,0$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	56 ± 34,5 %
2	Meldung2 (Einfahrtssignal)	0,67	1	0,0056	0,0167	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	52 ± 39,3 %
6	Quittieren	0,50	1	0,0028	0,0083	Ist Bearbeitungszeit	23 ± 11,5 %
8	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	etwas
13	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
16	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	-5 ± 23,5 %
21	Z4_1 Identifizieren der vormarkierten Listeneinträge	1,00	1	0,0139	0,0417	PSD LF norm	-5 ± 19,3 %
31	Aktualisieren des Datums der vormarkierten Einträge	0,00	1	0,0556	0,1667	PSD HF norm	10 ± 41 %
71	Prozessüberwachung	1,00	1	0,1986	0,5958	PSD LF/HF ratio	-12 ± 49,4 %
214	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	Pupillengröße	2 ± 12 %
219	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	APCPS	2 ± 12 %
222	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	hits/misses/false hits	74/ 26/ 28 %
227	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	8,1 ± 16,2 sek
	Zusammenfassung:	3,67		0,3194	0,9500	Bedienfehler	7 ± 25,3 %
						Kontrollfragen	72 ± 27,6 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	68/ 5 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 13ü: 4<TSS<5; LIP=1; 0,0<TO<0,2

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
						Messwert	Abweichung
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	2 ± 12,4 %
2	Meldung1 (Beleuchtung)	0,67	1	0,0028	0,0083	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	55 ± 291,3 %
4	Quittieren	0,50	1	0,0014	0,0042	Ist Bearbeitungszeit	147 ± 77,7 %
5	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	etwas
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
12	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	-5 ± 23,5 %
15	Z1_1 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	PSD LF norm	-5 ± 17,6 %
20	Anmeldung vermerken	1,00	1	0,0069	0,0208	PSD HF norm	16 ± 51,1 %
25	Bestätigen	1,00	1	0,0028	0,0083	PSD LF/HF ratio	-27 ± 35,6 %
27	Prozessüberwachung	0,50	1	0,0056	0,0167	Pupillengröße	-1 ± 12,2 %
31	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	APCPS	-1 ± 12,2 %
36	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	hits/misses/false hits ²	69/ 35/ 25 %
39	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	mittlere Reaktionszeit	3,8 ± 2,7 sek
44	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	Bedienfehler	7 ± 25,3 %
	Zusammenfassung:	4,17		0,0653	0,1875	Kontrollfragen	88 ± 24,7 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	58/ 24 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

² Abweichung von 100 % für hits und misses, da ggf. keine zu protokollierende Änderung bei kurzer Pegelausgleichszeit

Aufgabe 14ü: $4 < TSS < 5$; $LIP = 1$; $0,2 < TO < 0,4$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	35 ± 33,9 %
2	Meldung1 (Beleuchtung)	0,67	1	0,0028	0,0083	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	25 ± 34,1 %
4	Quittieren	0,50	1	0,0014	0,0042	Ist Bearbeitungszeit	58 ± 29,2 %
5	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	etwas
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
12	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	-9 ± 26,9 %
15	Z1_1 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	PSD LF norm	-8 ± 15,4 %
20	Anmeldung vermerken	1,00	1	0,0069	0,0208	PSD HF norm	9 ± 32,6 %
25	Bestätigen	1,00	1	0,0028	0,0083	PSD LF/HF ratio	-16 ± 44,5 %
27	Prozessüberwachung	0,50	1	0,0597	0,1792	Pupillengröße	-2 ± 10,9 %
70	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	APCPS	-4 ± 7 %
75	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	hits/misses/false hits	71/ 29/ 20 %
78	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	mittlere Reaktionszeit	4,2 ± 2,9 sek
83	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	Bedienfehler	0 ± 0 %
	Zusammenfassung:	4,17		0,1194	0,3500	Kontrollfragen	84 ± 18,4 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	77/ 20 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 15ü: $4 < TSS < 5$; $LIP = 1$; $0,8 < TO < 1,0$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	59 ± 23,4 %
2	Meldung1 (Beleuchtung)	0,67	1	0,0028	0,0083	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	112 ± 15 %
4	Quittieren	0,50	1	0,0014	0,0042	Ist Bearbeitungszeit	23 ± 10,1 %
5	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	rating scale of mental effort*°	eher viel
7	Einfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
12	Tor schließen und Schleusung startet automatisch	0,00	1	0,0069	0,0208	HRV	-7 ± 24,2 %
15	Z1_1 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	PSD LF norm	-1 ± 8,7 %
20	Anmeldung vermerken	1,00	1	0,0069	0,0208	PSD HF norm	1 ± 30,2 %
25	Bestätigen	1,00	1	0,0028	0,0083	PSD LF/HF ratio	-22 ± 25,7 %
27	Prozessüberwachung	0,50	1	0,2597	0,7792	Pupillengröße	-3 ± 15,1 %
214	Tor öffnen	0,00	1	0,0069	0,0208	APCPS	-3 ± 15,3 %
219	Ausfahrt Grün	0,00	1	0,0042	0,0125	hits/misses/false hits	77/ 23/ 20 %
222	Tor schließen	0,00	1	0,0069	0,0208	mittlere Reaktionszeit	4,3 ± 1,9 sek
227	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,50	1	0,0014	0,0042	Bedienfehler	10 ± 30,5 %
	Zusammenfassung:	4,17		0,3194	0,9500	Kontrollfragen	79 ± 14,1 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	94/ 1 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 16o: $0 < TSS < 1$; $LIP = 2$; $0,0 < TO < 0,2$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0 \%$
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0 \%$
7	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$41 \pm 23,1 \%$
10	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*	ein wenig
15	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
16	Prozessüberwachung	0,00	2	0,0167	0,0250	HRV	$-3 \pm 24,5 \%$
22	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD LF norm	$-7 \pm 16,8 \%$
27	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD HF norm	$4 \pm 28,3 \%$
30	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD LF/HF ratio	$-31 \pm 31,5 \%$
35	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	Pupillengröße	$-2 \pm 14,6 \%$
	Zusammenfassung:	0,67		0,0986	0,1500	APCPS	$-1 \pm 14,6 \%$
						hits/misses/false hits ²	67/ 6/ 38 %
						mittlere Reaktionszeit	$1,8 \pm 1,5 \text{ sek}$
						Bedienfehler	$21 \pm 40,5 \%$

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

² Abweichung von 100 % für hits und misses, da ggf. keine zu protokollierende Änderung bei kurzer Pegelausgleichszeit

Aufgabe 17o: $0 < TSS < 1$; $LIP = 2$; $0,2 < TO < 0,4$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0 \%$
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0 \%$
7	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$12 \pm 3,6 \%$
10	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*	ein wenig
15	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
16	Prozessüberwachung	0,00	2	0,1500	0,2250	HRV	$-1 \pm 26,1 \%$
70	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD LF norm	$-1 \pm 14 \%$
75	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD HF norm	$10 \pm 34,3 \%$
78	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD LF/HF ratio	$-8 \pm 46,5 \%$
83	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	Pupillengröße	$-7 \pm 11,1 \%$
	Zusammenfassung:	0,67		0,2319	0,3500	APCPS	$-6 \pm 11,1 \%$
						hits/misses/false hits	89/ 11/ 12 %
						mittlere Reaktionszeit	$1,6 \pm 0,8 \text{ sek}$
						Bedienfehler	$17 \pm 37,8 \%$

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 18o: $0 < TSS < 1$; $LIP = 2$; $0,4 < TO < 0,6$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0 \%$
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0 \%$
7	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$11 \pm 6,5 \%$
10	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*	etwas
15	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
16	Prozessüberwachung	0,00	2	0,2833	0,4250	HRV	$7 \pm 17,3 \%$
118	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD LF norm	$-14 \pm 25,3 \%$
123	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD HF norm	$30 \pm 48,3 \%$
126	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD LF/HF ratio	$-36 \pm 37,8 \%$
131	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	Pupillengröße	$-5 \pm 12,5 \%$
	Zusammenfassung:	0,67		0,3653	0,5500	APCPS	$-5 \pm 12,6 \%$
						hits/misses/false hits	93/ 7/ 5 %
						mittlere Reaktionszeit	$2,3 \pm 3,6 \text{ sek}$
						Bedienfehler	$14 \pm 35 \%$

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 19u: $0 < TSS < 1$; $LIP = 2$; $0,8 < TO < 1,0$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0 \%$
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0 \%$
7	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$9 \pm 6 \%$
10	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*°	ein wenig
15	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ unterfordernd
16	Prozessüberwachung	0,00	2	0,5500	0,8250	HRV	$8 \pm 50,7 \%$
214	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD LF norm	$-13 \pm 17,4 \%$
219	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD HF norm	$21 \pm 39,2 \%$
222	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD LF/HF ratio	$-53 \pm 14,2 \%$
227	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	Pupillengröße	$-2 \pm 14,7 \%$
	Zusammenfassung:	0,67		0,6319	0,9500	APCPS	$-2 \pm 14,9 \%$
						hits/misses/false hits	93/ 7/ 24 %
						mittlere Reaktionszeit	$1,9 \pm 1,8 \text{ sek}$
						Bedienfehler	$10 \pm 30,5 \%$

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 20o: $1 < TSS < 2$; $LIP = 2$; $0,0 < TO < 0,2$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	7 ± 38,7 %
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	17 ± 91 %
4	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	83 ± 41,2 %
9	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*	etwas
12	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
17	Z5_2 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	HRV	-8 ± 27,6 %
18	Anfordern Berechtigungscode	0,33	3	0,0125	0,0125	PSD LF norm	-4 ± 0,1 %
21	Prüfen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD HF norm	5 ± 14,2 %
26	schnellstmgl. Freigabeentscheidung	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD LF/HF ratio	-42 ± 23,3 %
29	Prozessüberwachung	0,33	2	0,0111	0,0167	Pupillengröße	-2 ± 11,2 %
33	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	APCPS	-1 ± 11,2 %
38	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	hits/misses/false hits	58/ 42/ 39 %
41	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	mittlere Reaktionszeit	3,6 ± 3,3 sek
46	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	Bedienfehler	0 ± 0 %
	Zusammenfassung:	1,33		0,1306	0,1958	Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	35/ 56 %

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 21o: $1 < TSS < 2$; $LIP = 2$; $0,4 < TO < 0,6$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	61 ± 95,9 %
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	2 ± 5 %
4	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	21 ± 12,4 %
9	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*	eher viel
12	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
17	Z5_2 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	HRV	-11 ± 30,4 %
18	Anfordern Berechtigungscode	0,33	3	0,0125	0,0125	PSD LF norm	3 ± 21,5 %
21	Prüfen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD HF norm	1 ± 38,9 %
26	schnellstmgl. Freigabeentscheidung	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD LF/HF ratio	9 ± 54,8 %
29	Prozessüberwachung	0,33	2	0,2472	0,3708	Pupillengröße	-3 ± 14,5 %
118	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	APCPS	-3 ± 14,3 %
123	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	hits/misses/false hits	66/ 34/ 14 %
126	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	mittlere Reaktionszeit	4,9 ± 3,4 sek
131	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	Bedienfehler	11 ± 30,9 %
	Zusammenfassung:	1,33		0,3667	0,5500	Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	49/ 28 %

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 22ü: $1 < TSS < 2$; $LIP = 2$; $0,6 < TO < 0,8$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	91 ± 105 %
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	13 ± 21,1 %
4	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	20 ± 9,7 %
9	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*°	eher viel
12	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
17	Z5_2 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	HRV	-11 ± 24,2 %
18	Anfordern Berechtigungscode	0,33	3	0,0125	0,0125	PSD LF norm	-9 ± 23,6 %
21	Prüfen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD HF norm	21 ± 35,8 %
26	schnellstmgl. Freigabeentscheidung	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD LF/HF ratio	-41 ± 24,8 %
29	Prozessüberwachung	0,33	2	0,3806	0,5708	Pupillengröße	2 ± 15,2 %
166	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	APCPS	2 ± 15 %
171	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	hits/misses/false hits	76/ 24/ 15 %
174	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	mittlere Reaktionszeit	6,5 ± 7,5 sek
179	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	Bedienfehler	21 ± 41 %
	Zusammenfassung:	1,33		0,5000	0,7500	Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	50/ 28 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 23o: $2 < TSS < 3$; $LIP = 2$; $0,4 < TO < 0,6$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0 \%$
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0 \%$
7	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$28 \pm 12 \%$
10	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*	erheblich
15	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
16	Z3 2 Daten aus Verkehrsstatistik suchen	0,67	2	0,0278	0,0417	HRV	$1 \pm 31,4 \%$
26	Daten analysieren	0,00	2	0,1250	0,1875	PSD LF norm	$-1 \pm 9,4 \%$
71	Statistik ausfüllen	0,50	2	0,0833	0,1250	PSD HF norm	$0 \pm 25,8 \%$
101	Prozessüberwachung	1,00	2	0,0472	0,0708	PSD LF/HF ratio	$-19 \pm 26,4 \%$
118	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	Pupillengröße	$3 \pm 14,5 \%$
123	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	APCPS	$5 \pm 16,3 \%$
126	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	hits/misses/false hits	61/ 39/ 20 %
131	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	$5,7 \pm 3,3 \text{ sek}$
	Zusammenfassung:	2,83		0,3653	0,5500	Bedienfehler	$7 \pm 25,8 \%$
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	33/ 36 %

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 24o: $3 < TSS < 4$; $LIP = 2$; $0,0 < TO < 0,2$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	7 ± 23,4 %
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	6 ± 20,7 %
7	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	99 ± 50 %
10	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*	etwas
15	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
16	Z4_2 Ansicht sortieren nach Datum	1,00	1	0,0028	0,0083	HRV	9 ± 35 %
18	Datum vergleichen	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD LF norm	-4 ± 12,3 %
21	Markieren der Zellen	0,50	2	0,0139	0,0208	PSD HF norm	6 ± 35,8 %
26	Prozessüberwachung	1,00	2	0,0111	0,0167	PSD LF/HF ratio	-17 ± 39 %
30	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	Pupillengröße	1 ± 15,4 %
35	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	APCPS	1 ± 15,3 %
38	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	hits/misses/false hits	62/ 38/ 4 %
43	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	3,9 ± 3,5 sek
	Zusammenfassung:	3,17		0,1181	0,1833	Bedienfehler	11 ± 31,4 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	42/ 42 %

Aufgabe 25o: $3 < TSS < 4$; $LIP = 2$; $0,2 < TO < 0,4$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	38 ± 44,2 %
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	8 ± 11,5 %
7	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	35 ± 18,8 %
10	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*	etwas
15	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
16	Z4_2 Ansicht sortieren nach Datum	1,00	1	0,0028	0,0083	HRV	-7 ± 27,6 %
18	Datum vergleichen	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD LF norm	-1 ± 18,1 %
21	Markieren der Zellen	0,50	2	0,0139	0,0208	PSD HF norm	3 ± 32,8 %
26	Prozessüberwachung	1,00	2	0,1222	0,1833	PSD LF/HF ratio	-8 ± 39 %
70	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	Pupillengröße	-3 ± 16,9 %
75	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	APCPS	-3 ± 17 %
78	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	hits/misses/false hits	77/ 23/ 25 %
83	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	5,2 ± 3,6 sek
	Zusammenfassung:	3,17		0,2292	0,3500	Bedienfehler	18 ± 38,3 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	42/ 38 %

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 26ü: 3<TSS<4; LIP=2; 0,4<TO<0,6

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	54 ± 43,6 %
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	17 ± 16,9 %
7	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	20 ± 6,4 %
10	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*°	eher viel
15	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	überfordernd/ überfordernd
16	Z4_2 Ansicht sortieren nach Datum	1,00	1	0,0028	0,0083	HRV	-1 ± 27,3 %
18	Datum vergleichen	0,00	2	0,0083	0,0125	PSD LF norm	-2 ± 25,3 %
21	Markieren der Zellen	0,50	2	0,0139	0,0208	PSD HF norm	16 ± 59,7 %
26	Prozessüberwachung	1,00	2	0,2556	0,3833	PSD LF/HF ratio	-27 ± 38,4 %
118	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	Pupillengröße	5 ± 12,1 %
123	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	APCPS	5 ± 12 %
126	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	hits/misses/false hits	67/ 33/ 15 %
131	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	mittlere Reaktionszeit	5,9 ± 4,7 sek
	Zusammenfassung:	3,17		0,3625	0,5500	Bedienfehler	0 ± 0 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	51/ 43 %
						Matheaufgaben richtig	94 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 27ü: 4<TSS<5; LIP=2; 0,0<TO<0,2

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	0 ± 0 %
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	0 ± 0 %
4	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	96 ± 39,3 %
9	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*°	eher viel
12	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
17	Z1_2 Signal erscheint	0,50	1	0,0028	0,0083	HRV	-1 ± 35,6 %
18	Berechtigung prüfen	1,00	1	0,0042	0,0125	PSD LF norm	0 ± 19,7 %
21	Anmeldung eintragen	0,50	2	0,0056	0,0083	PSD HF norm	6 ± 34,9 %
23	Freigabe erteilen	0,50	2	0,0028	0,0042	PSD LF/HF ratio	-7 ± 47,7 %
24	Anlagenteil sperren	0,33	2	0,0056	0,0083	Pupillengröße	2 ± 11,4 %
26	Prozessüberwachung	0,75	2	0,0111	0,0167	APCPS	2 ± 10,6 %
30	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	hits/misses/false hits	67/ 33/ 30 %
35	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	mittlere Reaktionszeit	4,7 ± 3,1 sek
38	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	Bedienfehler	21 ± 41 %
43	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	66/ 26 %
	Zusammenfassung:	4,25		0,1139	0,1833	Matheaufgaben richtig	91 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 28ü: 4<TSS<5; LIP=2; 0,2<TO<0,4

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	2	0,0056	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	7 ± 20,3 %
2	Tor öffnen	0,33	2	0,0139	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	11 ± 48,6 %
4	Einfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	55 ± 31,2 %
9	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	rating scale of mental effort*°	eher viel
12	Schleusung starten	0,00	2	0,0028	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
17	Z1_2 Signal erscheint	0,50	1	0,0028	0,0083	HRV	0 ± 25,7 %
18	Berechtigung prüfen	1,00	1	0,0042	0,0125	PSD LF norm	3 ± 13,7 %
21	Anmeldung eintragen	0,50	2	0,0056	0,0083	PSD HF norm	4 ± 27 %
23	Freigabe erteilen	0,50	2	0,0028	0,0042	PSD LF/HF ratio	-18 ± 40,9 %
24	Anlagenteil sperren	0,33	2	0,0056	0,0083	Pupillengröße	5 ± 15,8 %
26	Prozessüberwachung	0,75	2	0,1222	0,1833	APCPS	4 ± 14,3 %
70	Tor öffnen	0,00	2	0,0139	0,0208	hits/misses/false hits	60/ 40/ 21 %
75	Ausfahrt Grün	0,00	2	0,0083	0,0125	mittlere Reaktionszeit	5,2 ± 2,7 sek
78	Tor schließen	0,00	2	0,0139	0,0208	Bedienfehler	17 ± 37,8 %
83	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,33	1	0,0014	0,0042	Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	42/ 36 %
	Zusammenfassung:	4,25		0,2250	0,3500	Matheaufgaben richtig	90 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 29o: $0 < TSS < 1$; LIP=3; $0,0 < TO < 0,2$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0 \%$
2	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0 \%$
7	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$85 \pm 58,9 \%$
10	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*	etwas
17	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	überfordernd/ überfordernd
18	Prozessüberwachung	0,25	3	0,0167	0,0167	HRV	$9 \pm 37,8 \%$
22	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	PSD LF norm	$-7 \pm 21,8 \%$
27	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	PSD HF norm	$30 \pm 60,9 \%$
30	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	PSD LF/HF ratio	$-20 \pm 53,7 \%$
35	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	Pupillengröße	$-5 \pm 9,3 \%$
	Zusammenfassung:	1,00		0,1416	0,1416	APCPS	$-5 \pm 9,3 \%$
						hits/misses/false hits ²	33/ 10/ 58 %
						mittlere Reaktionszeit	$0,8 \pm 1,3 \text{ sek}$
						Bedienfehler	$29 \pm 45,2 \%$

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

² Abweichung von 100 % für hits und misses, da ggf. keine zu protokollierende Änderung bei kurzer Pegelausgleichszeit

Aufgabe 30ü: $0 < TSS < 1$; $LIP = 3$; $0,4 < TO < 0,6$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0 \%$
2	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0 \%$
7	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$16 \pm 7,8 \%$
10	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*°	etwas
17	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
18	Prozessüberwachung	0,25	3	0,4208	0,4208	HRV	$14 \pm 41,9 \%$
119	Tor öffnen	0,25	3	0,0167	0,0167	PSD LF norm	$-7 \pm 16,1 \%$
123	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	PSD HF norm	$22 \pm 47,5 \%$
126	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	PSD LF/HF ratio	$-33 \pm 32,7 \%$
131	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	Pupillengröße	$3 \pm 14,1 \%$
	Zusammenfassung:	1,00		0,5416	0,5416	APCPS	$2 \pm 12,9 \%$
						hits/misses/false hits	88/ 12/ 10 %
						mittlere Reaktionszeit	$2,8 \pm 1,7 \text{ sek}$
						Bedienfehler	$24 \pm 42,8 \%$
						Matheaufgaben richtig	95 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 31ü: $0 < TSS < 1$; LIP=3; $0,8 < TO < 1,0$

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	$0 \pm 0 \%$
2	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	$0 \pm 0 \%$
7	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	$9 \pm 5,5 \%$
10	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*°	etwas
17	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
18	Prozessüberwachung	0,25	3	0,8208	0,8208	HRV	$-13 \pm 30 \%$
215	Tor öffnen	0,25	3	0,0167	0,0167	PSD LF norm	$1 \pm 14,7 \%$
219	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	PSD HF norm	$-1 \pm 25,5 \%$
222	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	PSD LF/HF ratio	$-21 \pm 38,7 \%$
227	Schiff ins Verkehrstagesbuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	Pupillengröße	$0 \pm 14,9 \%$
	Zusammenfassung:	1,00		0,9416	0,9416	APCPS	$0 \pm 14,8 \%$
						hits/misses/false hits	91/ 9/ 13 %
						mittlere Reaktionszeit	$2,7 \pm 1,4 \text{ sek}$
						Bedienfehler	$17 \pm 37,8 \%$
						Matheaufgaben richtig	97 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 32o: 1<TSS<2; LIP=3; 0,2<TO<0,4

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	116 ± 100 %
2	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	11 ± 12,1 %
4	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	31 ± 16,3 %
9	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*	etwas
17	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	Bewertung*: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ optimal (unkrit)
19	Z5_3 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	HRV	-10 ± 23,3 %
20	Anfordern Berechtigungscode	0,25	3	0,0125	0,0125	PSD LF norm	-8 ± 15,8 %
23	Prüfen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD HF norm	15 ± 33,5 %
28	Identifizieren des Grundes für Zugang aus Berechtigungscode	0,00	3	0,0417	0,0417	PSD LF/HF ratio	-33 ± 30,5 %
38	Kontrolle Verfahrensanweisung	0,00	3	0,0833	0,0833	Pupillengröße	-3 ± 11,9 %
58	schnellstmgl. Freigabeentscheidung	0,00	3	0,0125	0,0125	APCPS	-3 ± 11,7 %
61	Prozessüberwachung	0,40	3	0,0417	0,0417	hits/misses/false hits	78/ 22/ 14 %
71	Tor öffnen	0,25	3	0,0167	0,0167	mittlere Reaktionszeit	3,7 ± 3,1 sek
75	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Bedienfehler	14 ± 35 %
78	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	61/ 13 %
83	Schiff ins Verkehrsagebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042		
	Zusammenfassung:	1,40		0,3292	0,3416		

*Medianwerte, absolut (ohne Baseline)

Aufgabe 33ü: 1<TSS<2; LIP=3; 0,4<TO<0,6

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	144 ± 91,3 %
2	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	16 ± 12,3 %
4	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	29 ± 19,5 %
9	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*°	eher viel
17	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
19	Z5_3 Signal erscheint	0,00	1	0,0028	0,0083	HRV	7 ± 28,5 %
20	Anfordern Berechtigungscode	0,25	3	0,0125	0,0125	PSD LF norm	-6 ± 19 %
23	Prüfen	0,00	2	0,0139	0,0208	PSD HF norm	-3 ± 29,1 %
28	Identifizieren des Grundes für Zugang aus Berechtigungscode	0,00	3	0,0417	0,0417	PSD LF/HF ratio	-12 ± 43,9 %
38	Kontrolle Verfahrensanweisung	0,00	3	0,0833	0,0833	Pupillengröße	0 ± 13,7 %
58	schnellstmgl. Freigabeentscheidung	0,00	3	0,0125	0,0125	APCPS	2 ± 15,7 %
61	Prozessüberwachung	0,40	3	0,2417	0,2417	hits/misses/false hits	70/ 30/ 20 %
119	Tor öffnen	0,25	3	0,0167	0,0167	mittlere Reaktionszeit	4,9 ± 3 sek
123	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Bedienfehler	18 ± 38,3 %
126	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	62/ 14 %
131	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	Matheaufgaben richtig	93 %
	Zusammenfassung:	1,40		0,5292	0,5416		

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 34ü: 2<TSS<3; LIP=3; 0,0<TO<0,2

Zeit- stem- pel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Base- line über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	0 ± 0 %
2	Meldung3 (Not-Halt Datenverbindung)	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist-Ebene der Informati- onsverarbeitung	0 ± 0 %
7	Quittieren	0,75	1	0,0028	0,0083	Ist Bearbeitungszeit	130 ± 57,8 %
10	Tor öffnen	0,67	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*°	etwas
15	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (un- krit)/ überfor- dernd
17	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	HRV	4 ± 34,4 %
21	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	PSD LF norm	0 ± 20,5 %
23	Prozessüberwachung	0,25	3	0,0167	0,0167	PSD HF norm	9 ± 42,8 %
27	Tor öffnen	0,25	3	0,0167	0,0167	PSD LF/HF ratio	-1 ± 58,3 %
31	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Pupillengröße	0 ± 16 %
34	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	APCPS	0 ± 16 %
39	Schiff ins Verkehrsta- gebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	hits/misses/false hits ²	30/ 22/ 67 %
	Zusammenfassung:	2,17		0,1528	0,1584	mittlere Reaktionszeit	1 ± 1,4 sek
						Bedienfehler	14 ± 34,5 %
						Kontrollfragen	79 ± 16,1 %
						Matheaufgaben richtig	96 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

² Abweichung von 100 % für hits und misses, da ggf. keine zu protokollierende Änderung bei kurzer Pegelausgleichszeit

Aufgabe 35ü: 2<TSS<3; LIP=3; 0,2<TO<0,4

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	0 ± 0 %
2	Meldung3 (Not-Halt Datenverbindung)	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	0 ± 0 %
7	Quittieren	0,75	1	0,0028	0,0083	Ist Bearbeitungszeit	57 ± 21,3 %
10	Tor öffnen	0,67	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*°	etwas
15	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
17	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	HRV	-2 ± 21,4 %
21	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	PSD LF norm	0 ± 25,1 %
23	Prozessüberwachung	0,25	3	0,1958	0,1958	PSD HF norm	15 ± 49,3 %
70	Tor öffnen	0,25	3	0,0167	0,0167	PSD LF/HF ratio	-3 ± 54 %
74	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Pupillengröße	4 ± 13,4 %
77	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	APCPS	4 ± 13,6 %
82	Schiff ins Verkehrstaugebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	hits/misses/false hits	87/ 13/ 23 %
	Zusammenfassung:	2,17		0,3320	0,3375	mittlere Reaktionszeit	3,3 ± 1,8 sek
						Bedienfehler	24 ± 42,8 %
						Kontrollfragen	77 ± 18,3 %
						Matheaufgaben richtig	100 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 36ü: 2<TSS<3; LIP=3; 0,4<TO<0,6

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	46 ± 51,2 %
2	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	10 ± 13,5 %
7	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	30 ± 16,6 %
10	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*°	sehr stark
17	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	überfordernd/ überfordernd
18	Z3_3 Problembe- schreibung lesen: Müllabfuhr, Ladezu- stand der kabellosen Telefone	0,00	3	0,0625	0,0625	HRV	-4 ± 21,8 %
33	Lösung/ Alternative überlegen	0,00	3	0,1875	0,1875	PSD LF norm	2 ± 6,9 %
78	Lösung/ Alternative beschreiben	1,00	2	0,0833	0,1250	PSD HF norm	-10 ± 20 %
108	Prozessüberwachung	1,00	3	0,0417	0,0417	PSD LF/HF ratio	-6 ± 27,4 %
118	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Pupillengröße	12 ± 21,4 %
123	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	APCPS	12 ± 21,2 %
126	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	hits/misses/false hits	69/ 31/ 23 %
131	Schiff ins Verkehrsta- gebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	mittlere Reaktionszeit	6,4 ± 4 sek
	Zusammenfassung:	2,75		0,5000	0,5416	Bedienfehler	21 ± 40,5 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	60/ 26 %
						Matheaufgaben richtig	90 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 37ü: 2<TSS<3; LIP=3; 0,8<TO<1,0

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	67 ± 48,9 %
2	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	18 ± 15,6 %
7	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	15 ± 7,4 %
10	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*°	sehr stark
17	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	überfordernd/ überfordernd
18	Z3_3 Problembe- schreibung lesen: Müllabfuhr, Ladezu- stand der kabellosen Telefone	0,00	3	0,0625	0,0625	HRV	-4 ± 35 %
33	Lösung/ Alternative überlegen	0,00	3	0,1875	0,1875	PSD LF norm	3 ± 17,7 %
78	Lösung/ Alternative beschreiben	1,00	2	0,0833	0,1250	PSD HF norm	3 ± 39,9 %
108	Prozessüberwachung	1,00	3	0,4417	0,4417	PSD LF/HF ratio	-1 ± 47,2 %
214	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Pupillengröße	10 ± 16,4 %
219	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	APCPS	10 ± 16,4 %
222	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	hits/misses/false hits	69/ 31/ 12 %
227	Schiff ins Verkehrsta- gebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	mittlere Reaktionszeit	5,5 ± 2,7 sek
	Zusammenfassung	2,75		0,9000	0,9416	Bedienfehler	21 ± 40,5 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	74/ 0 %
						Matheaufgaben richtig	87 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 38ü: 4<TSS<5; LIP=3; 0,0<TO<0,2

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	0 ± 0 %
2	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	0 ± 0 %
7	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist Bearbeitungszeit	220 ± 75,5 %
10	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	rating scale of mental effort*°	eher viel
17	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	optimal (unkrit)/ überfordernd
18	Meldung3 (Not-Halt Datenverbindung)	0,25	3	0,0125	0,0125	HRV	1 ± 30,5 %
21	Quittieren	0,75	1	0,0028	0,0083	PSD LF norm	-8 ± 12,2 %
23	Prozessüberwachung	0,75	3	0,0167	0,0167	PSD HF norm	24 ± 49,7 %
27	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	PSD LF/HF ratio	-32 ± 29,8 %
32	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Pupillengröße	7 ± 21,4 %
35	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	APCPS	7 ± 21,6 %
40	Meldung4 (Not-Halt Tor)	0,25	3	0,0125	0,0125	hits/misses/false hits ²	50/ 42/ 63 %
43	Quittieren	0,75	1	0,0028	0,0083	mittlere Reaktionszeit	3 ± 2,9 sek
45	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,75	3	0,0042	0,0042	Bedienfehler	28 ± 44,7 %
	Zusammenfassung:	4,00		0,1723	0,1834	Kontrollfragen	67 ± 22,3 %
						Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	82/ 14 %
						Matheaufgaben richtig	86 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

² Abweichung von 100 % für hits und misses, da ggf. keine zu protokollierende Änderung bei kurzer Pegelausgleichszeit

Aufgabe 39ü: 4<TSS<5; LIP=3; 0,4<TO<0,6

Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS ids	LIP	LIP norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	11 ± 24,9 %
2	Meldung3 (Not-Halt Datenverbindung)	0	3	0,0125	0,0125	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	8 ± 28,9 %
5	Quittieren	0,75	1	0,0028	0,0083	Ist Bearbeitungszeit	61 ± 22,5 %
7	Z1_3 Störungsmeldung erscheint	0,67	1	0,0028	0,0083	rating scale of mental effort*°	sehr stark
9	Störungsmeldung quittieren	0,67	3	0,0042	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	überfordernd/ überfordernd
10	Tor öffnen	0,67	3	0,0208	0,0208	HRV	-19 ± 34,3 %
15	Einfahrt Grün	0	3	0,0125	0,0125	PSD LF norm	6 ± 21,9 %
18	Tor schließen	0	3	0,0208	0,0208	PSD HF norm	-18 ± 20,3 %
25	Schleusung starten	0	3	0,0042	0,0042	PSD LF/HF ratio	9 ± 58,3 %
26	Dokumentieren	0,25	3	0,1667	0,1667	Pupillengröße	1 ± 11,3 %
66	Lösung erarbeiten/ vorschlagen	0,4	3	0,1667	0,1667	APCPS	1 ± 11,2 %
106	Prozessüberwachung	0,4	3	0,0500	0,0500	hits/misses/false hits	66/ 34/ 16 %
118	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	mittlere Reaktionszeit	6,5 ± 3 sek
123	Ausfahrt Grün	0	3	0,0125	0,0125	Bedienfehler	28 ± 44,7 %
126	Tor schließen	0	3	0,0208	0,0208	Kontrollfragen	68 ± 24,7 %
131	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	38/ 53 %
	Zusammenfassung:	4,30		0,5306	0,5416	Matheaufgaben richtig	92 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

Aufgabe 40ü: Bereich 4<TSS<5; LIP=3; 0,8<TO<1,0

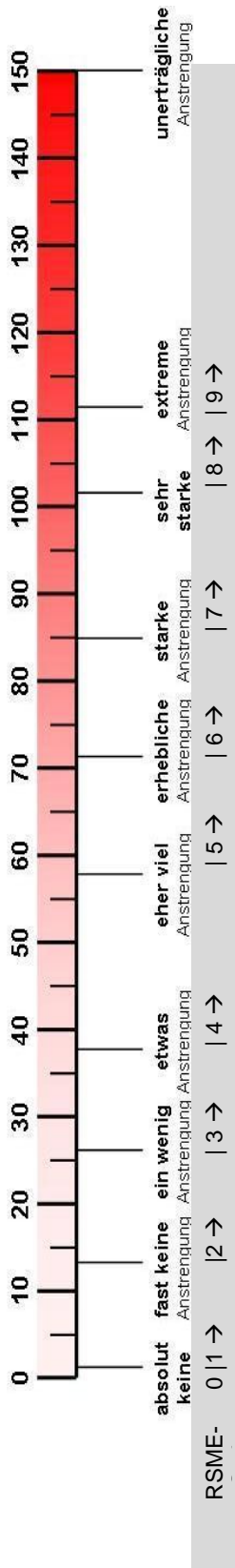
Zeitstempel [sek]	Prozessschritt	TSS_ids	LIP	LIP_norm	TO	Auswertung (Mittelwerte als Abweichung zur Baseline über alle Versuchspersonen)	
0	Schleusungsanmeldung eines Schiffs annehmen	0,00	3	0,0083	0,0083	Ist Aufgabensetwechsel	34 ± 32,9 %
2	Meldung3 (Not-Halt Datenverbindung)	0,00	3	0,0125	0,0125	Ist-Ebene der Informationsverarbeitung	9 ± 11,2 %
5	Quittieren	0,75	1	0,0028	0,0083	Ist Bearbeitungszeit	41 ± 15,6 %
7	Z1_3 Störungsmeldung erscheint	0,67	1	0,0028	0,0083	rating scale of mental effort*°	sehr stark
9	Quittieren	0,67	3	0,0042	0,0042	Bewertung*^: Ist/ Soll	überfordernd/ überfordernd
10	Tor öffnen	0,67	3	0,0208	0,0208	HRV	-3 ± 28,9 %
15	Einfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	PSD LF norm	-3 ± 10,4 %
18	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	PSD HF norm	7 ± 25,4 %
25	Schleusung starten	0,00	3	0,0042	0,0042	PSD LF/HF ratio	-14 ± 34,2 %
26	Dokumentieren	0,25	3	0,1667	0,1667	Pupillengröße	3 ± 9,4 %
66	Lösung erarbeiten/ vorschlagen	0,40	3	0,1667	0,1667	APCPS	3 ± 9,4 %
106	Prozessüberwachung	0,40	3	0,4500	0,4500	hits/misses/false hits	74/ 26/ 15 %
214	Tor öffnen	0,25	3	0,0208	0,0208	mittlere Reaktionszeit	5,6 ± 2,7 sek
219	Ausfahrt Grün	0,00	3	0,0125	0,0125	Bedienfehler	34 ± 47,5 %
222	Tor schließen	0,00	3	0,0208	0,0208	Kontrollfragen	81 ± 14,3 %
227	Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen	0,25	3	0,0042	0,0042	Zusatzaufgaben: richtig/ nicht bearbeitet	56/ 5 %
	Zusammenfassung:	4,30	3	0,9400	0,9416	Matheaufgaben richtig	90 %

*absolut (ohne Baseline), ° Medianwert, ^Modus

16 Dundee Stress State Questionnaire short

	Trifft im Moment überhaupt nicht zu	Trifft im Moment eher nicht zu	Momentan weder unzutreffend noch zutreffend	Trifft im Moment eher zu	Trifft im Moment völlig zu
	0	1	2	3	4
1. Ich Sorge mich um den Eindruck, den ich mache.					
2. Ich fühle mich entspannt.					
3. Der Inhalt der Aufgabe wird langweilig sein.					
4. Ich denke darüber nach, wie andere meine Leistung beurteilen könnten.					
5. Ich bin entschlossen, die Aufgabe erfolgreich zu bewältigen.					
6. Ich fühle mich angespannt.					
7. Ich mache mir Sorgen darüber, was andere von mir denken.					
8. Ich denke darüber nach, wie ich mich fühlen würde, wenn ich gesagt bekäme, wie meine Leistung in der Aufgabe ist.					
9. Im Allgemeinen habe ich das Gefühl, Herr der Lage zu sein.					
10. Ich sinne über mich selbst nach.					
11. Meine Aufmerksamkeit wird auf die Aufgabe gerichtet sein.					
12. Ich wälze Gedanken über mich selbst.					
13. Ich fühle mich energiegeladener.					
14. Ich denke über Dinge nach, die mir in der Vergangenheit passierten.					
15. Ich denke darüber nach, wie andere diese Aufgabe bewältigen würden.					
16. Ich denke an etwas, das heute passiert ist.					
17. Ich erwarte, dass die Aufgabe zu schwierig für mich sein wird.					
18. Es wird mir schwer fallen, meine Konzentration bei der Aufgabe zu halten.					
19. Ich denke über persönliche Angelegenheiten und Belange nach.					
20. Ich fühle mich zuversichtlich hinsichtlich meiner Leistung in der Aufgabe.					
21. Ich prüfe meine Beweggründe.					
22. Ich kann mit allen Schwierigkeiten umgehen, die mir begegnen können.					
23. Ich denke daran, wie ich ähnliche Aufgaben in der Vergangenheit erledigte.					
24. Ich reflektiere über meine Gründe, die Aufgabe zu machen.					
25. Ich bin motiviert, mich bei der Aufgabe anzustrengen.					
26. Ich denke über Dinge nach, die mir wichtig sind.					
27. Ich fühle mich unbehaglich.					
28. Ich fühle mich müde.					
29. Ich habe das Gefühl, die Situation nicht erfolgreich bewältigen zu können.					
30. Ich fühle mich gelangweilt.					

17 RSME und subjektive Bewertung



Bitte schätzen ein Sie, wie hoch Ihre Anstrengung während der letzten 5 Minuten war:

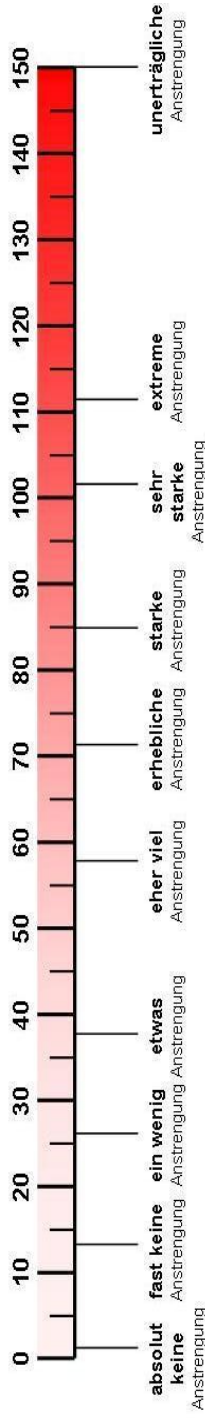
Format:
Zahl

Bitte bewerten Sie diese Anstrengung auf Unterforderung, optimale Anstrengung oder Überforderung:

Format:
u | o | ü

18 RSME Gewöhnung

Im Laufe des Versuches werden Sie wiederholt gefragt werden, wie anstrengend die Situation gerade ist. Hierbei steht die mentale Anstrengung im Vordergrund. Die körperliche Anstrengung wird nicht bewertet. Bitte geben Sie dann eine spontane Einschätzung Ihrer momentanen Gesamtbeanspruchung als Zahlenwert der unten stehenden Skala wieder. Sie können dabei alle Zahlenwerte von 0 bis 150 nennen, auch „krumme“ Werte wie 43. Bitte bewerten Sie die angegebene Beanspruchung zu den Beispielen auf Unterforderung, optimale Anstrengung und Überforderung.



Um die Skala ein wenig kennen zu lernen, werden Sie nun die vorgestellten Beispielsituationen auf deren Anstrengung bewerten.

Tragen Sie bitte nun möglichst spontan Zahlen für den RSME nach Ihrem eigenen Empfinden zu den nachfolgenden Beispielen ein und bewerten Sie dieses Empfinden auf Unterforderung, optimale Anstrengung oder Überforderung:

reale Welt-Beispiele	RSME-Wert	Bewertung (u o ü)
Division mehrstelliger Zahlen ...		
Sortieren und Ablegen von 50 Unterlagen ohne Zeitdruck ...		
Konzentrieren, z. B. Telefonieren, bei lauter Umgebung ...		
Durch Ihre Fehleinschätzung kommt es zu Personenschäden...		
Nachtschicht mit niedrigem Arbeitsaufkommen ...		
Angemessen reagieren (ohne zu schimpfen), wenn Sie von drei Personen gleichzeitig angesprochen werden ...		
Korrekturlesen eines 30-seitigen Berichtes am Monitor ...		
30 min Prozessbeobachtung ohne Nebenaufgabe ...		
Die Beantwortung dieser Beispielsituationen ...		

Nennen Sie bitte nun je ein kurzes Beispiel für absolut keine, etwas, eher viel, starke und unerträgliche Anstrengung!

RSME - Beispiele	absolut keine
	etwas
	eher viel
	starke
	unerträglich

Weiter

19 Technische Realisierung des Versuchsablaufs

Die Umsetzung der in Unterabschnitt 4.3.2 vorgestellten Aufgaben zu einem automatisierten und reproduzierbaren Versuchsablauf erfolgte mittels Excel 2010 von Microsoft, DASYLAB von National Instruments und einer Visual Basic Programmumgebung. Excel lief hierbei in drei Instanzen.

Die erste Excel-Instanz wurde genutzt, um den Versuchsablauf zu organisieren und zu steuern. Sie beinhaltete Informationen über den Versuchsablauf, das Schiffsregister und Verkehrstagebuch, Instruktionen für die Versuchsaufgaben und Störungsmeldungen. Folgende Aufgaben wurden übernommen:

- automatisches Erstellen des permutierten Versuchsablaufs, inkl. des Probe-sets;
- automatisches Erstellen zufallsgenerierter Mathematikaufgaben;
- zeitliche und inhaltliche Steuerung des Versuchs durch:
 - o Initiieren der Instruktionen zur Versuchsaufgabe;
 - o Initiieren von Störungsmeldungen;
 - o Initiieren der Schiffsankünfte und -ausfahrten;
 - o Übergabe der Versuchsaufgaben spezifischen Anweisungen an DASYLAB;
 - o Abfrage von Steuerungsdateien, die durch DASYLAB erstellt wurden;
 - o Initiieren des Sperrbildschirms nach Ende der Versuchsaufgabe; und
- Speichern und Export der Daten zur Versuchsdurchführung (Verkehrstagebuch).

In der zweiten Excel-Instanz wurden die Zusatzaufgaben organisiert und gesteuert. Dazu wurden direkt beim Öffnen der Datei die Inhalte bestimmter Zusatzaufgaben zufallsgeneriert bzw. an das Datum des Versuchstages angepasst. Somit wurde sichergestellt, dass alle Versuchspersonen unter den gleichen Voraussetzungen die Versuche durchführten.

Je nach Versuchsaufgabe waren Zusatzaufgaben zu bearbeiten oder nicht. Musste keine Zusatzaufgabe bearbeitet werden, initiierte diese Instanz einen Sperrbildschirm. Wurden Zusatzaufgaben bearbeitet, variierte die zur Verfügung stehende Bearbeitungszeit je nach Versuchsaufgabe. Falls die zur Verfügung stehende Zeit überschritten wurde und die Versuchsperson sich nicht dem Schleusen, also der Hauptaufgabe, zuwandte, initiierte die zweite Excel-Instanz einen Hinweis. Hierdurch wurde die Versuchsperson aufgefordert, die Zusatzaufgabe zu beenden. Auch in dieser Datei wurden die erzeugten Versuchsdaten gespeichert und konnten am Ende des Versuchs exportiert werden.

Die Versuchsperson handelte auf Anweisung, weswegen keine Automatisierung dieser Excel-Instanz notwendig war. Die während der Versuchsdurchführung erzeugten Daten konnten am Ende eines Versuchstages exportiert werden.

Die Hauptaufgabe, also die Prozessführung der Schleusenanlage, erfolgte über DASYLAB. DASYLAB fragte regelmäßig ein festgelegtes Verzeichnis nach einer bestimmten Steuerungsdatei ab. Existierte diese, las DASYLAB deren Inhalt ein und aktualisierte seine Betriebsparameter. Die wichtigsten Betriebsparameter beinhalteten Informationen über das zu verwendende Layout, die Pegelausgleichszeit und ob bzw. welche Zusatzaufgabe aktiviert werden musste.

Wurde durch eine Versuchsperson der Pegelausgleich eingeleitet, aktivierte DASYLAB über eigene Steuerungsdateien die Prozessüberwachung (Balkenaufga-

be, Visual Basic Programmumgebung) und ggf. die entsprechende Zusatzaufgabe in der zweiten Excel-Instanz. War der Prozessbedienungsteil beendet, initiierte DASYLAB eine Triggerdatei für die erste Excel-Instanz zur Anzeige des abschließenden Dialogfensters.

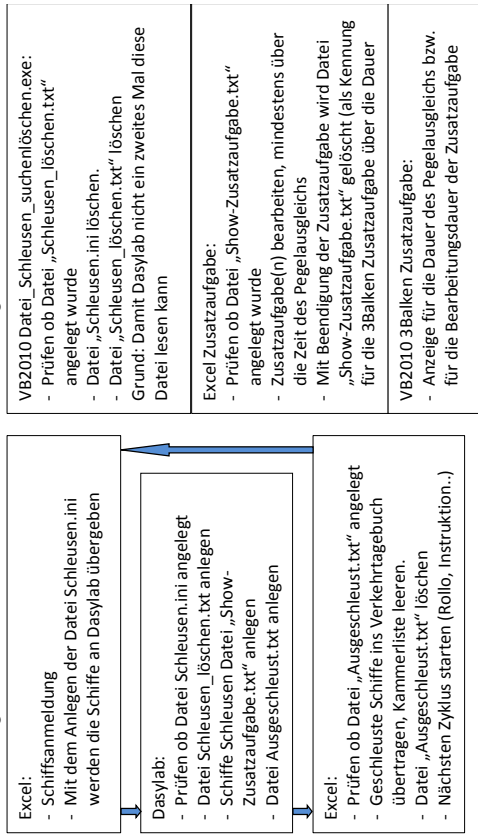
Für eine detaillierte Beschreibung der internen Abläufe und verwendeten Triggerdateien in Excel und DASYLAB siehe Anhang 20.

Die Prozessüberwachungsaufgabe fand in einer Visual Basic Programmumgebung statt. Diese Umgebung wurde durch einen Trigger von DASYLAB aktiviert. Bei Aktivierung veränderten sich zufällig Balkenfarbe und Balkenlänge. Die Prozessüberwachung blieb mindestens für die Zeit des Pegelausgleichs aktiviert und maximal so lange, bis die zu bearbeitenden Zusatzaufgaben abgeschlossen waren. Die im Rahmen der Prozessüberwachung stattgefundenen Veränderungen sowie die von der Versuchsperson vorgenommenen Eingaben wurden gespeichert und konnten am Ende des Versuchstages exportiert werden.

Anhand des dargestellten Zusammenspiels zwischen den drei Excel-Instanzen, DASYLAB und der Visual Basic Programmumgebung wurde ein permutierter, reproduzierbarer und automatisierter Versuchsablauf gewährleistet.

20 Interner Ablauf der Prozesssteuerung

Die Datei „Ausgeschleust.txt“ wird von Excel nach dem Lesen wieder gelöscht.



Um den Schleusenvorgang in DasyLab auszulösen müssen mittels der Datei „Schleusen.ini“ der Steuerung Schiffe gemeldet werden. Diese Datei wird in Excel „F2359 Schiffs-Anmeldung xxxxxx.xlsm“ angelegt.

DasyLab fragt kontinuierlich alle x Sek. ab, ob diese Datei angelegt worden ist. Die gemeldeten Schiffe erscheinen in der „Meldeliste“.

Damit DasyLab einen String oder eine Variable aus einer Datei einlesen kann, muss die Datei ein besonderes Format einhalten:

Dateiname: Schleusen.ini

Inhalt:
[Global Strings]

P4=

4="Z3_101"

P10=

10="Patty"

P11=

11="Unterwasser"

[Global Vars]

P13=

13="1"

P16=

16="10"

VAR_13 – Layoutnr.

VAR_16 – Füllzeit des Schleusenbeckens in Sekunden

DasyLab legt nach dem Lesen der Datei „Schleusen.ini“ eine neue Datei „Schleusen_löschen.txt“ an Die Dateien „Schleusen.ini“ und „Schleusen_löschen.txt“ werden von der VB2010-Programm „Datei_Schleusen_suchenlöschen.exe“ fortwährend der Versuchslaufzeit gesucht und gelöscht.

Nach dem Ausschleusen legt DasyLab eine Info-Datei (Rückmeldung) für das Excel Programm an:

Dateiname: Ausgeschleust.txt

Inhalt:

[Global Strings]

P1=

1=Ausgeschleust

DasyLab legt zur Anzeige der Zusatzaufgabe bei Schließen des Schleusentores eine Datei an, die von Excel F2359 Zusatzaufgaben...txt gelesen wird, an.

Dateiname: Show_Zusatzaufgabe.txt

Inhalt:

[Global Strings]

P4=

4=Z5_201 (Tabellenblatt oder keine Angabe, 4=)

[Global Vars] (Neu 150603, in die Datei wird auch die Zeit des Pegelausgleichs eingetragen)

P16=

16=1.200000e+002

Diese Dateien werden bei Versuchsbeginn gestartet

- F2359 Schiffsanmeldung.xlsm, Excel-Datei, rechter Bildschirm, Anzeige der 1. Instruktion
- F2359 Zusatzaufgaben.xlsm, Excel-Datei, linker Bildschirm, Taste „Start“ muss gedrückt werden
- Datei_Schleusen_suchenlöschen.exe, Taste „Starten“ drücken
- Schleuse A Vx.x.DSB, DasyLab, mittlerer Bildschirm, Startsymbol drücken
- F2359 Farbbalken.exe, rechter Bildschirm, Taste „Starten“ drücken

Dateien die bei Programmstart auf dem Desktop nicht zu sehen sein dürfen

- Schleusen.ini
- Schleusen_löschen.txt
- Ausgeschleust.txt
- Show_Zusatzaufgabe.txt
- F2359 3Balkenaufgabe.txt

Die Dateien werden von den jeweiligen Programmen angelegt und gelöscht. Bei Programmstart löst die Anwesenheit dieser Programme allerdings direkt fehlerhafte Funktionen aus. Das Programm „F2359 Schiffsanmeldung 150325.txt“ sucht und löscht jetzt bei Start diese Dateien automatisch.

Zeitstempel

Eintrag ins Tagebuch von F2359 Schiffsanmeldung...

Zeitstempel bei Einfahrt: Tastendruck „Weiter“ auf den Tabellenblättern „Instruktion“ (vorher: bei Übergabe des Schiffes an DasyLab)

Zeitstempel bei Ausfahrt: Mit der Abfrage ob das Schiff ins Tagebuch übertragen werden soll.

Zeitstempel bei Anzeige einer Instruktion und mit der Taste „Weiter“ auf den Tab.blättern Instruktion

Eintrag ins Tagebuch F2359 Zusatzaufgabe...

Zeitstempel mit Anzeige der Zusatzaufgabe.

Zeitstempel bei Beendigung der Zusatzaufgabe (Tasten "Fertig", ...)

Details der Meldungsanzeige

In Excel Schiffsanmeldung

1. Instruktion 38, Meldung 4 wird vor der Meldung „Eintrag ins Tagebuch“ eingeblendet
2. Ablauf der Instruktionen 1..41 soll variiert werden können. Dazu wird in der Tabelle „Einstellungen“, Spalte „A“ genutzt, in der die nacheinander anzuzeigenden Instruktionen eingetragen werden. Im Makro ist der Zähler gegen das Lesen der entsprechenden Zelle in Spalte „A“ auszutauschen. Auch bei Start der Datei muss die entsprechende Instruktion angezeigt werden.
3. In einigen Meldungen wird bei Drücken der Bestätigungstaste auf eine weitere Meldung verwiesen, Meldung 5 führt bei Drücken der Quittierungstaste auf Meldung 4 und bei Meldung 6 wird Meldung 7 aufgerufen.

4. Die Tasten „Freigabe“ und „Ablehnen“ entsprechen der Taste „Fertig“. Es wird im Programmablauf fortgefahren.
5. Bei der Taste „Anlagenteil sperren“ soll auch die Antwort „Ja“, „Nein“ gespeichert werden.
6. Tabellenblatt „Tagebuch“ muss gespeichert werden können. Taste und Makro anlegen
7. Tabellenblatt „Tagebuch_ZA“ muss gespeichert werden können. Taste und Makro anlegen
8. Bei der Taste „Anlagenteil sperren“ soll es eine Text-Rückmeldung „Anlagenteil gesperrt“ geben
!! Dieses Feld bei Beendigung der Zusatzaufgabe wieder löschen.
9. Bei Start des Versuchs wird automatisch die Ausschlussliste gelöscht und ein Hinweis eingeblendet wenn die Tagebucheinträge noch nicht gespeichert wurden.
10. Nach dem Speichern der Tagebucheinträge als eigene Excel-Datei, werden die Einträge ins Tagebuch automatisch gelöscht.
11. Anzeigedauer der Instruktionen im Tabellenblatt „Tagebuch“ speichern.
12. In einigen Tabellenblättern muss über eine Taste ein Berechtigungscode angezeigt werden. Dieser Wert und auch der entsprechende Tabelleneintrag muss in der Tabelle „Messdaten“ gespeichert werden (siehe z.B. Z5 201).

13. Zusatzaufgaben: In das Tabellenblatt Tagebuch_ZA wird nur noch die Uhrzeit eingetragen, das Datum einmalig in Zelle „K1“.
14. Zusatzaufgaben: Bei Aufruf der Tabellenblätter werden alle Formeln automatisch aktualisiert!
15. In Schiffsanmeldung: Wenn die Gesamtzeit von 4 Minuten für die Schleusung (inkl. aller Aufgaben) noch nicht abgelaufen ist, wird das Tabellenblatt „Schiffs-Anmeldung“ weiter eingeblendet. Erst danach das Rollo einblenden. Mit der Taste weiter auf „Instruktion X“ die aktuelle Zeit speichern (Now). Bei Abfrage „ins Tagebuch übernehmen“ die Restzeit bis zum Ende des Intervalls von 4 Minuten berechnen. Wenn Restzeit > 0, Tabellenblatt „Schiffs-Anmeldung“ weiter eingeblendet lassen. Betreffende Subs: Instruktion, Rollo.
16. Variabler Zeitpunkt bis sich ein Schiff zur Schleusung anmeldet:

$$\begin{aligned} & \text{Intervall 4 Minuten minus Zeit für Pegelausgleich minus Zeit für andere Arbeiten geteilt durch 2} \\ & 240 \text{ Sek.} \quad - 4 \text{ (Minimum)} \quad - 40 \\ & \qquad \qquad \qquad = 196 / 2 \\ & 240 \text{ Sek.} \quad - 195 \text{ (Maximum)} \quad - 40 \\ & \qquad \qquad \qquad = 1 \quad / \quad 2 \quad 1 \text{ Sek. min} \end{aligned}$$

17. Tagebuch wird jetzt im aktuellen Format *.xlsx gespeichert, dadurch kein Kompatibilitätshinweis mehr

In Excel Zusatzaufgaben

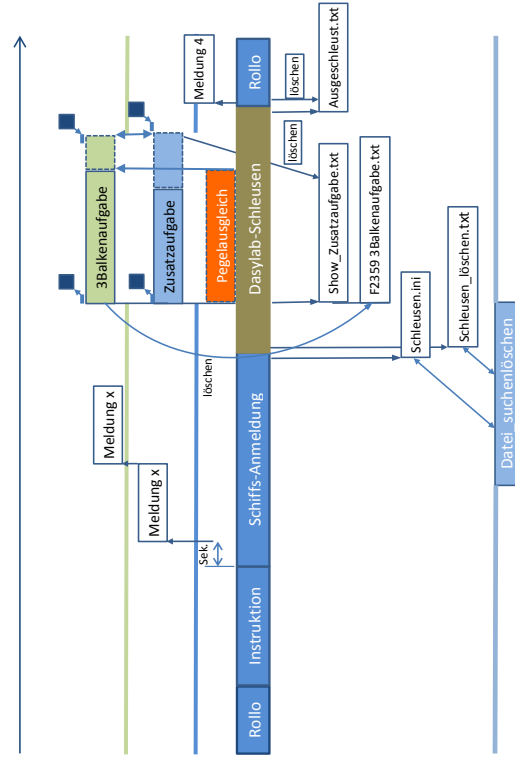
1. Ist die Zusatzaufgabe abgearbeitet, der Pegelausgleich aber noch nicht beendet, wird ein weiteres Tabellenblatt (ZA_plus) eingeblendet, wenn die Taste Freigabe gedrückt wird. Dazu wird von DasyLab die Zeit des Pegelausgleichs in die Datei „Show_Zusatzaufgabe“ geschrieben. Bei Aufruf der Zusatzaufgabe wird (Zeitpunkt t0) die voraussichtliche Beendigung des Pegelausgleichs berechnet. Mit Drücken der Freigabetaste wird die aktuelle Zeit mit der Vorausberechnung verglichen und bei verbleibender Restzeit ein weiteres Tabellenblatt (ZA_plus) eingeblendet.
2. Fehler, wenn nicht vorhandene Tabblätter gelöscht werden sollen beheben
3. Tagebuch wird jetzt im aktuellen Format *.xlsx gespeichert, dadurch kein Kompatibilitätshinweis mehr
4. Fehler beim Umwandeln von Formeln in Werte, verursacht durch Blattschutz, beheben
5. Fehler im Zeitformat im Tagebuch (AM/PM) beheben, jetzt hh:mm:ss

DasyLab

Anpassung der Blockgröße wegen unterschiedlicher Schleusenzeiten, abhängig vom Layout. Ab „Schleuse A V1.5.14.DSB“: Blockgröße von 1 auf 4 geändert

Blockgröße	1	4	4	4
Zeit (Sek.)	5	5	5	20
Layout 1	7,5/7,5	5/5	5/5	20/20
Layout 2	4/4	5/5	5/5	20/20
Layout 3	4/5	5/5	5/5	20/20 Sek.

Ablauf



21 Messprotokoll Umgebungsbedingungen

Zusammenfassung des Messprotokolls der Umgebungsbedingungen

Beleuchtung (Messung nach DIN 5035-6:2011) für sitzende Position (Höhe 73 cm):

- Beleuchtungsstärke auf der Tischfläche: Ist 479 Lux (Soll: max. 500 Lux)
- Leuchtdichteverhältnisse:
 - Monitor-Monitor: Ist-Ø 1,8:1, Ist-Max 2,2:1 (Soll minimal)
 - Drei Monitore-unmittelbare Umgebung (Wand, Tischfläche): Ist-Ø 1,4:1, Ist-Max 1,6:1 (Soll 3:1)
 - Drei Monitore-Sehfeldrand (Tastatur/ Nummernpad): Ist-Ø 6,3:1, Ist-Max 8,1:1 (Soll 10:1)

Akustische Umgebung (Messung nach TRLV Lärm, Teil 2:2010) für sitzende Position (Höhe 128 cm über Boden):

- Umgebungsgeräusche (A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel):
Ist $L_{pAeq} = 44 \pm 3,3$ dB (Soll max 45 dB)

Thermische Umgebung (Messung nach LASI LV16:1999):

- Raumluftechnische Anlage wechselnd im Nachtbetrieb/ Tagbetrieb mit minimalem Luftstrom um Anforderungen zu realisieren mit:
 - Temperatur: Ist $22,3 \pm 0,2$ °C (Soll (Sommer) $24,5 \pm 1,5$ °C)
 - Relative Luftfeuchte: Ist $41,3 \pm 0,3$ % (Soll 30 - 70 %)
 - Luftgeschwindigkeit: Ist $0,2 \pm 0,02$ m/s (Soll: max. 0,13 m/s, bei 20 - 22 °C)

Ausführliches Protokoll

Beleuchtungsstärke
Messung nach DIN 5035-6:2006

Eingesetzte Messtechnik
- Luxmeter: X11 Optometer von Gigahertz-Optik
- Messkopf: VL-3701-4

Bezeichnung	Formel	Werte		
		Tischfläche	Monitor links*	Monitor Mitte* rechts*
lange Seite a,d [m]		0,6	0,47	0,47
kurze Seite b [m]		0,3	0,3	0,3
Verhältnis a/b<2:1		2	1,6	1,6
Rastermaß lange Seite p [m]	$RUNDEN(0,2^{\sqrt{5}} \sqrt{LOG_{10}(C \cdot \lambda^2)})$	0,14	0,12	0,12
Anzahl Messfelder Seite a, m	$AUFRUNDEN(C_2/C_5 \rho)$	5	4	4
Anzahl Messfelder Seite b, n	$AUFRUNDEN(C_6 \cdot C_3 / C_2 \cdot \rho)$	3	3	3

* es wurden nur fünf Punkte (vier Ecken und Mitte) auf den Monitoren gemessen

Kennwerte:

Tischfläche	Monitor, links	Monitor, Mitte	Monitor, rechts
$E_{v, \text{Mitt}} = 479 \pm 33,1 \text{ Lux}$	$E_{h, \text{Mitt}} = 342 \pm 24,3 \text{ Lux}$	$E_{h, \text{Mitt}} = 334 \pm 12,1 \text{ Lux}$	$E_{h, \text{Mitt}} = 326 \pm 10,1 \text{ Lux}$
$E_{v, \text{Rand}} = 489 \pm 39,7 \text{ Lux}$	$E_{h, \text{Mitt}} = 359 \pm 26,9 \text{ Lux}$	$E_{h, \text{Mitt}} = 344 \pm 13,3 \text{ Lux}$	$E_{h, \text{Mitt}} = 355 \pm 29,2 \text{ Lux}$

E_v = vertikale Beleuchtungsstärke; E_h = horizontale Beleuchtungsstärke

Leuchtdichte

Eingesetzte Messtechnik:

- Hauptgerät:
 - o LMK 98-4 color von Technoteam
 - o LMK Labsoft
- Validierungsgesert:
 - o L1003 von LMT

Ermittelte Werte:

- Monitor-Monitor: Ist-Ø 1,8:1, Ist-Max 2,2:1 (Soll minimal)
- Monitore-unmittelbare Umgebung (Wand, Tischfläche): Ist-Ø 1,4:1, Ist-Max 1,6:1 (Soll 3:1)
- Monitore-Sehfeldrand (Tastatur/Nummernpad): Ist-Ø 6,3:1, Ist-Max 8,1:1 (Soll 10:1)

F2359 – IKT in Leitwarten, TP 2.1 Multitasking

Hier: Messprotokoll für Umgebungsbedingungen

Zur Information:

- Datafile: Umgebungsbedingungen.xlsx
- Versuchsplatz T 007, Ausrichtung Fenster: nach Osten
- Tischhöhe:
 - o Sitzend 73 cm
 - o Stehend 113 cm
- Beleuchtungsstärke:
 - o Messzeitpunkt 27. April 2016, 13:00-14:45 Uhr
 - o Beleuchtungssituation wie zur Versuchsdurchführung (Verdunkelungseinrichtungen geschlossen)
 - o Wetter: abwechseln bewölkt und sonnig
 - o Versorgungsspannung: 230 V, 50 Hz
 - o Umgebungstemperatur: 21,7 °C
- Leuchtdichte:
 - o Messzeitpunkt 20. April 2016, 13:00-16:00 Uhr
 - o Beleuchtungssituation wie zur Versuchsdurchführung (Verdunkelungseinrichtungen geschlossen)
 - o Wetter: sonnig
- Umgebungsgeräusche:
 - o Messzeitpunkt: 27. April 2016, 11:33-15:00 Uhr
 - o Akustische Umgebung wie zur Versuchsdurchführung (innenliegende Verdunkelungseinrichtungen geschlossen)
 - o Wetter: abwechseln bewölkt und sonnig
- Klima:
 - o Messzeitpunkt 13. Mai 2016, 10:30 und 13:30 Uhr
 - o Thermische Umgebung wie zur Versuchsdurchführung (Verdunkelungseinrichtungen geschlossen)
 - o Wetter: sonnig, Außentemperatur: 20 °C, 50 % rel. Feuchte

23 Interview mit Versuchsperson zur Aufgabenerfüllung

1. Kamen Sie mit der Schiffsschleusungsaufgabe gut zurecht?
2. Falls „nein“: Glauben Sie das lag an der Darstellung im Display, oder wäre das auf Papier das gleiche Problem gewesen?
3. Fanden Sie die Darstellung und Support der Bedienoberfläche zur Schiffschleusung hilfreich bzw. gut anwendbar?
4. Hatten Sie beim Bearbeiten der Zusatzaufgaben eine bestimmte Strategie?
5. Wie haben Sie die Zusatzaufgaben empfunden – eher störend oder stimulierend?
6. Wie war der Tragekomfort des Eye-Trackers?
7. Hat Sie das Tragen des Eye-Trackers bei der Aufgabenerfüllung beeinträchtigt?
8. Haben Sie körperliche Empfindungen z. B. durch die Bestuhlung oder die Arbeitsplatzgestaltung bemerkt?
9. Haben Sie mit fortlaufender Zeit eine Veränderung in Ihrer Aufgabenbearbeitung bemerkt?
10. Hat sich dies nach den Pausen verändert?
11. Wie waren denn die Matheaufgaben für Sie?
12. Haben Sie noch weitere Anregungen oder Hinweise?

25 Rückmeldung zur Versuchsleitung

Abschließend haben wir noch drei Fragen zur Versuchsleitung...

Wie hat Die Versuchsleitung auf Sie gewirkt während der Einführungsphase?

Wie hat Die Versuchsleitung auf Sie gewirkt während der Versuchsdurchführung?

Hat Sie dies in der Aufgabenausführung beeinflusst?

26 Dankeschön an Probanden

SCHLEUSEN-DIPLOM

HIERMIT WIRD BESTÄTIGT, DASS

Frau /Herr Versuchs Person

FOLGENDES ERFOLGREICH ERLANGT HAT

BEFÄHIGUNG ZUM SCHLEUSEN

im Namen des gesamten *Projektteams*

27 Informationen zur Versuchsdurchführung, Rolle der Versuchsleitung

1. Laborstudie zu Multitasking in Leitwarten

Hier: Informationen für die Durchführung des Versuches; Rolle der Versuchsleitung
in Ergänzung zu: Arbeitsblatt „Ablauf“ in Datei „_Versuchsleitung - VP“
„Textbausteine Versuchsleitung“ (ausführliche Erläuterungen)
„Verfahrensangabeweisung_drukckeit“

1.1 Informationen für die Durchführung des Versuches (Überblick)

1. Vorbereitung Versuchsplatz
2. Abholen und Begrüßen der Versuchsperson
3. Vorabfragen
4. Ablauf Versuchstag im Groben erläutern
5. Vorstellen des Messequipments
6. Test des Arbeitsgedächtnisses
7. Block 1 (betreutes Schließen)
8. Abschlussbriefing der Versuchsperson
9. Aufgaben der VL während Block 2-5
10. Ende des Versuches
11. Abschlussgespräch

1.2 Informationen für die Durchführung des Versuches (im Detail)

1. Vorbereitung Versuchsplatz
 - o Klimaanlage auf Tagbetrieb (1-Auto)
 - o Sonnenschutz außen ganz nach unten lassen
 - o Tablet:
 - Fragebögen starten
 - Brainworkshop starten
 - o Schließen PC
 - Schriftanmeldung und Zusatzaufgaben starten
 - DasyLab starten (hier Layout 3 anwählen)
 - o Versuchsleitungs-PC
 - Vorhandenen Speicherplatz prüfen, ggf. abgeschlossene Versuche auf externe Festplatte auslagern
 - D-Lab 3.0 starten
 - Polar-Trainer 5.0 starten
 - Versuchsleitungsdatei öffnen
2. Abholen und Begrüßen der Versuchsperson (VP)
 - o Vielen Dank für die Bereitschaft zur Teilnahme, Anreise etc.
 - o Toiletten zeigen
 - o Verhalten im Falle eines Räumungsalarms erläutern
 - o Ablegen der persönlichen Sachen, Handy lautlos
 - o bei Betreten des Raumes Platz der Versuchsleitung und Platz der VP zeigen
 - o Einverständniserklärung und Fragebogen vorlegen
3. Vorabfragen
4. Ablauf Versuchstag im Groben erläutern
 - o 6 Teile mit kurzen Pausen und einer längeren Mittagspause
 - o Kennenlernen der Skalen und Test des Arbeitsgedächtnisses
 - danach gemeinsames Bearbeiten einiger Aufgaben, um ein Verständnis für den Prozess zu entwickeln
 - die verbleibenden vier Blöcke dann eigenständig bearbeiten
 - o VP kann aber jederzeit unterbrechen oder abbrechen
 - o Wir sollen ca. 16 Uhr fertig sein also ca. 7h (normaler Beginn um 9 Uhr, falls abweichend bitte Zeiten entsprechend anpassen)
5. Vorstellen des Messequipments (ohne Details) und anlegen des Brustgürtes
 - o Eyetracker (nicht zu sehr betonen, dass es zu einem unangenehmen Empfinden (Druckgefühl, ...) kommen kann)

- o Brustgürt
- o Brustgürt anlegen (ca. zwei-drei fingerbreit unterhalb der Brust, nicht zu hoch!):
 - Weite des Brustgürtes per Augenmaß kontrollieren
 - mit Ethanol entfetten,
 - leicht mit Wasser benetzen,
 - Brustgürt an den Elektroden mit etwas Elektrodengel versehen
 - Brustgürt anlegen
- o Signalempfang kontrollieren
- o VP anlegen in Polartrainer 5 und baselina aufzeichnen
- o Tablet etwas mittiger auf dem Tisch platzieren, um Fragebögen und Test des Arbeitsgedächtnisses vorzulegen
- o Fragebogen 1
 - öffnen und VP bitten spontan zu antworten
 - ggf. zeigen, wie gescrollt wird und wie die Eingabe funktioniert
 - VP bitten, bei Betätigen des Weiter-Buttons Versuchsleitung zu informieren
 - Erläutern des RSME:
 - kontinuierliche Skale von 0-150, es kann also jeder Wert eingegeben werden
 - zur Unterstützung der Interpretation der numerischen Werte geben verbale Anker auf der unteren Seite der Skale
 - Anstrebungsstufen an
 - respektive reicht die Skale von gar keine Anstrengung (0) bis unträgtliche Anstrengung (150)
 - um die Skale kennenzulernen sind im folgenden Beispiele aufgelistet, die die VP bitte auf die ausgeloste Anstrengungen einschätzen soll und ergänzend noch eine Bewertung auf Unterforderung, optimale Auslastung bzw. Überforderung vornehmen soll
 - reichen die Stufen nicht aus, kann über die Kombination „up“ eine leichte Unterforderung bzw. mit „out“ eine leichte Überforderung protokolliert werden
 - wenn die VP weiter runterscrollt, dann wird VP gebeten, Beispiele für eine definierte Anstrebungsstufe zu formulieren
 - VP soll sich bitte auf Beispiele aus dem beruflichen Umfeld beziehen
 - wenn die VP damit fertig ist, soll VP bitte Bescheid geben
 - **WICHTIG:**
 - die VP bitten, die Skale vollumfänglich zu nutzen, natürlich entsprechend des eigenen Erfahrungshorizontes
 - es kann immer wieder bei VP beobachtet werden, dass eine Tendenz zur Mitte besteht
 - daher die ausdrückliche Aufforderung, die Skale auch in den Randbereichen zu nutzen
- o ...
- 6. Test des Arbeitsgedächtnisses
 - o Anweisung übergeben und bei Fragen soll VP gerne Versuchsleitung ansprechen
 - o nach Lesen der Anweisung
 - vier Wiederholungen, Dauer jeweils eine Minute
 - wenn VP den Faden verliert ist das kein Problem, dann die aktuelle Position und Farbe merken und weitermachen
 - o Eyetracker aufsetzen und kalibrieren
 - o ein zweites Mal vergewissern, dass VP verstanden hat, was diese zu tun hat

- o nach jedem Durchgang:
 - Ergebnisse protokollieren
 - Bewertung (RSME und Einschätzung) ausfüllen
 - o nach viertem Durchgang Eyetracker wieder abnehmen
 - o Tablet nach links außen auf dem Tisch schieben
- o ...
- o **Block 1 (betretenes Schleusen)**
 - ein Block umfasst ca. 10 verschiedene Aufgabenkombinationen und dauert ca. 60min
 - eine Aufgabenkonstellation umfasst ca. 6min und
 - beginnt mit Lesen der Instruktion
 - Bearbeitung der Aufgabenkombination, ca. 4min
 - Bewerten der Beanspruchung und kurze Pause
 - und dann beginnt die neue Aufgabe mit Lesen der Instruktion
 - diese kurze Pause nach der Bewertung ist am besten geeignet um zu unterbrechen oder abzubrechen
- o Arbeitsplatz erläutern
 - Tablet nicht für Bearbeitung der Aufgaben relevant, nur für Bewertung
 - relevant für den Versuch sind nur die drei größeren Monitore
 - falls etwas nicht gut erkannt wird, dann den Abstand zu den Monitoren ggf. verringern
 - rechter Monitor
 - Anmeldung der Schiffe, Instruktion und Meldungen
 - mittlerer Monitor
 - eigentliche Prozesssteuerung
 - linker Monitor
 - Bearbeiten der Zusatzaufgaben
 - Maus an VP übergeben
 - die erste Aufgabe dient dem Kennenlernen der Anlage und dem grundlegenden Prozessablauf
- o Set 0 (Layout 3, Pegelausgleich: 7§)
 - VP bitten, zu starten und die Instruktion zu lesen
 - Aufbau des Verkehrstagebuchs erläutern und parallel dazu den grundlegenden Aufbau der Schleuse (Vorhäfen, Häupter und Kammer mit Sparbecken, Zweck der Sparbecken) in **Dasylab** zeigen (mit Bleistift oder Pointer oder ...)
 - Vorgehen im Verkehrstagebuch erklären, wenn Schiff da ist
 - Mit Übergabe an Steuerung **Dasylab** erklären:
 - Meldeliste
 - Toransichten **mit Endlagen**
 - Signalanlagen mit örtlichem Bezug zu außerhalb und innerhalb der Kammer
 - Steuerungsbuttons sind in Reihenfolge des Prozessablaufes dargestellt, mit Indikator für nächsten Prozessschritt
 - dieser Indikator ist keine Freigabe!!
 - über die Freigabe entscheidet VP in Abhängigkeit der Prozessparameter (noch nicht im Detail darauf eingehen)
 - Schiff ist in Meldeliste und weiteres Vorgehen wie auf laminiertem Darstellungsbildschirm
 - Schleusung läuft immer gleich ab, mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad
 - Wenn Pegelausgleich startet, darauf hinweisen: Die Pegelausgleiche variieren in der Länge. Dies ist jetzt ein kurzer Pegelausgleich, da es darum geht, die grundlegenden Abläufe vorzustellen.

- Wenn Schiff raus ist, darauf hinweisen, dass die Anlage in einem sicheren Zustand verlassen werden muss (Tor zu, Signalanlagen auf Rot). Da auch bei rotem Signal, Schiffsahrtstrebende in die Anlage einfahren würden. Ggf. Analogie aus dem Straßenverkehr bemühen.
- Hinweisen, dass bei Luftbild der BAUA die Aufforderung zur Bewertung und dann zur Prozessablauf kommt
- Das war der grundsätzliche Prozessablauf. Hat VP dazu noch Fragen oder Verständnisschwierigkeiten?
- o Set 3 (Layout 3, Pegelausgleich: 199§)
 - Jetzt kommt eine Aufgabe zum Erläutern der Prozessüberwachung.
 - Der grundlegende Ablauf ist genau wie beim Vormiergen
 - Mit Einsetzen des Pegelausgleiches erscheinen die zu überwachenden Prozessparameter.
 - Die Aufgabe der VP ist es, deren Veränderung zu protokollieren. Der letzte protokollierte Stand steht in der Textzeile am oberen Rand. Stimmt dieser nicht mit der beobachteten Situation der Balken überein, ist die VP aufgefordert, die Veränderung zu protokollieren. Dazu gibt es das Pad links neben der Tastatur. Es verändern sich Balkenlänge und Balkenfarbe, wie auch auf den beiden Tasten dargestellt.
 - Zeigen, was die Balken ausdrücken:
 - Linker Balken: Position des Schiffs in der Kammer
 - Mittlerer Balken: Längsneigung, also um die Querachse
 - Rechter Balken: Neigung um die Längsachse
 - Protokollieren dient der Absicherung bei Unfällen bzw. bei Beschädigungen am Schiff, die vermeintlich in der Anlage passiert sein sollen
 - in Realität wird das über eine Vielzahl von Videomonitoren gemacht
 - **WICHTIG:**
 - nur die Veränderung protokollieren, die stattgefunden hat
 - die Veränderungen zeitnah protokollieren
 - VP soll hier ein Gefühl für die Balkenaufgabe entwickeln, d.h. nur dann darauf hinweisen, wenn eine Veränderung verpasst wurde (und das ist wenn die darauffolgende Veränderung bereits stattgefunden hat)
 - wenn Pegelausgleich zu Ende: Das hat ja schon gut geklappt. Und VP sieht, dieser Pegelausgleich war viel länger als der erste.
 - Das waren jetzt zwei Schleusungen mit dem ersten Layout. Hat VP dazu noch Fragen oder ist VP noch etwas unverständlich?
 - Dann kommt jetzt das zweite Layout.
 - in **Dasylab** auf Layout 2 umstellen!
- o Set 18 (Layout 2, Pegelausgleich: 102§)
 - VP soll starten und Instruktion lesen
 - VP darauf hinweisen, dass Verkehrstagebuch gleich ist. Der grundlegende Ablauf ist, wie vorher schon angekündigt, identisch. Bis Schiff kommt, die GUI beschreiben:
 - Steuerungselemente sind nach Häuftern organisiert.
 - Die Anordnung der Bedienelemente für die Signalanlagen orientiert sich an der räumlichen Zuordnung.
 - Nachdem das Schiff die Anlage verlassen hat, darauf hinweisen, dass hier das Tor automatisch schließt und somit die Anlage immer in einem sicheren Zustand verlassen wird.
 - nach Abschluss: Hat VP noch Fragen oder Unklarheiten zur grafischen Oberfläche bzw. zum Ablauf beim zweiten Layout?
 - Dann kommt jetzt das dritte Layout
 - In **Dasylab** auf Layout 1 umstellen!

- o Set 30 (Layout 1, Pegelausgleich: 101s)
 - VP soll starten und Instruktion lesen
 - VP darauf hinweisen, dass Verkehrsgebuch auch hier gleich ist. Der grundlegende Ablauf ist, wie vorher schon gesagt, ebenfalls identisch. Nur noch weniger automatisiert.
 - Bis Schiff kommt, die GUI beschreiben:
 - Steuerungselemente der Tore sind verteilt und in räumlicher Orientierung zur Realität am Bauwerk.
 - VP **hinweisen** auf: Tasten „Füllen“ und „Leeren“. Da diese Oberfläche am wenigsten automatisiert läuft, ist es notwendig, hier bestimmte Prozessschritte eigenständig zu starten.
 - Nachdem das Schiff die Anlage verlassen hat, **UNBEDINGT** darauf hinweisen, dass die Anlage in einem sicheren Zustand verlassen werden muss. Das bedeutet, Tor schließen, bevor Dialog „ins Tagebuch übernehmen“ beantwortet wird.
 - Bei Luftbild von BAUA:
 - darauf hinweisen, dass jetzt die Bewertung vorgenommen werden muss.
 - Hat VP noch Fragen oder Unklarheiten zur grafischen Oberfläche bzw. zum Ablauf beim zweiten Layout?
 - o Set 35 (Layout 1 mit Störung, Pegelausgleich: 47s)
 - Wenn Meldung stumm geschaltet und quittiert, dezent darauf hinweisen, dass auch Notizen gemacht werden können.
 - Hat VP noch Fragen zur Schließung oder zu einem Layout?
 - VP noch eine Auswahl von Zusatzaufgaben zeigen, die es gilt, in der Zeit des Pegelausgleichs zu bearbeiten. Die Zusatzaufgaben werden immer ausführlich beschrieben. Wenn Zusatzaufgaben anstehen, sieht VP das im unteren Teil der Instruktionen...
 - o Zusatzaufgabe Statistik:
 - Eingabefeld oben links. Instruktion oben rechts
 - Tabelle mit umfangreichem Datensatz und Sortierfunktion
 - Tabellenkopf mit Dreiecken am rechten Rand der Zeile
 - den Filter „Typ“ anwählen lassen und anleiten wie GMS ausgewählt wird
 - Statusleiste vorstellen und relevante Inhalte hervorheben
 - den Filter „Breite“ anwählen lassen und die **Scrollfunktion** zeigen, um den Maxwert zu ermitteln
 - auf Rest nicht im Detail eingehen
 - o Zusatzaufgabe Zugangsberechtigung:
 - auf alle drei Eventualitäten (Kein Code benötigt, Code steht da/ nicht da) eingehen, analog zur Verfahrensweisung
 - o Zusatzaufgabe Wehr:
 - Trendverläufe der Pegelstände des Ober- und Unterwassers
 - Tabelle mit Stautoleranzen oben rechts
 - diese auf Ober- oder Unterschreiten der Stautoleranzen überprüfen
 - Wehranlage oder -anlagen der Instandhaltung melden
 - o **WICHTIG** Zusatzaufgaben:
 - Wie während der gemeinsam bearbeiteten Aufgaben beobachtet, haben die Pegelausgleichszeiten variiert. Dieses Zeitfenster wird im späteren Versuchsablauf die Zeit sein, die der VP zur Bearbeitung der Zusatzaufgaben zur Verfügung steht. Und nur diese Zeit! Benötigt die VP länger, wird die Versuchsleitung darum bitten, die Zusatzaufgabe zu beenden.
 - In Abhängigkeit der Aufgabenkonstellation können in dieser Zeit auftreten:
 - Beobachten der Prozessparameter

- Bearbeiten (mehrere) zusätzlicher Aufgaben
 - Lösen von Mathematikaufgaben
8. **Abschlussbriefing** der Versuchsperson, sinngemäß nach folgendem Wortlaut wiedergeben. (Was ist uns besonders wichtig?)
- o Jetzt sind wir am Ende des gemeinsamen Bearbeitens der Aufgaben. Abschließend möchte ich nochmal die wichtigsten Punkte zusammenfassen.
 - o Mit der Teilnahme an dem Versuch trägt VP einen wesentlichen Teil zum Erkenntnisgewinn in der Forschung zum Multitasking bei. Die Ergebnisse werden dazu benutzt, um die Auswirkungen der Art und Anzahl zusätzlicher Aufgaben zu den einzelnen Steuerungsprozessen zu ermitteln. Somit ist es für die Versuchsdurchführung überaus wichtig und zwingend notwendig, dass VP die übertragene Aufgaben:
 - ernsthaft,
 - in der zur Verfügung stehenden Zeit bzw.
 - sorgfältig und gewissenhaft bearbeitet.
 - o Über das „Wie“ entscheidet VP mit Prioritätensetzung!
 - o die Versuchsleitung beobachtet VP in der Aufgabenbearbeitung und gibt VP bei Bedarf Rückmeldung per selbsterklärender Karte, z. B. „gewissenhafter“ oder „schneller arbeiten“, damit VP nicht unnötig abgelenkt wird
 - o VP bitte zu bedenken geben: Es ist wirklich wichtig, gewissenhaft und zügig zu arbeiten. Denn die Leistung (also Umfang und Fehler) ist Grundlage für die Auswertung. Das bedeutet, wenn diese schlecht ist, können wir die Daten leider nicht verwenden.
9. Aufgaben der VL während Block 2-5
- o Messtechnik bedienen
 - o bei Fragen oder Problemen zur Verfügung stehen
 - o Zeitlicher Ablauf
 - o Überwachung der Prozessparameter
 - o Hinweise bei mangelnder Arbeitsqualität
 - Hinweisen, dass Pegelausgleich bereits vor einigen Sekunden erfolgte
 - siehe Rückmeldung an VP
 - o Bedienfehler protokollieren
 - Tor nicht geschlossen
 - zweiten Pegelausgleich eingeleitet
 - o Mathematikaufgaben vorlesen und protokollieren
 - o Fragebogen 2, baselines
 - o 2 Fotos (von rechts und links, germe mit Gesicht der VP) machen
 - o ...
10. Ende des Versuches
- o Fragebogen 3, baselines
 - o Messtechnik abnehmen
 - o Schließensdiplom ausstellen
 - o Abrechnung
11. Abschlussgespräch
- o Abschlussfragen
 - o Schließensdiplom übergeben
 - o Verabschiedung und Hinausgeleiten der VP

1.3 Rolle der Versuchsleitung

- zurückhaltend, ein Gefühl der **Gelassenheit**, Kontrolle und Professionalität vermitteln
- VP arbeitet am Versuchsstand, Versuchsleitung moderiert (d.h. VP anleiten, was es zu tun gilt, nicht selber machen)
- **Versuchsleitung hält sich im Hintergrund und behält Überblick:**
 - o gerade beim betreuen Schleusen soll VP Fehler machen
 - o im Versuchsablauf nur das Notwendige besprechen, z. B.:
 - Kontrollfragen oder
 - Mathematikaufgaben stellen
 - es sollte auch mal über mehrere Sets nicht gesprochen werden
 - o Überblick behalten über:
 - Messtechnik,
 - Zeitlichen Ablauf,
 - Überwachung der Prozessparameter,
 - Bearbeiten der Mathematikaufgaben und
 - was die VP macht (um Bedienfehler zu protokollieren)
- Vps lassen sich leicht beeinflussen bzw. ablenken, somit jegliche versuchsfremde Störung vermeiden: wenn überhaupt, dann nur im positiven und unterstützenden Sinne das Handeln der VP kommentieren, z.B.:
 - o „Sie schaffen das“, „ach, das haben die Probanden vor Ihnen auch geschafft“
- Versuchsleitung greift nur dann ein bzw. bittet um Maus, wenn unbedingt notwendig, z.B.:
 - o Festhängen der Programme
 - o Stoppen und Starten von Dsylvlab oder anderer Versuchssoftware
- keine unkontrollierbaren ggf. unerwünschten Erwartungen wecken durch Ankündigungen

28 Textbausteine für die Versuchsleitung

F2359-2.1 Textbausteine VL

HINWEIS: lfd# bezieht sich auf _Versuchsleitung.xlsx

Textbausteine Versuchsleitung

Einweisen in Verhalten im Laborbereich, Fluchtwege, Toiletten etc. → Vordruck?

lfd# XXX – Vorstellen des Versuchsarbeitsplatzes

Sie sehen den Versuchsaufbau, der im Wesentlichen einem Arbeitsplatz in einer Leitwarte einer Schiffschleusung nachempfunden ist:

1. höhenverstellbarer Tisch zur individuellen Anpassung der Arbeitsflächenhöhe
2. 24h Leitwartenstuhl mit individuellen Einstellmöglichkeiten zur Optimierung des Sitzkomforts
3. Tablet-PC: Untersuchungssoftware und Fragebögen
4. Bedienungsschnittstelle zum Prozess, mit Tastatur und Maus für Eingaben in das Prozessleitsystem
5. Pulsar Brustgurt zur Messung der Herzfrequenz
6. Eye-Tracking Brille zur Verfolgung der Blickbewegung

lfd# XXX – Vorstellen des Versuchsablaufes

Der Versuchstag unterteilt sich in drei Teile: Vorbesprechung und Vortests;

Versuchsdurchführung mit Pausen; Nachbesprechung und Nachtests.

Wir sind derzeit mitten in der Vorbesprechung und den Vortests.

Die Durchführung wiederum unterteilt sich in vier Blöcke, welche durch unterschiedlich lange Pausen unterteilt sind. In diesen Pausen können Sie zum Beispiel etwas Essen, Trinken oder zur Toilette gehen. Falls Sie zur zwischenzeitlich zur Toilette müssen oder Ihnen etwas unangenehm ist, warten Sie bitte nicht bis zur nächsten Pause, sondern fragen Sie bitte direkt!

Ansonsten besteht jeder Block aus ca. zehn Aufgabenfolgen. Eine Aufgabenfolge setzt sich wiederum zusammen aus: Instruktionen lesen, Aufgabe bearbeiten und einer Kurzpause von ca. einer Minute. Wenn Sie die Instruktionen nicht verstanden haben, dann fragen Sie bitte direkt und bevor Sie die Aufgabenbearbeitung starten. Während der Aufgabenbearbeitung werden keine Fragen beantwortet. Die Aufgaben umfassen immer die Durchführung einer Schleusung mit Überwachung der Prozessparameter mit und ohne Zusatzaufgaben.

Seite 1 von 5

F2359-2.1 Textbausteine VL

Wir möchten Sie bitten, die Aufgaben so gewissenhaft und zügig zu bearbeiten, wie es Ihnen möglich ist! Bei Bedarf erhalten Sie nach der Bearbeitung einer Aufgabe eine kurze Rückmeldung.

Haben Sie dazu noch Fragen oder benötigen Sie weiterführende Informationen?

lfd# XXX – Fragebögen

Zustand: Vielen Dank für die Rücksendung des ausgefüllten Vorabfragebogens. Dazu haben wir noch offene Fragen, welche ich Sie bitte, jetzt zu beantworten...

DSSQ: Bevor der eigentliche Versuch zur Schleusung beginnt, wollen wir noch Ihre persönliche Tagesform testen. Dazu wird Ihnen auf dem Tablet ein Fragebogen dargestellt. Füllen Sie diesen bitte aus und drücken Sie auf weiter.

RSME: Während des Versuches werden Sie zu verschiedenen Zeiten gefragt, wie anstrengend es gerade ist. Antworten Sie dann bitte, indem Sie spontan eine Zahl auf dieser Skala von 0 bis 150 in das Tablet eingeben und Ihr Anstrengungsempfinden hinsichtlich Über- oder Unterforderung oder optimaler Anstrengung bewerten. Die Bewertung zwecks Über- oder Unterforderung oder optimaler Anstrengung geschieht mit „U“ für Unterforderung, „O“ für optimale Anstrengung bzw. „Ü“ für Überforderung.

Um Sie mit der Skala ein wenig vertraut zu machen, gehen wir jetzt ein paar

Beispielsituationen durch, die Sie sich bitte vorstellen und durch eine Zahl auf der Skala bewerten. Sie können dabei jede Zahl von 0- 150 sagen – auch ungerade Zahlen. Die Bewertung sollte möglichst spontan sein.

Da Sie nun die Beispielsituationen bewertet haben, möchten wir Sie nun bitten, in umgekehrter Richtung vorzugehen. Ihnen wird ein Anstrengungsmaß vorgegeben, zu dem Sie bitte eine Beispielsituation so kurz wie möglich beschreiben.

Haben Sie dazu noch Fragen oder benötigen Sie weiterführende Informationen? **Arbeitsgedächtnisspanne und -kapazität:** Bevor es schließlich mit den eigentlichen Versuchen losgeht, möchten wir Ihr Arbeitsgedächtnis testen. Dazu bitten wir Sie, den sogenannten „dual two-back-Test“ durchzuführen. Der Test ist dargestellt als eine 3x3 Matrix. In einem der neun Felder, das entspricht der Position, erscheint ein Viereck mit einer bestimmten Farbe.

„Dual“ bedeutet hierbei, dass Sie sich Position und Farbe des Vierecks merken müssen. „Two back“ bedeutet, dass Sie das aktuell erscheinende Viereck mit dem als vorletztes erschienen Viereck vergleichen müssen. Stimmt die Position des aktuellen mit dem vorletzten überein, drücken Sie „A“; stimmt die Farbe,

Seite 2 von 5

dann drücken Sie „H“ so schnell wie möglich. Die Software läuft kontinuierlich weiter, unerheblich ob Sie keine, eine falsche oder richtige Rückmeldung geben. Sie haben die Möglichkeit 2x zu üben, bevor 2 Durchgänge gewertet werden. Haben Sie dazu noch Fragen oder benötigen Sie weiterführende Informationen?

ifd# XXX – Vorstellen der grafischen Benutzungsschnittstelle

Der simulierte Arbeitsplatz umfasst folgende Ausstattung und Funktion:

1. linker Monitor ... Zusatzaufgaben und Meldungen
2. mittlerer Monitor ... Prozesssteuerung der Schleuse
3. rechter Monitor ... Verkehrstagebuch, Meldungen und Prozessparameter
4. Tastatur und Maus ... für Eingabe in das Prozessleitsystem

Wir werden zunächst mit Ihnen den Schleusungsvorgang durchgehen, in dem es darum geht, möglichst viele Schiffe zu schleusen und die zusätzlichen Aufgaben, die wir Ihnen reichen, zu erfüllen.

Nachdem sich ein Schiff für eine Schleusung angemeldet hat, wird dieses der Anlagensteuerung übergeben. Eine Schleusung verläuft immer geradlinig in eine Richtung. Das heißt:

Bergschleusung (oder zu Berg):

1. Tor UH: "Öffnen"
2. EFS UH: "Grün"
3. Tor UH: "Schließen" und "Pegelausgleich einleiten"
4. Warten, bis Pegelausgleich stattgefunden hat
5. Tor OH: "Öffnen"
6. AFS OH: "Grün"
7. Tor OH: "Schließen"

Nachdem das Schiff aus der Schleusenkammer ausgefahren ist, muss das geschleuste Schiff in das Verkehrstagebuch übernommen werden. Mit der Übernahme schließen Sie die Aufgabe ab. Es können danach keine weiteren Bedienhandlungen bzw. Zusatzaufgaben bearbeitet werden. Deswegen bitte erst die Zusatzaufgabe über „Weiter“ beenden und dann das Schiff ins Verkehrstagebuch übernehmen.

Haben Sie dazu noch Fragen oder benötigen Sie weiterführende Informationen?

"Die grafische Benutzungsschnittstelle der Schleusenanlage unterteilt sich in zwei Bereiche:

1. mittlerer Monitor: Bedienung der Schleusenanlage
2. rechter Monitor: Verkehrstagebuch und die zu überwachende Prozessparameter

Während das Verkehrstagebuch und die zu überwachenden Prozessparameter stets identisch dargestellt werden, werden für die Bedienung der Schleusenanlage drei Darstellungsformen unterschieden:

Layout 1 - Operatorführung, Verriegelungen: aktiv

Für die Operatorführung wird die grafische Benutzungsoberfläche in den Übersichts- und Arbeitsbereich unterteilt. Die Bedienung erfolgt hier ausschließlich über den Arbeitsbereich an der rechten Seite des Bildschirms. Für größtmögliche Sicherheit sind alle Verriegelungen aktiv und verhindern eine falsche Reihenfolge der Bedienschritte.

Layout 2 - ohne Operatorführung, Verriegelungen: sicherheitsrelevante Verriegelungen aktiv

In dieser Darstellungsvariante sind Orientierungs- und Arbeitsbereich identisch. Es können Bedienschritte freige wählt werden. Verriegelungen gelten nur für sicherheitsrelevante Bedienhandlungen.

Layout 3 - Instandhaltungszugang, Verriegelungen: keine

Trotz ausführlicher Erprobung und Fehlersuche kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Darstellungsform auch unaufgefordert aktiv wird. Der Hersteller der Software arbeitet mit Hochdruck an einer Behebung des Problems.

ACHTUNG: In dieser Darstellungsform können alle Bedienschritte freige wählt werden und es sind KEINE Verriegelungen aktiv. Besondere Sorgfalt ist geboten!

Die Prozessparameter der Schleuse werden in Form von drei Balken grafisch dargestellt. Sie ändern sich in Amplitude und Farbe. Um ein Weiterschleusen zu gewährleisten, müssen die Prozessparameter beobachtet werden und bei Veränderungen reagiert werden. Wird nicht angemessen reagiert, kommt das

F2359-2.1 Textbausteine VL

System zum Stillstand und es wird eine Störungsmeldung initiiert. Bei Prozessen mit besonderen Gefährdungen, welche nur durch eine Person ausgeführt werden, sind Schutzmaßnahmen, wie beispielsweise ein Totmannschalter, angezeigt. Damit werden die Anforderungen der Maschinenrichtlinie umgesetzt.

Über weitere Besonderheiten werden Sie später automatisch durch eine Computerinstruktion hingewiesen. Sie können sich aber jetzt schon mal die optimale Arbeitshöhe des Tisches einstellen.

Haben Sie dazu noch Fragen oder benötigen Sie weiterführende Informationen?

ifd# XXXX – Abschlussfragen Vorbereitung

Bitte beachten Sie, dass keine Pause für die nächste gute Stunde vorgesehen ist, wenn noch eine benötigt wird, dann am besten jetzt.

Wenn nein, wird das Hauptprogramm aktiviert und Sie erhalten noch eine Computerinstruktion. Im Notfall oder wenn Sie gar nicht mehr weiterkommen sollten, sagen Sie bitte Bescheid.

Aber eigentlich ist der weitere Versuch selbsterklärend. Sie machen das schon!! Dann, immer eine Handbreit Wasser unterm Kiel... Drücken Sie bitte auf Start!

ifd# XXXX – Verabschiedung

Nachdem Sie die Versuche mit Bravour abgeschlossen haben möchten wir Ihnen noch ausgewählte Fragen zur Durchführung stellen...

Haben Sie uns Ihre Kontaktdaten hinterlegt?

Möchten Sie über die Ergebnisse per Email informiert werden?

Dann herzlichen Dank für Ihr Engagement und die Bereitschaft hier mitzuwirken. Wir wünschen Ihnen einen guten Heimweg...

29 Handout Verfahrensanweisungen zu den Versuchsaufgaben

Verfahrensanweisungen

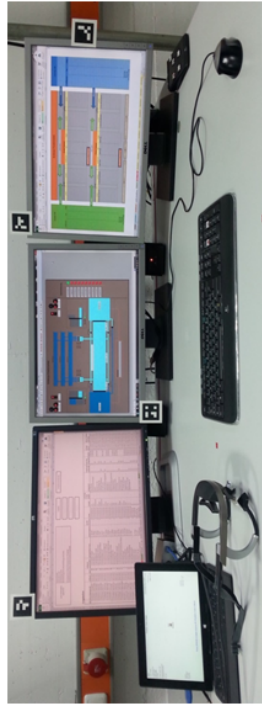


Inhaltsverzeichnis

Arbeitsplatz	Ausstattung	2
	Zweck der Versuche	2
Schiebung	Zweck	3
	Art der Anlage	3
	Bestandteile der Anlage	3
	Ablauf	4
	Operatorführung	4
	Graphische Benutzungsschnittstelle	4
	Prozessparameter	5
Instandhaltung	Zweck	6
	Ablauf	
Zutrittskontrolle	Zweck	7
	Zutrittscode	7
	Ablauf	8
	Freigabeliste	9
Administrative Aufgaben	Zweck	10
	Ablauf	
Überprüfen der Dokumentation	Zweck	11
	Ablauf	

Arbeitsplatz

Der simulierte Arbeitsplatz umfasst folgende Ausstattung und Funktion:
 ... zur individuellen Anpassung der Arbeitsflächenhöhe
 ... Untersuchungssoftware und Fragebögen
 ... Zusatzaufgaben und Meldungen
 ... Prozesssteuerung der Schleuse
 ... Verkehrstagebuch, Meldungen und Prozessparameter
 ... für Eingabe in das Prozessleitsystem



Zweck der Versuche

Mit Ihrer Teilnahme an den Versuchen tragen Sie einen wesentlichen Teil zum Erkenntnisgewinn im Bereich Multitasking bei. Die Ergebnisse werden dazu benutzt, um die Auswirkungen der Art und Anzahl zusätzlicher Aufgaben zu den einzelnen Steuerungsprozessen zu ermitteln. Somit ist es für die Versuchsdurchführung zwingend notwendig, dass Sie die Ihnen übertragenen Aufgaben sorgfältig, ernsthaft und gewissenhaft bearbeiten. Die Versuchsleitung wird dies prüfen und Ihnen Rückmeldung dazu geben. Fällt diese Rückmeldung dreimal negativ aus, wird der Versuch an der Stelle vorzeitig beendet. Für eine korrekte Bearbeitung sind folgende Punkte äußerst wichtig:

- Zusatzaufgaben in der zur Verfügung stehenden Zeit vollständig bearbeiten und
- auf die Veränderung der Prozessparameter (Balkendiagramm) zeitnah und korrekt reagieren.

Nach Durchführung aller Versuche werden die Leistungsparameter anonymisiert arbeitgeberbezogen ausgewertet und in einer Rangfolge dargestellt.

Schleusung

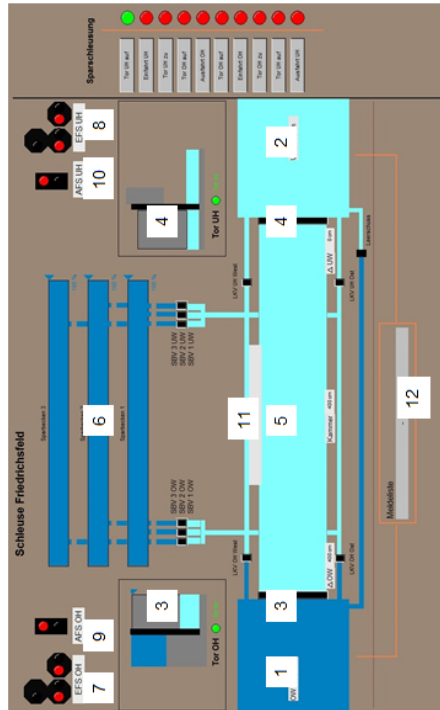
Zweck Eine Schiffsschleuse gewährleistet die Durchlässigkeit von Wasserstraßenabschnitten bei unterschiedlichen Wasserständen.

Art der Anlage Die hier zu bedienende und zu überwachende Schleusenanlage ist eine Kanalschleuse. Um den Wasserverbrauch zu minimieren, werden Sparbecken (6) eingesetzt, in denen das Wasser während des Schleusenvorgangs zwischengespeichert wird.

Bestandteile der Anlage Den Eingangsbereich in die Schleusenanlage bilden zwei Vorhafen, der obere (1) und der untere (2) Vorhafen, mit Anlegestellen. Der Bereich im oberen Vorhafen wird mit "Oberwasser", der im unteren Vorhafen mit "Unterwasser" bezeichnet. Den Eingang in die Schleusenammer mit den jeweiligen Toren wird mit Oberhaupt (OH, 3) bzw. Unterhaupt (UH, 4) bezeichnet. Die Schleusenammer (5) bildet den Kernbereich der Anlage.

An den Hauptern befinden sich Signalanlagen (Ampeln), welche die Ein- und Ausfahrt der Schiffe in bzw. aus der Schleusenammer regeln. Außerhalb der Kammer befinden sich die Einfahrtsignale (EFS): EFS OH (7), EFS UH (8). Diese zeigen der Schifffahrt auch bei geöffnetem Tor an, dass bei "Grün" in die Kammer eingefahren werden darf oder bei "Rot" nicht eingefahren werden darf bzw. ob die Schleusenanlage gesperrt ist. Ein Schiff in der Schleusenammer wird unter (11) angezeigt.

Innerhalb der Kammer befinden sich die Ausfahrtsignale (AFS): AFS OH (9) und AFS UH (10). Bei "Grün" weisen die AFS die Schifffahrt an, aus der Kammer auszufahren. Trotz geöffnetem Tor darf die Schifffahrt bei "Rot" nicht aus der Kammer ausfahren.



Ablauf

Nachdem sich ein Schiff für eine Schleusung angemeldet hat, wird dieses der Anlagensteuerung übergeben und erscheint in (12). Eine Schleusung verläuft immer in eine Richtung. Das heißt:

- Vom Unterwasser ins Oberwasser:
 - Tor UH (4) "öffnen"
 - EFS UH (8) "Grün" schalten
 - Tor UH (4) "schließen" und "Pegelausgleich einleiten"
 - Warten, bis Pegelausgleich stattgefunden hat (Füllstand der Sparbecken beträgt 0%)
 - Tor OH (3) "öffnen"
 - AFS OH (9) auf "Grün" schalten
 - Tor OH (3) "schließen"
- Vom Oberwasser ins Unterwasser:
 - Tor OH (3) "öffnen"
 - EFS OH (7) auf "Grün" schalten
 - Tor OH (3) "schließen" und "Pegelausgleich einleiten"
 - Warten, bis Pegelausgleich stattgefunden hat (Füllstand der Sparbecken beträgt 100%)
 - Tor UH (4) "öffnen"
 - AFS UH (10) auf "Grün" schalten
 - Tor UH (4) "schließen"

Nachdem das Schiff aus der Schleusenammer ausgefahren ist, muss das geschleuste Schiff in das Verkehrstagebuch übernommen werden. Dies geschieht auf Nachfrage durch eine Meldung automatisch.

Die grafische Benutzungsschnittstelle der Schleusenanlage unterteilt sich in zwei Bereiche:

- mittlerer Monitor: Bedienung der Schleusenanlage
- rechter Monitor: Verkehrstagebuch und zu überwachende Prozessparameter

Während das Verkehrstagebuch und die zu überwachenden Prozessparameter stets identisch dargestellt werden, werden für die Bedienung der Schleusenanlage drei Darstellungsformen unterschieden:

Layout 1 - Operatorführung, Verriegelungen: aktiv
 Für die Operatorführung wird die grafische Benutzungsoberfläche in den Übersichts- und Arbeitsbereich unterteilt. Die Bedienung erfolgt hier ausschließlich über den Arbeitsbereich an der rechten Seite des Bildschirms.

Der nächste auszuführende Prozessschritt wird durch ein grünes Dauerlicht vorgegeben. Hierbei ist zu beachten, dass erst nach erfolgtem Pegelausgleich das entsprechende Schleusentor zu betätigen ist.

Für größtmögliche Sicherheit sind alle Verriegelungen aktiv und verhindern eine falsche Reihenfolge der Bedienschritte.

Layout 2 - ohne Operatorführung, Verriegelungen:
sicherheitsrelevante Verriegelungen aktiv

In dieser Darstellungsvariante sind Orientierungs- und Arbeitsbereich identisch. Es können Bedienschritte frei gewählt werden. Verriegelungen gelten nur für sicherheitsrelevante Bedienhandlungen.

Layout 3 - Instandhaltungszugang, Verriegelungen: keine
Trotz ausführlicher Erprobung und Fehlersuche kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Darstellungsform auch unaufgefordert aktiv wird. Der Hersteller der Software arbeitet mit Hochdruck an einer Behebung des Problems.

ACHTUNG: In dieser Darstellungsform können alle Bedienschritte frei gewählt werden und es sind KEINE Verriegelungen aktiv.

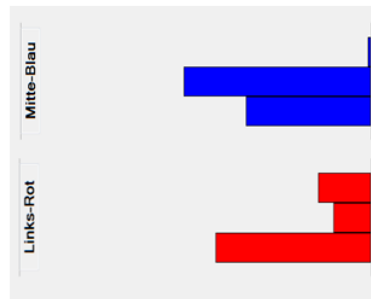
Besondere Sorgfalt ist geboten!

Die Prozessparameter der Schleusung werden in Form von drei Balken grafisch dargestellt und während des Pegelausgleichs eingeblendet. Sie ändern sich in Amplitude und Farbe. Um ein Weiterschleusen zu gewährleisten, müssen die Prozessparameter beobachtet und bei Veränderungen reagiert werden (siehe unten). Wird nicht angemessen reagiert, kommt das System zum Stillstand und es wird eine Störungsmeldung initiiert. Bei Prozessen mit besonderen Gefährdungen, welche nur durch eine Person ausgeführt werden, sind Schutzmaßnahmen, wie beispielsweise ein Totmannschalter, angezeigt. Damit werden die Anforderungen der Maschinennichtlinie umgesetzt.

Prozessparameter

Verändert sich die Farbe der Prozessparameter von Rot auf Blau oder umgekehrt, muss dies mit der Taste "Farbe" auf dem separaten Tastenfeld bestätigt werden. Bei einer Veränderung der Position des längsten Balkens, muss dies mit der Taste "Balken" quittiert werden. Der letzte quittierte Stand wird in Textform am oberen Rand angezeigt.

□



5

Instandhaltung

Zweck Auftretende Störungsmeldungen müssen für die Instandhaltung aufbereitet werden. Auf dieser Basis wird ein Instandhaltungsteam aktiv und arbeitet an der Beseitigung der Störung.

Ablauf Bei einer auftretenden Störungsmeldung wird:

1. die Störungsmeldung quittiert,
2. die Störungsmeldung kurz dokumentiert
3. einen Lösungshinweis für die Instandhaltung erarbeitet

6



Zutrittskontrolle

Zweck

Zutrittsbegehren laufen in der Leitzentrale auf. Die Operateure in der Leitzentrale entscheiden darüber, ob dem Zutrittsgesuch stattgegeben oder ob es abgelehnt wird. Zutrittsbegehren werden unterschieden nach dem Bereich der Anlage:

- Bereiche mit eingeschränktem Zutritt
 - Bereiche für Zutritt mit eingeschränktem Zutritt
 - Bereiche für allgemeinen Zutritt
- Diese Bereichen mit geringem Gefährdungspotenzial unterliegen keiner Zutrittsbeschränkung und können von jeder Person auf dem Anlagengelände betreten werden.

Zutritt zu Bereichen der Anlage mit erhöhtem Gefährdungspotenzial stehen nur Personen/Firmen zu, die einer vorherigen Akkreditierung unterzogen wurden. Bei erfolgreicher Akkreditierung wird ein Berechtigungscode ausgestellt.

Dieser Berechtigungscode wird zur Anmeldung an der entsprechenden Eintrittsstelle eingegeben und an die Leitzentrale übermittelt.

Alle Daten zu Firmen/ Personen auf dem Gelände sind in der Freigabeliste enthalten.

Zutrittscode

Zum Eintritt in Bereich mit eingeschränktem Zutritt wird ein Berechtigungscode benötigt, wie z. B. 150325B12_IV09708BL. Dieser setzt sich zusammen aus folgenden Informationen:

150325 - Datum, ab wann die Berechtigung gültig ist

B - Kategorie, wie häufig die Person/ Firma auf der Anlage bisher tätig waren

12 - Anzahl der angemeldeten Personen

IV - Kürzel des Verwaltungsmitarbeitenden

09708 - Ablagenummer in Verwaltung

Zufallsgenerierte Variable zu

BL - Erhöhung der Sicherheit

Ablauf

Bereiche für allgemeinen Zutritt (ohne Berechtigungsnachweis bzw. eigene Mitarbeiter)

Bei anstehendem Zutrittsgesuch geben Sie den Zutritt so schnell wie möglich frei.

Bereiche für Zutritt mit Berechtigungsnachweis (eingeschränkter Zutritt)

1. a) Bei anstehendem Zutrittsgesuch wird ein Berechtigungscode angegeben; eigene Mitarbeiter benötigen jedoch keinen.
b) Wird dieser nicht angegeben, fordern Sie diesen an.
c) Vergleichen Sie den angegebenen Berechtigungscode mit den Einträgen in der Freigabeliste.
2. a) Die Notwendigkeit zur Sperrung eines Anlagenteils wird in der Freigabeliste angezeigt.
b) Sperren Sie bei Notwendigkeit den Teil der Anlage über die Taste "Anlagenteil sperren".
3. Falls Prüfung des Berechtigungscode positiv, tragen Sie durch ihr Kürzel das Zutrittsbegehren in die Freigabeliste ein. Dieser Schritt entfällt, falls dies bereits durch einen Kollegen durchgeführt wurde. Freigabe oder Ablehnen des Zutrittsgesuchs
4. a) Falls Prüfung (#1c) positiv, geben Sie den Zutritt mit der "Freigabe"-Taste frei.
b) Falls Prüfung (#1c) negativ, lehnen Sie das Zutrittsgesuch mit der "Ablehnen"-Taste ab.

Freigabeliste

Die Freigabeliste umfasst alle Informationen zu angemeldeten Zutrittsbegehren. Auf Basis der Freigabeliste kann stets Auskunft gegeben werden, welche Firma sich mit welchem Auftrag auf der Anlage befindet.

- Hierbei sind vor allem 4 Einträge relevant:
1. Ist das Zutrittsbegehren angemeldet?
 2. Muss ein Anlagenteil gesperrt werden, um mögliche Gefährdungen von Personen auszuschließen?;
 3. Wurde der Einlass und die etwaige Sperrung bereits dokumentiert? und
 4. Wie viele Personen müssen im Evakuierungsfall am Sammelpunkt anwesend sein?



Administrative Aufgaben

Zweck

Zur Unterstützung der Verwaltung der Schleusenanlage werden Aufgaben aus dem administrativen Bereich auf die Operateure der Leitzentrale übertragen. Diese Aufgaben umfassen:

- a) zur Kenntnis nehmen schiffahrtspolizeilicher Meldungen
- b) Statistiken erstellen
- c) Optimierungsvorschläge erarbeiten

Ablauf

- a) zur Kenntnis nehmen schiffahrtspolizeilicher Meldungen
Lesen Sie aufmerksam die eingehende Meldung. Haben Sie die Meldung zur Kenntnis genommen, unterzeichnen Sie diese mit dem Datum und Ihrem Kürzel.
- b) Statistiken erstellen
Um die in den gesammelten Daten beinhalteten Informationen auswerten zu können, werden verschiedenste Statistiken erstellt. Nutzen Sie die Filterfunktionen und stellen Sie damit die benötigten Informationen zusammen.
- c) Optimierungsvorschläge erarbeiten
In der täglichen Arbeitsroutine fallen nicht optimale Abläufe auf. Diese werden über das entsprechende Formblatt in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess eingebracht. Um eine Vielzahl von Meinungen zu berücksichtigen, werden diese Optimierungsbedarfe mit den anderen Operateuren diskutiert. Dafür wird ein Formular bereitgestellt, welches ausgefüllt werden muss.

Überprüfen der Dokumentation

Zweck

Es muss sichergestellt werden, dass die Verfahrensanweisungen aktuell sind. Dafür fallen regelmäßig Aufgaben an, welche durch die Operateure der Leitzentrale übernommen werden. Die Verfahrensanweisungen werden:

- 1) auf Gültigkeit überprüft ggf. zur Bearbeitung vorgemerkt
- 2) im Rahmen der Bearbeitung auf Richtigkeit überprüft und ggf. überarbeitet
- 3) die Inhaltsverzeichnisse (inkl. Gültigkeitsdauer) aktualisiert.

Ablauf

- 1) auf Gültigkeit überprüfen und ggf. zur Bearbeitung vormerken
Um die Aktualität der Dokumente zu gewährleisten, besitzen die Dokumente der Verfahrensanweisungen eine Gültigkeitsdauer von 45 Tagen.
Dokumente die älter sind, werden im Inhaltsverzeichnis markiert.
Die markierten Dokumente werden in einem nächsten Schritt auf inhaltliche Richtigkeit überprüft. Sind getroffene Angaben bzw. Informationen veraltet, werden diese aktualisiert (siehe Schritt 1).
- 2) Inhaltsverzeichnisse (inkl. Gültigkeitsdauer) aktualisieren
Ist die inhaltliche Überarbeitung abgeschlossen, werden die Einträge in den Inhaltsverzeichnissen an den aktuellen Stand angepasst. Jedes Dokument ist hier mit Erstelldatum und dem Datum, ab welchem es gültig ist, hinterlegt.
- wurde ein Dokument inhaltlich überarbeitet, ändert sich entsprechend das Erstelldatum;
- wurde keine inhaltliche Anpassung vorgenommen, wird die Gültigkeitsdauer um weitere 45 Tage verlängert, in dem das Datum "Gültig ab" auf das aktuelle Datum angepasst wird.

30 Funktionsweise der Artefaktminimierung bei kardiologischen Daten

Für die objektiven kardiologischen Beanspruchungsparameter werden als Rohdaten die Abstände zwischen den R-Zacken (inter beat interval, IBI [ms]) im Elektrokardiogramm (EKG) registriert (siehe Abb. 8.27).

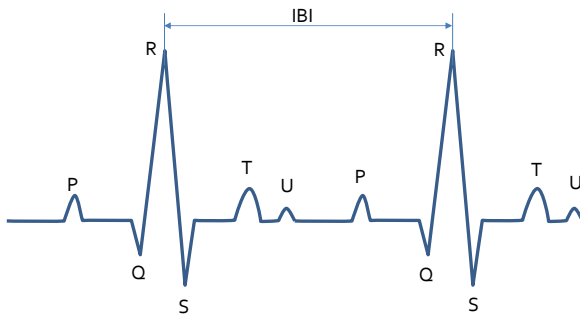


Abb. 8.27 exemplarischer EKG-Verlauf (eigene Darstellung)

Hierbei entspricht ein über 60 sek gemittelt IBI von 1000 ms einem Herzschlag von $60 \text{ Schläge} \times \text{min}^{-1}$. Die weitere mathematische Analyse ermöglicht, verschiedene Beanspruchungswerte aus der Herzfrequenz zu ermitteln. Es wird unterschieden in Zeitreihenanalysen und Frequenzbandanalysen.

Zu den statistischen Zeitreihenanalysen gehören zum Beispiel die Herzfrequenz und die Herzfrequenzvariabilität. Damit können bspw. beanspruchungsspezifische Veränderungen der Herzfrequenz sichtbar gemacht werden.

Frequenzbandanalysen werden dann angewendet, wenn die Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz detaillierter untersucht werden sollen. Um die Herzfrequenz spektral auflösen zu können, wird meist eine Fast Fourier Analyse eingesetzt. Mittels weiterer Berechnungen wird die spektrale Leistungsdichte für festgelegte Frequenzbänder ermittelt, z. B. „niedrige Frequenzen“ (LF = 0,04-0,15 Hz) oder „hohe Frequenzen“ (HF = 0,15-0,4 Hz). Beide Frequenzbänder weisen eine ähnliche spektrale Leistungsdichte (power spectral density, psd) im Ruhezustand auf. Bei einer Beanspruchungszunahme steigt die spektrale Leistungsdichte im Frequenzband „niedrige Frequenzen“, wohingegen sie für „hohe Frequenzen“ abnimmt. Um möglichst objektiver Beanspruchungswerte zu erhalten, werden die spektralen Leistungsdichten normalisiert und ins Verhältnis gesetzt $\frac{psd_{LF_{norm}}}{psd_{HF_{norm}}}$.

Die Detektion von Artefakten, z. B. durch Husten oder Empfangsstörungen, erfolgte mittels statischem Mittelwert ± 2 -fache Standardabweichung über den gesamten Messzeitraum. Die Auswirkungen der Artefaktminimierung werden exemplarisch für 266 Messwerte (Aufnahmelänge: 247 sek, entspricht Herzfrequenz von $65 \text{ Schlägen} \times \text{min}^{-1}$) in Abb. 8.28 grafisch aufbereitet: das obere Diagramm enthält die Rohdaten inklusive statischem Mittelwert ± 2 -fache Standardabweichung, das untere Diagramm zum Vergleich die bereinigten Daten mit dem Anteil der Originaldaten (unterer Graph).

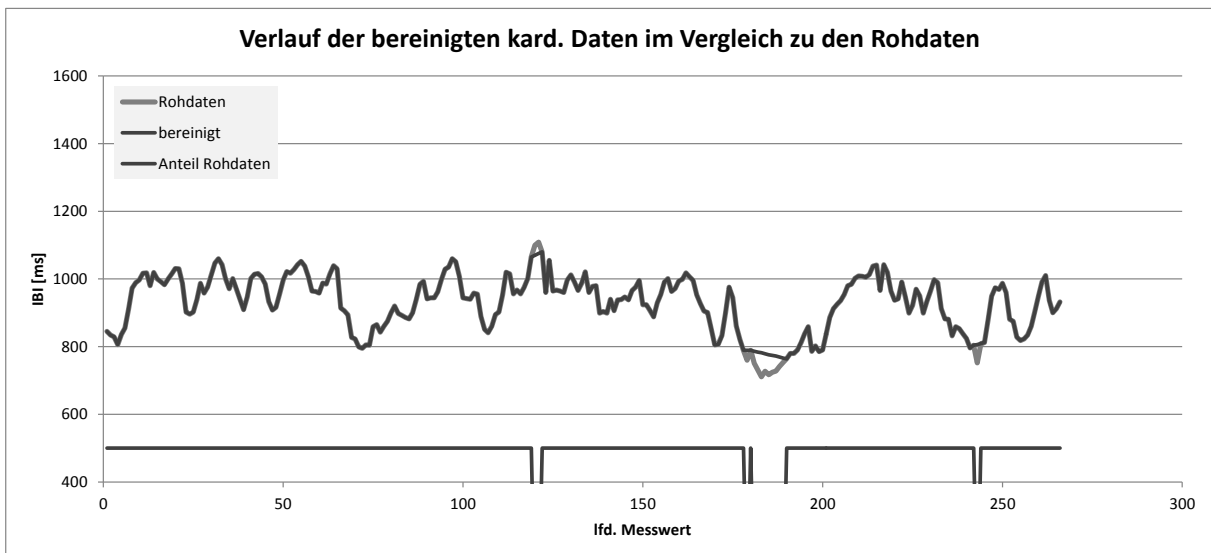
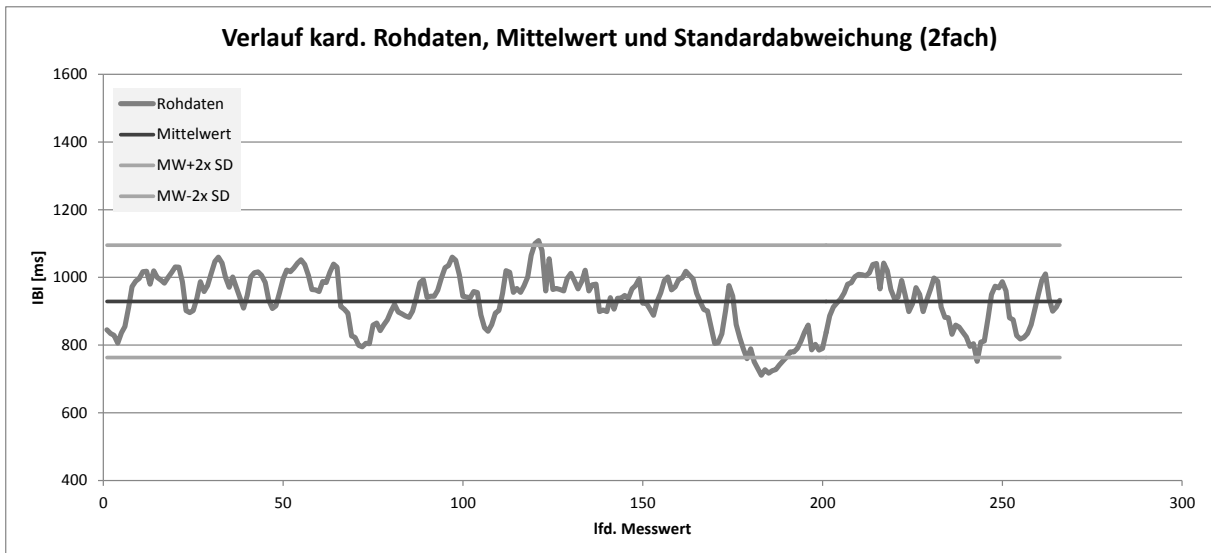


Abb. 8.28 oben: Kardiologische Rohdaten (dunkelgrau, dick) mit gleitendem Mittelwert (schwarz) und Bandbreite aus ± 2 -fache Standardabweichung (hellgrau, dünn) | unten: Kardiologische Rohdaten (dunkelgrau, dick) und bereinigte Werte (schwarz) mit Anteil von Rohdaten (schwarz)

31 Funktionsweise der Artefaktminimierung bei okulomotorische Daten

Der Anhang gibt einen Überblick über die Funktionsweise zur Artefaktminimierung, bestehend aus Artefaktdetektion und -beseitigung durch geradlinige Interpolation. Die Detektion von Bewegungsartefakten, z. B. durch Lidschluss, erfolgte mittels gleitendem Mittelwert (30 Messpunkte) \pm 2-fache Standardabweichung (Zellen C6). Die Auswirkungen unterschiedlich langer Mittelwertintervalle in Kombination mit ein- und zweifacher Standardabweichung auf die Rohdaten sind in Tab. 8.6 dargestellt.

Tab. 8.6 Anzahl bereinigter Messpunkte für verschiedene Kombinationen aus Mittelwert und Standardabweichung, Anzahl Messpunkte gesamt $n = 2394$

	A	B		C	
1		\pm einfache Standardabweichung		\pm zweifache Standardabweichung	
2	Mittelwertintervall [Messpunkten]	absolut	relativ [%]	absolut	relativ [%]
3	5 (entspricht 17 ms)	1513	63	821	34
4	10 (entspricht 33 ms)	1458	61	685	29
5	15 (entspricht 167 ms)	1407	59	609	25
6	30 (entspricht 333 ms)	1356	57	502	21
7	60 (entspricht 666 ms)	1189	50	437	18

Die Auswirkungen der Artefaktminimierung werden exemplarisch für 260 Messwerte (Aufnahmelänge: 4,5 sek, entspricht Aufnahme Frequenz von 59 Hz) in Abb. 8.29 grafisch aufbereitet: das obere Diagramm enthält die Rohdaten inklusive gleitendem Mittelwert (30 Messwerte) \pm 2-fache Standardabweichung), das untere Diagramm zum Vergleich die bereinigten Daten mit dem Anteil der Originaldaten (unterer Graph). Hinweis: In Abb. 8.29 werden auf den x-Achsen die Messpunkte dargestellt. Aufgrund vorhandener Leerstellen (entspricht fehlenden Rohdaten, z. B. durch Lidschluss) können die Intervalle ggf. nicht äquidistant sein.

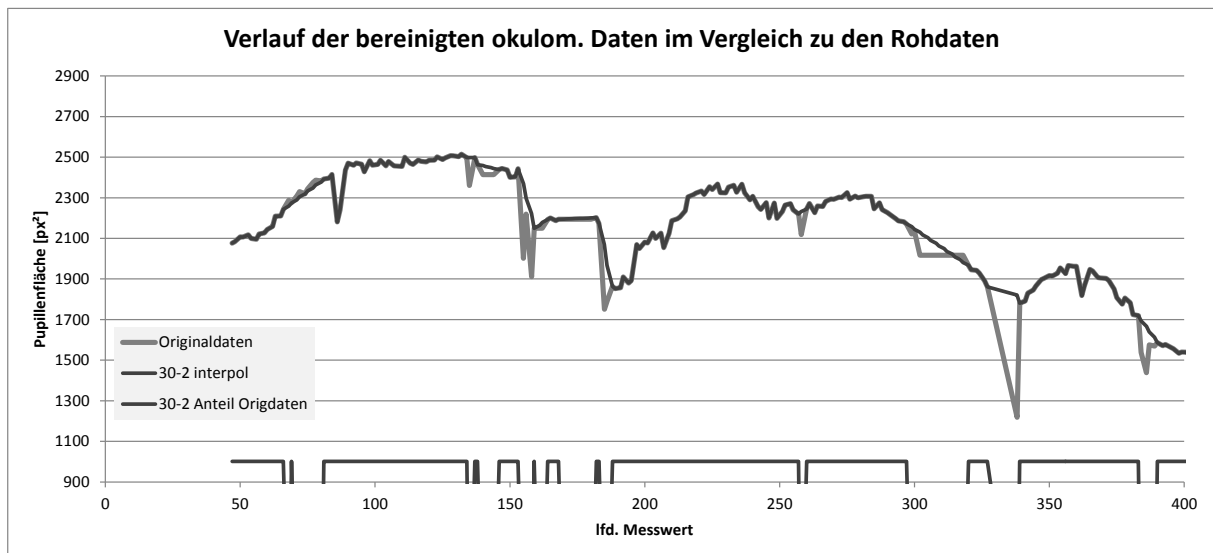
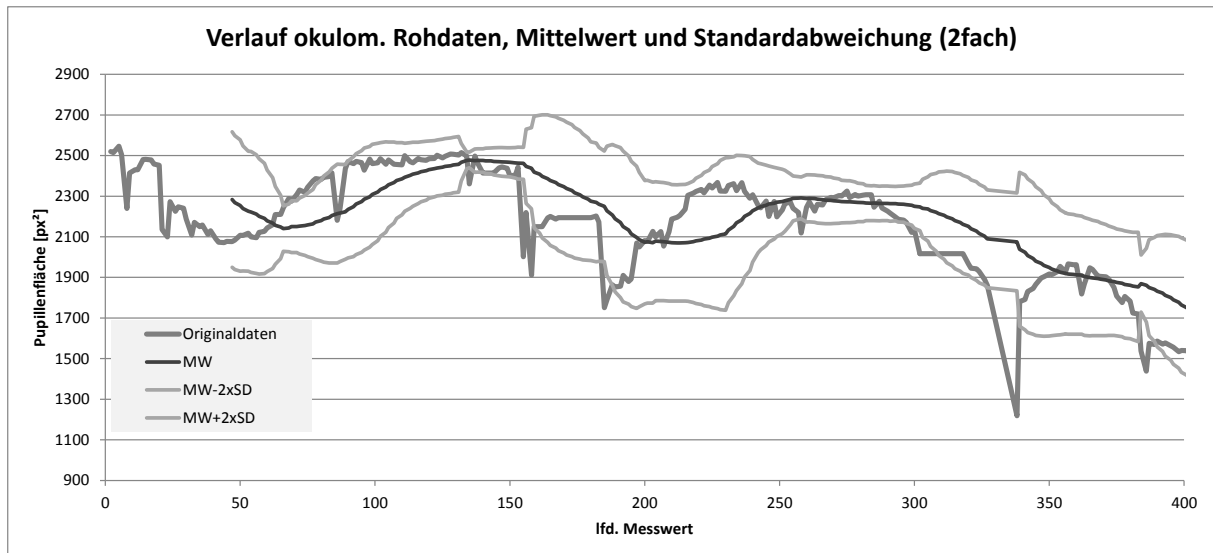


Abb. 8.29 oben: Okulomotorische Rohdaten (dunkelgrau, dick) mit gleitendem Mittelwert (schwarz) und Bandbreite aus ± 2 -fache Standardabweichung (hellgrau, dünn) | unten: Okulomotorische Rohdaten (dunkelgrau, dick) und bereinigte Werte (schwarz) mit Anteil von Rohdaten (schwarz)

32 Rückmeldung über das Bearbeitungsverhalten

Bitte genauer arbeiten!

Bitte genauer arbeiten!

Bitte schneller arbeiten!

Bitte schneller arbeiten!

Bitte besser konzentrieren!

Bitte besser konzentrieren

**Haben Sie sich
Notizen gemacht?**

Bitte genauer lesen!

33 Ergebnisse der Mittelwertvergleiche soziodemografischer Daten

Mittelwertvergleiche: Datengrundlage Einzeldaten pro Versuchsperson gruppiert nach Parameter (Matrixdimension: 29 Zeilen x 1549 Spalten)														
Teil_1/2	Versuchsgruppe	Alter	Geschlecht	Sehhilfe	Berufserfahrung	Branche	Teilnahme (ArbZ) freigestellt	Erfüllungsgrad dzb	Empfinden bzgl.ZA	Ermüdung am Ende	Eyetracking beeinflusst Aufgabenbearbeitung	Gewicht	Größe	BMI
Ist_RSMEabs	,621	,362	,222	,083	,447	,000	,083	,687	k.A.	,897	k.A.	,222	,222	,396
absAbw.Bewertung	,609	,054	,549	,139	,760	,736	,087	,529	k.A.	,837	k.A.	,315	,284	,852
HRV	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
slopeHRV	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
PSDFnorm	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
PSDLfnorm	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
PSDLFHRatio	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
pupdia_MW	,377	,368	,569	,416	,314	,166	,251	,689	k.A.	,619	k.A.	,180	,244	,389
APCPS_MW	,692	,491	,472	,678	,153	,332	k.A.	,625	k.A.	k.A.	k.A.	,147	,422	,330
Abfragen	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Bedienfehler	,003	,099	,893	,712	,633	,064	,074	,953	k.A.	,306	k.A.	,959	,444	,973
falsehits	,746	,383	,531	,796	,141	,336	,408	,477	k.A.	,540	k.A.	,259	,289	,492
falsehits_f	,739	,455	,543	,795	,163	,284	,361	,459	k.A.	,606	k.A.	,179	,206	,673
falsehits_l	,753	,190	,655	,690	,143	,499	,638	,546	k.A.	,521	k.A.	,364	,498	,297
hits	,290	,608	,901	,066	,321	,874	,733	,624	k.A.	,852	k.A.	,900	,948	,305
hits_f	,514	,411	,990	,149	,263	,797	,916	,824	k.A.	,513	k.A.	,481	,602	,763
hits_l	,457	,212	,618	,060	,734	,931	,855	,697	k.A.	,811	k.A.	,841	,611	,070
IstLIP	,008	,914	,875	,779	,290	,040	,681	1,000	k.A.	k.A.	k.A.	,914	,611	,497
IstTO	,802	,136	,531	,136	,136	,802	,802	k.A.	k.A.	,802	k.A.	k.A.	,802	k.A.
IstTSS	,001	,791	,955	,198	,270	,012	,462	,342	k.A.	,926	k.A.	,557	,074	,262
Karten	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
MArichtig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
misses	,167	,339	,511	,078	,267	,728	,609	,341	k.A.	,971	k.A.	,675	,472	,481
misses_f	,077	,387	,561	,119	,144	,350	,747	,225	k.A.	,618	k.A.	,356	,814	,895
misses_l	,234	,345	,401	,046	,559	,853	,669	,423	k.A.	,778	k.A.	,959	,359	,165
mittl.RT	,402	,452	,532	,342	,026	,812	,311	,529	k.A.	,907	k.A.	,981	,533	,747
ZA_nichtbearb	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
ZA_richtigbearb	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
SoilBewertung	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
SoilLIP	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
SoilTO	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
SoilTSS	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Hinweise:	sign. Unterschiede bei: 3													1%
rote Hervorhebung: signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen														

Mittelwertvergleiche: Datengrundlage Einzeldaten pro Versuchsperson gruppiert nach Parameter (Matrixdimension: 29 Zeilen x 1549 Spalten)													
Sport pro Woche	Migräne	Durchführungsdauer	Versuchsdauer	Versuchs-Dauer-Probeseit	Versuchsleitung	Hand	exp_Schl	exp_Excel	Medikamente	Rauchen	DSSQte	DSSQdis	DSSQwor
	,662	,470	,362	,955	,390	,224	,470	,376	,598	,222	,897	,925	k.A.
absAbw. Bewertung	,593	,605	,012	,410	,794	,327	,111	,873	,829	,685	,906	,154	k.A.
HRV	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
slopeHRV	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
PSDFnorm	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
PSDLfnorm	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
PSDLFHRatio	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
pupdia_MW	,323	,613	,831	,646	,226	,251	,491	,692	,186	,777	,035	,988	k.A.
APCPS_MW	,786	,512	,967	,997	,378	k.A.	,695	,558	,141	,950	,046	k.A.	k.A.
Abfragen	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Bedienfehler	,140	k.A.	,055	,043	,280	,293	,578	,104	,694	,067	,984	,483	k.A.
falsehits	,279	,850	,593	,289	,234	,927	,875	,712	,858	,623	,457	,492	k.A.
falsehits_f	,180	,793	,627	,444	,198	,952	,827	,594	,858	,613	,605	,467	k.A.
falsehits_l	,507	,957	,395	,129	,272	,911	,902	,691	,962	,656	,419	,674	k.A.
hits	,373	,441	,009	,552	,996	,503	,287	,473	,719	,424	,649	,470	k.A.
hits_f	,209	,591	,003	,528	,866	,440	,467	,432	,103	,214	,839	,456	k.A.
hits_l	,855	,338	,023	,165	,897	,713	,374	,335	,266	,763	,375	,361	k.A.
IstLIP	,539	,543	,914	,914	,239	k.A.	,807	,175	,903	,875	,480	,002	k.A.
IstTO	,531	k.A.	k.A.	,136	,136	,802	,802	,802	,531	,531	,000	,802	k.A.
IstTSS	,484	,272	,857	,411	,029	,018	,225	,406	,571	,729	,963	,322	,699
Karten	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
MArichtig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
misses	,867	,215	,005	,469	,843	,396	,156	,569	,093	,878	,887	,550	k.A.
misses_f	,659	,458	,002	,626	,934	,329	,186	,654	,205	,783	,985	,706	k.A.
misses_l	,994	,178	,030	,436	,779	,588	,172	,530	,034	,898	,618	,435	k.A.
mittl.RT	,876	,993	,029	,567	,194	,389	,299	,803	,026	,228	,490	,500	k.A.
ZA_nichtbearb	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
ZA_richtigbearb	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
SoilBewertung	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
SoilLIP	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
SoilTO	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
SoilTSS	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Hinweise:	sign. Unterschiede bei: 5												2%
rote Hervorhebung: signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen													

Mittelwertvergleich: Datengrundlage Mittelwerte der Parameter pro Versuchsaufgabe, gruppiert nach Soll-/Beanspruchung (Matrixdimension: 29 Zeilen x 128 Spalten)														
Teil-1/2	Versuchsgruppe	Alter	Geschlecht	Sehhilfe	Berufserfahrung	Branche	Teilnahme (ArbZ/ freigestellt)	Erfüllungsgrad dzb	Empfinden bzgl.ZA	Ermüdung am Ende	Aufgabenbearbeitung	Gewicht	Größe	BMI
Ist_RSMEabs	,305	,170	,694	,065	,467	,810	,631	,675	,378	,556	,380	,702	,427	,248
absAbw.Bewertung	,247	,040	,425	,356	,014	,152	,499	,772	,785	,485	,530	,127	,805	,418
HRV	,991	,660	,577	,446	,894	,797	,409	,901	,821	,575	,120	,728	,029	,725
slopeHRV	,525	,105	,761	,594	,427	,892	,611	,090	,541	,020	,128	,310	,172	,619
PSDFnorm	,849	,521	,408	,801	,486	,612	,224	,524	,368	,940	,017	,347	,168	,490
PSDLfnorm	,759	,680	,225	,586	,753	,894	,188	,635	,900	,633	,081	,465	,187	,522
PSDLfHFRatio	,902	,837	,446	,457	,654	,668	,065	,569	,322	,514	,207	,888	,406	,398
pupdia_MW	,980	,969	,491	,846	,222	,680	,123	,683	,612	,404	,932	,896	,987	,833
APCPS_MW	,956	,891	,445	,802	,180	,593	,109	,712	,604	,445	,931	,950	,964	,805
Abfragen	,045	,001	,080	,863	,177	,194	,518	,630	,381	,530	,796	,821	,264	,814
Bedienfehler	,001	,208	,523	,869	,032	,224	,893	,474	,155	,843	,951	,923	,945	,047
falsehits	,381	,339	,534	,722	,382	,676	,128	,422	,653	,570	,875	,133	,273	,383
falsehits_f	,552	,397	,606	,726	,566	,680	,244	,673	,375	,975	,802	,198	,586	,222
falsehits_l	,334	,297	,596	,496	,327	,729	,127	,331	,834	,228	,913	,196	,141	,724
hits	,875	,028	,540	,676	,989	,635	,408	,989	,795	,339	,371	,311	,056	,563
hits_f	,914	,011	,498	,203	,990	,330	,258	,759	,970	,225	,351	,283	,092	,864
hits_l	,555	,010	,471	,740	,895	,814	,321	,925	,996	,952	,460	,291	,016	,993
IstLIP	,008	,437	,050	,581	,021	,601	,974	,092	,809	,802	,157	,138	,479	,212
IstTO	,068	,001	,070	,159	,131	,017	,446	,282	,469	,282	,084	,271	,265	,904
IstTSS	,001	,384	,632	,225	,019	,533	,351	,591	,624	,737	,395	,253	,151	,639
Karten	,150	,062	,202	,838	,623	,315	,348	,712	,088	,601	,727	,404	,450	,174
MArichtig	,603	,024	,238	,380	,951	,437	,476	,858	,775	,625	,077	,603	,955	,886
misses	,603	,024	,238	,380	,951	,437	,476	,858	,775	,625	,077	,603	,955	,886
misses_f	,968	,028	,249	,109	,994	,264	,436	,646	,965	,203	,095	,527	,135	,884
misses_l	,385	,025	,229	,535	,907	,721	,549	,996	,832	,942	,146	,405	,032	,950
mittl.RT	,725	,203	,494	,719	,871	,058	,310	,931	,760	,984	,295	,645	,436	,761
ZA_nichtbearb	,010	,442	,677	,878	,186	,420	,436	,621	,235	,525	,544	,995	,233	,132
ZA_richtigbearb	,532	,640	,097	,753	,742	,987	,935	,110	,893	,078	,803	,369	,257	,048
SoilBewertung	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
SoilLIP	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
SoilTO	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
SoilTSS	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Hinweise:	sign. Unterschiede bei:				5	1%								
	rote Hervorhebung: signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen													

Mittelwertvergleiche: Datengrundlage Mittelwerte der Parameter pro Versuchsaufgabe, gruppiert nach Soll-/Beanspruchung (Matrixdimension: 29 Zeilen x 128 Spalten)														
Teil z/2	Sport pro Woche	Migräne	Durchführungsdauer	Versuchsdauer	Versuchs-Dauer-Probeset	Versuchsleitung	Hand	exp_Schl	exp_Excel	Medikamente	Rauchen	DSSQte	DSSQdis	DSSQwor
Ist_RSMEabs	,565	,631	,554	,035	,822	,133	,698	,873	,576	,736	,055	,597	,690	k. A.
absAbw.Bewertung	,928	,628	,708	,122	,356	,193	,437	,971	1,000	,485	,405	,574	,213	k. A.
HRV	,882	,236	,289	,277	,657	,792	,305	,893	,309	,109	,395	,192	,421	k. A.
slopeHRV	,299	,067	,034	,287	,519	,684	,258	,506	,512	,395	,285	,226	,475	k. A.
PSDFNorm	,469	,007	,133	,810	,703	,642	,151	,775	,624	,202	,469	,998	,240	k. A.
PSDLFNorm	,865	,030	,086	,896	,766	,660	,380	,586	,617	,171	,476	,950	,400	k. A.
pupdia_MW	,731	,108	,379	,723	,694	,730	,969	,764	,575	,432	,393	,596	,511	k. A.
APCPS_MW	,761	,395	,508	,380	,840	,200	,972	,612	,925	,825	,406	,514	,219	k. A.
Abfragen	,782	,437	,552	,407	,754	,197	,980	,612	,922	,890	,330	,491	,259	k. A.
Bedienfehler	,246	,080	,047	,822	,096	,665	,482	,800	,589	,279	,621	,439	,637	k. A.
falsehits	,991	,036	,022	,048	,384	,279	,347	,074	,730	,049	,258	,357	,912	k. A.
falsehits_f	,360	,898	,676	,090	,085	,922	,645	,807	,709	,780	,273	,203	,739	k. A.
falsehits_l	,826	,999	,863	,252	,038	,946	,859	,562	,907	,965	,483	,264	,554	k. A.
hits	,034	,664	,498	,039	,261	,895	,157	,871	,589	,717	,232	,235	,795	k. A.
hits_f	,065	,007	,055	,410	,272	,578	,186	,296	,334	,925	,929	,588	,772	k. A.
hits_l	,267	,121	,305	,092	,571	,727	,559	,225	,559	,984	,401	,397	,540	k. A.
hits_l	,023	,013	,013	,660	,140	,637	,099	,144	,283	,852	,557	,834	,674	k. A.
IstLIP	,219	,869	,239	,014	,270	,004	,212	,458	,814	,779	,509	,691	,374	k. A.
IstTO	,344	,010	,003	,260	,635	,311	,582	,885	,180	,452	,939	,363	,605	k. A.
IstTSS	,108	,891	,272	,069	,017	,006	,153	,754	,571	,877	,786	,369	,511	k. A.
Karten	,549	,370	,006	,202	,478	,001	,480	,413	,622	,428	,126	,266	,841	k. A.
MArichtig	,046	,026	,133	,547	,455	,388	,108	,569	,382	,629	,783	,870	,857	k. A.
misses	,046	,026	,133	,547	,455	,388	,108	,569	,382	,629	,783	,870	,857	k. A.
misses_f	,241	,063	,346	,257	,441	,326	,287	,612	,317	,751	,466	,691	,959	k. A.
misses_l	,012	,015	,043	,828	,382	,562	,060	,595	,346	,602	,762	,880	,990	k. A.
mittl.RT	,924	,108	,367	,347	,098	,306	,530	,668	,004	,376	,375	,384	,714	k. A.
ZA_nichtbearb	,996	,804	,117	,112	,643	,000	,152	,148	,796	,310	,246	,423	,428	k. A.
ZA_richtigbearb	,226	,666	,653	,250	,576	,284	,319	,002	,470	,013	,556	,047	,145	k. A.
SoilBewertung	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
SoilLIP	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
SoilTO	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
SoilTSS	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Hinweise:				sign. Unterschiede bei:	5	1%								
				rote Hervorhebung: signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen										

34 Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Belastungsfaktoren

Die Inhalte der folgenden Tabellen zeigen Mittelwerte \pm Standardabweichung und werden ohne Einheit angegeben.

Die Wertebereiche der Mittelwerte betragen: $TSS = [0 \dots 5]$, $LIP = [0 \dots 1]$, $TO = [0 \dots 1]$. Die Werte werden analog zur modelltheoretischen Beschreibung ohne Einheit angegeben (siehe Unterabschnitt 3.1.4 oder Anhang 5).

Gesamt

Tab. 8.7 Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Belastungsfaktoren pro Beanspruchungsstufe, [ohne Einheit], inkl. Ergebnisse der Mittelwertvergleiche (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, mit $\alpha = 0,0167$)

	Soll-TSS	Ist-TSS	Soll-LIP	Ist-LIP	Soll-TO	Ist-TO
unterfordernd	1,4 \pm 0,73	1,6 \pm 0,43	0,4 \pm 0,11	0,4 \pm 0,03	0,6 \pm 0,36	0,8 \pm 0,15
optimal (unkritisch)	2,0 \pm 1,11	2,2 \pm 0,63	0,6 \pm 0,21	0,6 \pm 0,05	0,4 \pm 0,21	0,6 \pm 0,12
überfordernd	3,1 \pm 1,20	3,8 \pm 1,15	0,7 \pm 0,27	0,8 \pm 0,09	0,4 \pm 0,28	0,5 \pm 0,11
Gesamt	2,4 \pm 1,29	2,8 \pm 0,83	0,6 \pm 0,26	0,7 \pm 0,06	0,5 \pm 0,29	0,7 \pm 0,11
Mittelwertvergleiche						
	unterfordernd - optimal(unkritisch)		optimal (unkritisch) - überfordernd		unterfordernd - überfordernd	
Ist-TSS	Z = 1,912	p > .017; r = .25	Z = 2,974	p < .01 ; r =.39	Z = 4,573	p < .001; r = .60
Ist-LIP	Z = 0,378	p > .017; r = .05	Z = 2,908	p < .001; r =.53	Z = 4,227	p < .001; r = .56
Ist-TO	Z = 1,912	p > .017; r = .25	Z = 1,633	p > .017; r =.21	Z = 4,703	p < .001; r = .62

Zusatzaufgaben

Tab. 8.8 Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Belastungsfaktoren für Versuchsaufgaben ohne und mit Bearbeitung von Zusatzaufgaben, [ohne Einheit]

	Soll-TSS	Ist-TSS	Soll-LIP	Ist-LIP	Soll-TO	Ist-TO
nein	2,2 \pm 1,16	2,2 \pm 0,00	0,6 \pm 0,23	0,6 \pm 0,00	0,4 \pm 0,22	0,4 \pm 0,07
ja	2,5 \pm 1,34	3,2 \pm 0,99	0,6 \pm 0,27	0,7 \pm 0,07	0,6 \pm 0,28	0,8 \pm 0,12
Gesamt	2,4 \pm 1,29	2,8 \pm 0,83	0,6 \pm 0,26	0,7 \pm 0,06	0,5 \pm 0,29	0,7 \pm 0,11

Mathematikaufgaben

Tab. 8.9 Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Belastungsfaktoren für Versuchsaufgaben ohne und mit Bearbeitung von Mathematikaufgaben, [ohne Einheit]

	Soll-TSS	Ist-TSS	Soll-LIP	Ist-LIP	Soll-TO	Ist-TO
ohne	2,1 \pm 1,27	2,6 \pm 0,75	0,5 \pm 0,22	0,5 \pm 0,05	0,5 \pm 0,30	0,7 \pm 0,11
mit	2,9 \pm 1,18	3,4 \pm 1,02	0,8 \pm 0,2	0,9 \pm 0,09	0,6 \pm 0,26	0,7 \pm 0,12
Gesamt	2,4 \pm 1,29	2,8 \pm 0,83	0,6 \pm 0,26	0,7 \pm 0,06	0,5 \pm 0,29	0,7 \pm 0,11

35 Auswertung der Prozessüberwachungsaufgabe

Tab. 8.10 Zusammenfassung der Leistungsdaten der Prozessüberwachungsaufgaben, gruppiert nach prognostizierten Beanspruchungsstufen, tatsächlichen Beanspruchungsstufen, mit und ohne Zusatzaufgaben, mit und ohne Mathematikaufgaben

		Gesamt			
		hits [%]	misses [%]	false hits [%]	mittl. RT [msek]
Soll-Beanspruchung	unterfordernd	76,7 ± 33,6	14,8 ± 24,51	22,7 ± 47,95	3056,5 ± 8411,23
	optimal (unkritisch)	71,5 ± 30,88	23,5 ± 26,77	21,6 ± 48,88	3647,4 ± 3122,79
	überfordernd	70,7 ± 29,71	26,3 ± 27,37	25 ± 56,48	4435,5 ± 5282,96
Ist-Beanspruchung	unterfordernd	74,3 ± 36,2	16,3 ± 27,69	17,2 ± 37,57	1880,8 ± 1891,17
	optimal (unkritisch)	73,6 ± 30,78	21,4 ± 26,16	24,9 ± 58,72	3782,3 ± 6040,71
	überfordernd	65,9 ± 27,38	33,1 ± 26,78	21,8 ± 36,01	5310 ± 3144,33
Zusatzaufgaben	nein	76,8 ± 35,42	11,5 ± 22,14	23,6 ± 43,75	2043,9 ± 1847,85
	ja	69,4 ± 27,83	29,7 ± 27,22	23,3 ± 56,53	4913,8 ± 6157,47
Mathematikaufgaben	nein	72,2 ± 30,87	23,4 ± 27,18	23,3 ± 55,41	3986,5 ± 5928,39
	ja	71,1 ± 30,74	23,8 ± 26,52	23,6 ± 42,88	3761,7 ± 2615,9
		Länge			
		hits_I [%]	misses_I [%]	false hits_I [%]	
Soll-Beanspruchung	unterfordernd	71,2 ± 37,4	15,3 ± 25,38	25,4 ± 62,71	
	optimal (unkritisch)	68,8 ± 33,58	23,7 ± 28,06	23 ± 54,08	
	überfordernd	65,5 ± 33,66	27,5 ± 29,5	24,3 ± 54,18	
Ist-Beanspruchung	unterfordernd	65 ± 42,43	14,2 ± 27,23	14,3 ± 34,39	
	optimal (unkritisch)	69,7 ± 33,72	22,2 ± 27,42	26,1 ± 62,92	
	überfordernd	62,8 ± 31,07	34,8 ± 29,96	22,2 ± 36,22	
Zusatzaufgaben	nein	69,9 ± 39,22	12 ± 22,21	24,8 ± 52,32	
	ja	66,4 ± 31,36	30,6 ± 29,6	23,6 ± 57,15	
Mathematikaufgaben	nein	68,5 ± 34,12	23,6 ± 28,47	24,4 ± 60,03	
	ja	65,2 ± 34,69	25,9 ± 29,19	22,9 ± 39,61	
		Farbe			Stichprobe
		hits_f [%]	misses_f [%]	false hits_f [%]	
Soll-Beanspruchung	unterfordernd	75,1 ± 39,14	10 ± 23,72	21,4 ± 51,47	141
	optimal (unkritisch)	70,5 ± 37,57	19,4 ± 29,86	22,6 ± 63,95	345
	überfordernd	74,8 ± 33,59	19,6 ± 28,68	23,6 ± 66,93	435
					Σ = 921
Ist-Beanspruchung	unterfordernd	73 ± 40,71	11,3 ± 26,32	12,1 ± 29,8	96
	optimal (unkritisch)	73,8 ± 36,93	16,2 ± 28	24,6 ± 71,83	617
	überfordernd	71,8 ± 30,74	26,8 ± 29,65	22,9 ± 46,6	208
					Σ = 921
Zusatzaufgaben	nein	74,1 ± 41,5	6,6 ± 20,49	20,3 ± 41,09	605
	ja	72,8 ± 32,86	24 ± 30,42	24,3 ± 72,69	316
					Σ = 921
Mathematikaufgaben	nein	72,3 ± 36,65	19 ± 29,6	22,8 ± 66	235
	ja	76,1 ± 34,12	15,4 ± 25,44	23,3 ± 56,3	686
					Σ = 921

36 Hintergrund zur Bestimmung der Prognosegüte

Die Beanspruchungsprognose erfolgte mittels einer dreistufigen Likert-Skala (1. unterfordernd, 2. optimal (unkritisch), 3. überfordernd). Im Versuch erfolgte die Bewertung durch die Versuchspersonen auf einer fünfstufigen Likert-Skala (1. unterfordernd, 2. unterfordernd/ optimal (unkritisch), 3. optimal (unkritisch), 4. optimal (unkritisch)/ überfordernd, 5. überfordernd). Die Notwendigkeit zur Erweiterung auf eine fünfstufige Bewertungsskala wurde im Rahmen der Vorversuche durch die Versuchspersonen zum Ausdruck gebracht.

Um die Prognosegüte auswerten zu können, mussten beide Skalen vereinheitlicht werden. Für die Reduzierung der fünfstufigen Likert Skala auf drei Stufen eigneten sich zwei Alternativen: a) ein konservativer Ansatz mit Zuordnung der Zwischenstufen zu den Extremwerten und b) ein Ansatz mit Zuordnung der Zwischenstufen zum Optimum (Mitte). Als Berechnungsgrundlage wurde die „absolute Abweichung“ zwischen prognostizierter und tatsächlicher Bewertungsstufe herangezogen. Die „absolute Abweichung“ klassifizierte wie folgt (siehe Tab. 8.11): bei Unterschreitung der Prognose „-1“, „-2“ usw.; keine Abweichung von der Prognose mit „0“; Überschreitung der Prognose mit „+1“, „+2“ usw.

Tab. 8.11 Matrix zur Bestimmung der absoluten Abweichung der Bewertung der Beanspruchung (Ist) vom prognostizierten Beanspruchungsniveau (Soll), inklusive Häufigkeiten (in Klammern gesetzt)

Soll \ Ist	unterfordernd	unterfordernd/ optimal (unkrit.)	optimal (unkrit.)	optimal (unkrit.)/ überfordernd	überfordernd
unterfordernd ($O_{Soll} = 200$)	0 (57)	+1 (9)	+2 (105)	+3 (29)	+4 (0)
optimal (unkrit.) ($O_{Soll} = 425$)	-2 (60)	-1 (16)	0 (221)	+1 (48)	+2 (68)
überfordernd ($O_{Soll} = 547$)	-4 (17)	-3 (8)	-2 (275)	-1 (83)	0 (145)

n = 1172, inkl. 60 nicht abgegebene Bewertungen

Zur Untersuchung der Prognosegüte wurde wie folgt vorgegangen:

1. Deskriptive Auswertung und Ermittlung des Wertebereiches der absoluten Abweichung zwischen prognostizierter und tatsächlicher Bewertung (Input Schritt 3) pro 41 Versuchsaufgaben;
2. Überprüfen der Voraussetzungen für parametrische Auswertung für die beiden auszuwertenden Datensätze gegen die unabhängigen Variablen Aufgabensetwechsel (SollTSS), Ebene der Informationsverarbeitung (SollLIP) und zeitliche Auslastung (SollTO);
3. Mittelwertvergleich (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test einer Stichprobe, nonparametrisch) gegen die Konstanten -2, -1, 0, +1, +2:
 - a. unbereinigte Gesamtstichprobe ohne Aufgabenbezug, mit n = 1109;
 - b. Teilstichprobe unterfordernd, mit n = 191;
 - c. Teilstichprobe optimal (unkritisch), mit n = 406;
 - d. Teilstichprobe überfordernd, mit n = 512;
 - e. Gesamtstichprobe über alle 41 Versuchsaufgaben, mit n = 1101;
4. Vergleich der beiden Alternativen zur Reduktion auf drei Stufen, Ergebnis: Zuordnung der Zwischenstufen zum Optimum (Mitte);
5. Detailanalyse der Zusammenhänge zwischen prognostizierten und tatsächlichen Bewertungen mit den subjektiven bzw. objektiven Beanspruchungsparametern über 41 Versuchsaufgaben:

- a. Deskriptive Auswertung und Überprüfen der Voraussetzungen für parametrische Auswertung;
- b. Korrelationen (Spearman Rang Koeffizient, nonparametrisch) für prognostizierte und tatsächliche-Bewertung, geteilter Datensatz für Prognose zutreffend/ nicht zutreffend ($n = 24/ 17$);
- c. Vergleich der in Schritt 5a ermittelten Verhältnisse (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, nonparametrisch) und post hoc-Test, geteilter Datensatz für Prognose zutreffend/ nicht zutreffend ($n = 24/ 17$);
- d. Kontrolle Schritt 5c (Medianvergleiche) mit Gesamtdatensatz geteilt nach Prognose zutreffend/ nicht zutreffend ($n = 507/487$).

Die deskriptive Auswertung der Versuchsaufgaben aus Unterabschnitt 4.6.4 aufgreifend, stimmten die prognostizierte und berichtete Bewertung der Beanspruchung bei 24 Versuchsaufgaben (entspricht 58%) überein. Die Prognosegüte auf Aufgabenebene (Schritt 3e) stimmte mit den Ergebnissen der Einzelbewertungen (Schritt 3a) fast überein, bei denen 507 von 994 übereinstimmten (entspricht 51%). Im Gesamtbild ergab dies einen Mittelwert für die Abweichung zwischen Soll- und Ist-Bewertung von $\overline{bea} = -0,34 \pm 1,34$ - das heißt im Mittel „leicht unterbewertet“. Der Median über alle Bewertungen ($n = 994$) betrug 0, das heißt „gleich bewertet“. Für die Auswertung der „absoluten Abweichung der Beanspruchung“ nach Soll-Bewertungsstufen siehe Tab. 8.12.

Tab. 8.12 Auswertung der Prognosegüte nach Soll-Bewertungsstufen

Soll-Beanspruchung		unterfordernd	optimal (unkritisch)	überfordernd
Stichprobengröße		$n = 192$	$n = 353$	$n = 528$
Mittelwert \pm St.Abw.		$1,52 \pm 1,12$	$0,48 \pm 0,85$	$-1,37 \pm 1,00$
Medianwert		2 (überbewertend)	0 (gleich bewertend)	-2 (unterbewertend)
Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test	gegen -2	$p = 0$	$p = 0$	$p = 0$
	gegen -1	$p = 0$	$p = 0$	$p = 0$
	gegen 0	$p = 0$	$p = 0$	$p = 0$
	gegen +1	$p = 0$	$p = 0$	$p = 0$
	gegen +2	$p = 0$	$p = 0$	$p = 0$

Tab. 8.13 Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests: Mittelwerte der 41 Versuchsaufgaben gegen die Stufen der absoluten Abweichung [-2:+2], Hintergrund orange: Nullhypothese (H0) ablehnen, grün: Prognose zutreffend

Versuchsaufgabe	Ho: Der Medianwert von abs.Abw. Bewertung ist gleich	abs.Abw. Bewertung	HRV [%]	PSD LF norm [%]	PSD HF norm [%]	PSD LF/HF Ratio [%]	pupdia_MWI [%]	APCPS_M W [%]	hits/misses/false hits	mittl. RT [ms]	Bedienfehler [%]	Abfragen [%]	ZA richtig/	MA richtig	Karten [%]
000	Ho ablehnen	0	-11 +- 29,9 %	-2 +- 19,7 %	-14 +- 23,3 %	-11 +- 48,9 %	11 +- 12,1 %	1 +- 12 %	56/16/32 %	1,7 +- 1,9 sek	10 +- 0,3 %				4 +- 2,5 %
010	Ho ablehnen	0	-2 +- 37,6 %	-10 +- 15,1 %	13 +- 40,3 %	-29 +- 34,7 %	2 +- 15,5 %	3 +- 15,4 %	92/8/14 %	1,5 +- 6,4 sek	7 +- 0,3 %				3 +- 2,8 %
020	Ho ablehnen	0	-8 +- 33,2 %	-11 +- 16,7 %	15 +- 33,2 %	-40 +- 26,4 %	2 +- 11,3 %	1 +- 11,3 %	94/6/14 %	2,9 +- 0,7 sek	14 +- 0,3 %				7 +- 9,7 %
030	Ho ablehnen	0	-5 +- 40 %	-2 +- 15,6 %	3 +- 47,1 %	-13 +- 47,8 %	5 +- 12,2 %	4 +- 12,3 %	95/5/15 %	1,7 +- 0,9 sek	7 +- 0,3 %				9 +- 11,1 %
040	Ho ablehnen	0	-10 +- 27,8 %	-2 +- 19,2 %	3 +- 47,1 %	-16 +- 42,1 %	2 +- 16,7 %	2 +- 16,9 %	47/27/39 %	2,5 +- 4,3 sek	7 +- 0,3 %	88 +- 27 %			18 +- 10 %
050	Ho ablehnen	0	-11 +- 28,9 %	-2 +- 17,5 %	2 +- 37,4 %	-2 +- 6,3 %	-3 +- 15,3 %	2 +- 15,4 %	81/19/28 %	4,4 +- 2,2 sek	18 +- 0,4 %	95 +- 21,8 %			4 +- 2,7 %
060	Ho ablehnen	0	-16 +- 24,9 %	1 +- 17,6 %	2 +- 41,3 %	-1 +- 54,9 %	4 +- 15,3 %	5 +- 15,3 %	80/20/16 %	8,5 +- 2,0 sek	18 +- 0,4 %	67 +- 21,7 %			10 +- 10,4 %
070	Ho ablehnen	0	-1 +- 31,8 %	-2 +- 9,9 %	5 +- 34,1 %	-18 +- 42,3 %	2 +- 11,9 %	3 +- 11,9 %	74/26/20 %	5,5 +- 2,8 sek	7 +- 0,3 %	81 +- 18,9 %			5 +- 5,7 %
080	Ho ablehnen	0	-17 +- 28,9 %	5 +- 5,3 %	9 +- 34,7 %	-28 +- 29,5 %	7 +- 15,6 %	7 +- 15,4 %	75/25/16 %	8,4 +- 1,7 sek	11 +- 0,3 %	65 +- 37,1 %			6 +- 2,6 %
090	Ho ablehnen	0	-14 +- 27,9 %	1 +- 13,1 %	2 +- 29,1 %	-15 +- 3,8 %	7 +- 17,1 %	7 +- 17,1 %	70/30/21 %	5,2 +- 2,8 sek	11 +- 0,3 %	85 +- 21,2 %			6 +- 0,9 %
100	Ho ablehnen	0	-3 +- 24,9 %	-14 +- 18,8 %	16 +- 31,9 %	-44 +- 2,2 %	2 +- 12,4 %	2 +- 12,5 %	69/31/21 %	4,9 +- 3,2 sek	7 +- 0,3 %	85 +- 18,9 %			6 +- 0,9 %
110	Ho ablehnen	0	-2 +- 33,8 %	-2 +- 2,2 %	7 +- 5,1 %	-27 +- 35,3 %	10 +- 19,9 %	10 +- 20 %	76/24/22 %	4,8 +- 3,1 sek	14 +- 0,3 %	90 +- 13,4 %			4 +- 2,2 %
120	Ho ablehnen	0	-5 +- 23,5 %	5 +- 19,3 %	16 +- 41,1 %	-12 +- 49,4 %	2 +- 12 %	2 +- 12 %	74/26/28 %	8,1 +- 1,6 sek	7 +- 0,3 %	72 +- 27,6 %			8 +- 9,3 %
130	Ho ablehnen	0	-5 +- 23,5 %	5 +- 17,6 %	10 +- 51,1 %	-27 +- 35,9 %	1 +- 12,2 %	1 +- 12,2 %	69/33/25 %	3,8 +- 2,7 sek	7 +- 0,3 %	88 +- 24,7 %			5 +- 2,4 %
140	Ho ablehnen	0	-9 +- 26,9 %	8 +- 15,4 %	9 +- 32,6 %	-16 +- 44,5 %	12 +- 10,9 %	4 +- 7 %	71/29/20 %	4,2 +- 2,9 sek	10 +- 0 %	84 +- 18,4 %			4 +- 3 %
150	Ho ablehnen	0	-7 +- 24,2 %	1 +- 8,7 %	1 +- 30,2 %	-22 +- 25,7 %	3 +- 15,1 %	3 +- 15,3 %	77/23/20 %	4,3 +- 1,9 sek	10 +- 0,3 %	79 +- 14,1 %			5 +- 2,7 %
160	Ho ablehnen	0	-3 +- 24,5 %	7 +- 16,8 %	4 +- 28,3 %	-31 +- 31,5 %	12 +- 14,6 %	6 +- 11,1 %	67/33/18 %	1,8 +- 1,5 sek	21 +- 0,4 %				4 +- 2,9 %
170	Ho ablehnen	0	0 +- 25,8 %	-1 +- 14,4 %	10 +- 34,3 %	-8 +- 46,5 %	7 +- 11,1 %	6 +- 11,1 %	89/11/12 %	1,6 +- 0,8 sek	17 +- 0,4 %				6 +- 2,5 %
180	Ho ablehnen	0	7 +- 37,3 %	-14 +- 25,3 %	30 +- 48,3 %	-36 +- 37,8 %	5 +- 12,5 %	5 +- 12,6 %	93/7/5 %	2,3 +- 3,6 sek	14 +- 0,3 %				5 +- 2,5 %
190	Ho ablehnen	0	8 +- 50,7 %	-13 +- 17,4 %	21 +- 39,2 %	-53 +- 14,2 %	2 +- 14,7 %	2 +- 14,9 %	93/7/24 %	1,9 +- 1,8 sek	10 +- 0,3 %				9 +- 7 %
200	Ho ablehnen	0	-8 +- 27,6 %	4 +- 0,5 %	5 +- 14,2 %	-42 +- 23,3 %	12 +- 11,2 %	-1 +- 11,2 %	58/44/39 %	3,6 +- 3,3 sek	10 +- 0 %				4 +- 3 %
210	Ho ablehnen	0	-8 +- 32,4 %	3 +- 21,5 %	1 +- 38,9 %	9 +- 54,8 %	9 +- 14,5 %	-3 +- 14,3 %	66/34/14 %	4,9 +- 3,4 sek	11 +- 0,3 %				8 +- 10,1 %
220	Ho ablehnen	0	-11 +- 24,2 %	9 +- 23,6 %	21 +- 35,8 %	-41 +- 24,8 %	2 +- 15,2 %	2 +- 15 %	76/24/15 %	6,5 +- 7,5 sek	21 +- 0,4 %				6 +- 0,9 %
230	Ho ablehnen	0	1 +- 31,4 %	-1 +- 9,4 %	0 +- 25,8 %	-19 +- 26,4 %	3 +- 14,5 %	5 +- 16,3 %	61/39/20 %	5,7 +- 3,3 sek	7 +- 0,3 %				7 +- 4,8 %
240	Ho ablehnen	0	16 +- 38,7 %	4 +- 12,3 %	6 +- 35,8 %	-17 +- 39 %	1 +- 15,4 %	1 +- 15,3 %	62/38/4 %	3,9 +- 3,5 sek	11 +- 0,3 %				6 +- 5,5 %
250	Ho ablehnen	0	7 +- 27,6 %	-1 +- 18,1 %	3 +- 32,8 %	-8 +- 39 %	-3 +- 16,9 %	-3 +- 17 %	77/23/25 %	5,2 +- 3,6 sek	18 +- 0,4 %				5 +- 2,5 %
260	Ho ablehnen	0	0 +- 27,3 %	2 +- 25,3 %	16 +- 59,7 %	-27 +- 38,4 %	5 +- 12,1 %	5 +- 12 %	67/33/15 %	5,9 +- 4,7 sek	10 +- 0 %				9,5% 12 +- 11,3 %
270	Ho ablehnen	0	-1 +- 34,8 %	0 +- 19,7 %	6 +- 34,9 %	-7 +- 47,7 %	2 +- 11,4 %	4 +- 10,6 %	60/40/21 %	4,7 +- 3,1 sek	21 +- 0,4 %				9,1% 3 +- 3,1 %
280	Ho ablehnen	0	0 +- 26,7 %	3 +- 21,8 %	30 +- 60,9 %	-20 +- 50,9 %	5 +- 9,3 %	-5 +- 9,3 %	33/10/68 %	0,8 +- 1,3 sek	29 +- 0,4 %				9,1% 4 +- 2,5 %
290	Ho ablehnen	0	10 +- 37,5 %	7 +- 18,8 %	10 +- 53,1 %	-33 +- 32,7 %	3 +- 14,1 %	2 +- 12,9 %	88/12/10 %	2,8 +- 1,7 sek	24 +- 0,4 %				4 +- 2,5 %
300	Ho ablehnen	0	12 +- 41 %	-7 +- 16,1 %	22 +- 47,5 %	-33 +- 32,7 %	3 +- 14,1 %	0 +- 14,8 %	91/9/13 %	2,7 +- 1,4 sek	17 +- 0,4 %				9,5% 4 +- 2,3 %
310	Ho ablehnen	0	-13 +- 30 %	1 +- 14,7 %	1 +- 25,5 %	-21 +- 38,7 %	4 +- 14,9 %	0 +- 14,8 %	91/9/13 %	2,7 +- 1,4 sek	17 +- 0,4 %				9,7% 9 +- 10 %
320	Ho ablehnen	0	10 +- 23,3 %	8 +- 15,8 %	15 +- 33,5 %	-33 +- 30,5 %	3 +- 11,9 %	-3 +- 11,7 %	78/22/14 %	4,9 +- 3,1 sek	14 +- 0,3 %				5 +- 2,5 %
330	Ho ablehnen	0	7 +- 28,5 %	-6 +- 14,9 %	-3 +- 29,1 %	-12 +- 43,9 %	1 +- 13,7 %	2 +- 15,7 %	70/30/20 %	3,7 +- 3,1 sek	18 +- 0,4 %				5 +- 2,5 %
340	Ho ablehnen	0	4 +- 34,4 %	0 +- 20,5 %	9 +- 42,8 %	-11 +- 58,3 %	0 +- 16 %	0 +- 16 %	30/22/67 %	1,1 +- 1,4 sek	14 +- 0,3 %	79 +- 16,1 %			9,6% 8 +- 0,5 %
350	Ho ablehnen	0	-2 +- 21,4 %	0 +- 25,1 %	15 +- 49,3 %	-3 +- 54 %	4 +- 13,4 %	4 +- 13,6 %	87/13/23 %	3,3 +- 1,8 sek	24 +- 0,4 %	77 +- 18,3 %			100% 4 +- 2,2 %
360	Ho ablehnen	0	-5 +- 21,6 %	2 +- 6,9 %	-10 +- 20 %	6 +- 27,4 %	12 +- 21,4 %	12 +- 21,2 %	69/31/23 %	6,4 +- 4 sek	21 +- 0,4 %				90% 4 +- 2,5 %
370	Ho ablehnen	0	1 +- 37,9 %	3 +- 17,7 %	3 +- 39,9 %	-1 +- 47,2 %	10 +- 16,4 %	10 +- 16,4 %	69/31/12 %	5,5 +- 2,7 sek	21 +- 0,4 %				8,7% 6 +- 2,6 %
380	Ho ablehnen	0	1 +- 30,5 %	-8 +- 12,2 %	24 +- 49,7 %	32 +- 29,8 %	7 +- 21,4 %	7 +- 21,6 %	50/42/63 %	3 +- 2,9 sek	28 +- 0,4 %	67 +- 22,3 %			86% 5 +- 2,5 %
390	Ho ablehnen	0	-10 +- 36,6 %	6 +- 21,9 %	-18 +- 20,3 %	-4 +- 58,3 %	1 +- 11,3 %	1 +- 11,2 %	66/34/16 %	6,5 +- 3 sek	28 +- 0,4 %	68 +- 24,7 %			9,3% 4 +- 2,8 %
400	Ho ablehnen	0	-3 +- 28,4 %	3 +- 10,4 %	7 +- 25,4 %	-14 +- 34,2 %	3 +- 9,4 %	3 +- 9,4 %	74/26/15 %	5,6 +- 2,7 sek	34 +- 0,5 %	81 +- 14,3 %			90% 4 +- 2,8 %

Die Auswertung nach 41 Versuchsaufgaben ergab ein differenzierteres Bild (für Details siehe Anhang 15). Von größerer Relevanz für die weitere Auswertung waren die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests (Wilcoxon-Test) gegen eine Konstante (die aufgetretenen Medianwerte der „absoluten Abweichung“: -2, -1, 0, +1, +2) (siehe Tab. 8.13).

Auf Basis der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Testergebnisse (Spalten H0 in Tab. 8.13) konnte die Reduktionsalternative zurück auf drei Stufen (-2, 0, +2) ausgewählt werden. Als Auswahlkriterium wurde die Testentscheidung über die Nullhypothesen herangezogen. Es wurde die Reduktionsalternative ausgewählt, welche die wenigsten abgelehnten Nullhypothesen für die Stufe „0“ aufwies. Aus Tab. 8.13 geht hervor, dass die Zuordnung der Bewertungen „-1“ und „+1“ zur Mitte die erforderliche Maximierung mit 20 signifikanten Medianwerten auf Stufe „0“ ergab. Im Gegensatz dazu ergab die Zuordnung zu den Extremwerten „-2“ und „+2“ drei signifikante Medianwerte auf Stufe „0“. Die Zuordnung der Bewertungen „-1“ und „+1“ zum Medianwert „0“ bestätigte die Rückmeldung der Versuchspersonen aus den Vorversuchen. Die Versuchspersonen forderten die Zwischenstufen „unterfordernd/ optimal (unkritisch) (-1)“ bzw. „optimal (unkritisch)/ überfordernd (+1)“, da eine geringe Abweichung von der als optimal (unkritisch) empfundenen Beanspruchung nicht zu den Stufen „unterfordernd“ oder „überfordernd“ zugeordnet hätte werden können.

Im Folgenden wurde untersucht, worauf die eingeschränkte Prognoseleistung des Modells zurückzuführen ist. Dafür wurden die erfassten subjektiven und objektiven Beanspruchungswerte sowie Leistungswerte kategorisiert, ob diese mit der prognostizierten und tatsächlichen Bewertung übereinstimmen, oder sich widersprüchlich bzw. indifferent dazu verhalten.

Für detaillierte Informationen zur Ausprägung der subjektiven und objektiven Beanspruchungsparameter sowie Leistungsdaten, gruppiert nach den drei Bewertungsstufen für prognostizierte und tatsächliche Bewertung sowie zutreffender und nicht zutreffender Prognose, wird auf Tab. 8.14 verwiesen.

Tab. 8.14 Überblick über subjektive und objektive Beanspruchungsparameter geordnet nach Bewertungsstufen gesamt, unterfordernd, optimal (unkritisch), überfordernd; Korrelationen zwischen Beanspruchungsparametern und prognostizierter bzw. tatsächlicher Bewertung

Gesamt	progn. & tatsächl.- Bewertung zutreffend (n = 507)		progn. Bewertung nicht zutreffend (n = 487)		tatsächl. Bewertung nicht zutreffend (n = 487)	
RSME	4,7 ± 1,76	$r_S = ,629^{***}$	4,2 ± 1,50	$r_S = ,010$	4,2 ± 1,50	$r_S = ,526^{***}$
HRV [%]	-0,9 ± 32,74	$r_S = ,041$	-0,2 ± 32,61	$r_S = ,070$	-0,2 ± 32,61	$r_S = ,018$
PSD LF norm [%]	-3,6 ± 17,53	$r_S = ,040$	-3,6 ± 19,30	$r_S = ,051$	-3,6 ± 19,30	$r_S = ,023$
PSD HF norm [%]	9,5 ± 37,23	$r_S = -,038$	8,9 ± 39,35	$r_S = -,025$	8,9 ± 39,35	$r_S = -,007$
PSD LF/HF ratio [%]	-18,4 ± 40,83	$r_S = ,024$	-20,4 ± 42,93	$r_S = ,087$	-20,4 ± 42,93	$r_S = ,028$
Pupillengröße [%]	0,3 ± 13,75	$r_S = ,169^{***}$	0,9 ± 15,12	$r_S = ,056$	0,9 ± 15,12	$r_S = -,008$
APCPS [%]	0,5 ± 13,74	$r_S = ,167^{***}$	1,0 ± 15,06	$r_S = ,055$	1,0 ± 15,06	$r_S = -,005$
hits [%]	71,8 ± 29,29	$r_S = -,233^{***}$	72,1 ± 32,38	$r_S = -,018$	72,1 ± 32,38	$r_S = -,104^*$
misses [%]	25,2 ± 26,79	$r_S = ,329^{***}$	21,7 ± 27,12	$r_S = ,058$	21,7 ± 27,12	$r_S = ,123^{**}$
false hits [%]	20,7 ± 42,42	$r_S = ,097^*$	26,1 ± 61,11	$r_S = ,016$	26,1 ± 61,11	$r_S = ,135^{**}$
Reaktionszeit [ms]	4026 ± 3057	$r_S = ,409^{**}$	3828 ± 6870	$r_S = ,146^{**}$	3828 ± 6870	$r_S = ,274^{***}$
Bedienfehler	0,2 ± 0,39	$r_S = ,163^{***}$	0,1 ± 0,32	$r_S = ,094^*$	0,1 ± 0,32	$r_S = -,017$

Abfragen	82,7 ± 18,53	$r_S = -,292^{***}$	80,7 ± 21,79	$r_S = -,110$	80,7 ± 21,79	$r_S = ,069$
Zusatzaufgabe, richtig bearbeitet [%]	55,3 ± 39,63	$r_S = -,006$	66,5 ± 37,99	$r_S = ,003$	66,5 ± 37,99	$r_S = -,159^{**}$
Zusatzaufgabe, nicht bearbeitet [%]	31,5 ± 41,81	$r_S = ,038$	22,0 ± 37,51	$r_S = ,049$	22,0 ± 37,51	$r_S = ,140^*$
Matheaufgabe, richtig bearbeitet [%]	92,1 ± 7,66	Berechnung nicht möglich	96,7 ± 6,13	Berechnung nicht möglich	96,7 ± 6,13	$r_S = -,047$
hits (Farbe) [%]	73,5 ± 34,64	$r_S = -,101^*$	73,0 ± 37,48	$r_S = ,029$	73,0 ± 37,48	$r_S = -,091$
misses (Farbe) [%]	19,3 ± 28,39	$r_S = ,265^{***}$	16,8 ± 28,85	$r_S = ,026$	16,8 ± 28,85	$r_S = ,160^{**}$
false hits (Farbe) [%]	21,5 ± 55,93	$r_S = -,070$	24,3 ± 70,78	$r_S = ,008$	24,3 ± 70,78	$r_S = ,117^*$
hits (Länge) [%]	67,4 ± 32,65	$r_S = -,168^{***}$	67,9 ± 35,93	$r_S = -,044$	67,9 ± 35,93	$r_S = -,012$
misses (Länge) [%]	27,0 ± 29,00	$r_S = ,300^{***}$	21,3 ± 28,03	$r_S = ,068$	21,3 ± 28,03	$r_S = ,125^{**}$
false hits (Länge) [%]	21,7 ± 47,86	$r_S = ,123^{**}$	26,3 ± 62,44	$r_S = ,007$	26,3 ± 62,44	$r_S = ,141^{**}$
Karten [%]	5,0 ± 5,56	$r_S = -,242^*$	6,7 ± 7,03	$r_S = ,066$	6,7 ± 7,03	$r_S = -,022$

unterfordernd				
RSME	2,4 ± 0,79		4,1 ± 1,22	2,6 ± 0,85
HRV [%]	-7,3 ± 34,76		-4,7 ± 34,84	-0,2 ± 30,05
PSD LF norm [%]	-3,6 ± 17,83		-3,8 ± 18,97	-7,2 ± 19,75
PSD HF norm [%]	13,4 ± 38,26		4,9 ± 40,93	16,9 ± 37,25
PSD LF/HF ratio [%]	-18,8 ± 40,68		-26,4 ± 40,78	-25,6 ± 41,96
Pupillengröße [%]	-2,7 ± 15,98		1,0 ± 14,02	-1,8 ± 16,39
APCPS [%]	-2,4 ± 16,05		1,1 ± 14,07	-1,6 ± 16,22
hits [%]	78,9 ± 35,03		75,7 ± 32,83	70,1 ± 36,75
misses [%]	10,3 ± 21,95		16,9 ± 25,38	21,9 ± 31,06
false hits [%]	18,6 ± 34,88		24,7 ± 53,02	15,9 ± 39,83
Reaktionszeit [ms]	1879 ± 1865		3626 ± 10115	1881 ± 1914
Bedienfehler	0,1 ± 0,26		0,1 ± 0,26	0,1 ± 0,28
Abfragen	87,5 ± 15,48		83,3 ± 23,57	80,2 ± 23,29
Zusatzaufgabe, richtig bearbeitet [%]	91,2 ± 14,44		82,7 ± 28,85	55,9 ± 35,99
Zusatzaufgabe, nicht bearbeitet [%]	4,5 ± 14,37		14,2 ± 28,16	14,3 ± 34,99
Matheaufgabe, richtig bearbeitet [%]	keine Werte		keine Werte	98,4 ± 3,36
hits (Farbe) [%]	77,4 ± 37,77		73,9 ± 39,74	69,0 ± 42,84
misses (Farbe) [%]	5,2 ± 13,07		12,4 ± 27,12	17,0 ± 33,27
false hits (Farbe) [%]	14,4 ± 31,82		24,8 ± 58,36	9,9 ± 27,63
hits (Länge) [%]	69,8 ± 41,20		71,9 ± 35,39	60,6 ± 43,06
misses (Länge) [%]	10,6 ± 23,23		17,5 ± 26,06	17,4 ± 30,09
false hits (Länge) [%]	19,3 ± 39,81		28,4 ± 71,01	9,8 ± 27,75
Karten [%]	4,2 ± 2,71		12,9 ± 10,93	4,0 ± 1,87

optimal (unkritisch)				
RSME	4,3 ± 1,44		4,5 ± 2,10	4,2 ± 1,28
HRV [%]	-0,2 ± 32,68		0,9 ± 33,10	-0,5 ± 32,80
PSD LF norm [%]	-4,4 ± 18,18		-5,1 ± 18,50	-2,8 ± 19,22
PSD HF norm [%]	9,4 ± 37,11		16,7 ± 34,73	7,0 ± 40,06
PSD LF/HF ratio [%]	-18,9 ± 42,11		-24,3 ± 41,41	-19,4 ± 43,16
Pupillengröße [%]	-0,7 ± 13,79		-2,1 ± 14,27	1,6 ± 15,09

APCPS [%]	-0,4 ± 13,81	-1,8 ± 14,21	1,8 ± 15,05
hits [%]	73,5 ± 29,56	65,2 ± 33,95	73,6 ± 31,65
misses [%]	22,6 ± 26,05	26,4 ± 28,72	20,4 ± 26,20
false hits [%]	21,6 ± 49,91	21,6 ± 45,49	27,3 ± 64,35
Reaktionszeit [ms]	3606 ± 2973	3775 ± 3551	3911 ± 7540
Bedienfehler	0,2 ± 0,36	0,1 ± 0,28	0,1 ± 0,33
Abfragen	87,3 ± 18,57	87,0 ± 16,25	80,1 ± 22,02
Zusatzaufgabe, richtig bearbeitet [%]	52,2 ± 39,43	47,8 ± 38,50	71,1 ± 36,55
Zusatzaufgabe, nicht bearbeitet [%]	32,2 ± 41,85	32,2 ± 43,98	19,8 ± 35,46
Matheaufgabe, richtig bearbeitet [%]	keine Werte	keine Werte	96,6 ± 6,26
hits (Farbe) [%]	72,5 ± 36,93	64,1 ± 38,84	74,7 ± 36,90
misses (Farbe) [%]	17,6 ± 28,59	25,0 ± 32,92	15,1 ± 27,51
false hits (Farbe) [%]	22,8 ± 66,79	21,8 ± 53,97	25,8 ± 75,31
hits (Länge) [%]	70,2 ± 32,11	64,4 ± 37,51	69,3 ± 34,86
misses (Länge) [%]	24,1 ± 27,69	22,3 ± 29,14	20,8 ± 27,14
false hits (Länge) [%]	23,1 ± 56,92	22,5 ± 43,95	28,3 ± 66,92
Karten [%]	6,2 ± 6,64	3,7 ± 2,69	7,9 ± 7,84
überfordernd			
RSME	6,0 ± 1,38	4,2 ± 1,34	6,0 ± 1,47
HRV [%]	0,0 ± 31,91	0,9 ± 31,61	2,2 ± 33,91
PSD LF norm [%]	-2,4 ± 16,33	-3,0 ± 19,62	-4,8 ± 18,90
PSD HF norm [%]	8,5 ± 37,00	7,9 ± 39,83	15,1 ± 33,85
PSD LF/HF ratio [%]	-17,5 ± 38,88	-17,4 ± 43,74	-21,7 ± 41,92
Pupillengröße [%]	2,6 ± 12,59	1,8 ± 15,64	-1,6 ± 13,20
APCPS [%]	2,8 ± 12,51	1,9 ± 15,56	-1,3 ± 13,23
hits [%]	66,9 ± 26,13	73,0 ± 31,41	62,7 ± 31,10
misses [%]	33,7 ± 26,49	21,9 ± 26,94	30,9 ± 27,65
false hits [%]	20,0 ± 28,95	27,9 ± 67,45	27,7 ± 53,12
Reaktionszeit [ms]	5322 ± 2926	3914 ± 6208	5268 ± 3796
Bedienfehler	0,3 ± 0,44	0,1 ± 0,35	0,1 ± 0,23
Abfragen	77,5 ± 17,45	79,4 ± 21,69	88,2 ± 15,93
Zusatzaufgabe, richtig bearbeitet [%]	56,5 ± 39,76	68,6 ± 37,41	47,7 ± 38,83
Zusatzaufgabe, nicht bearbeitet [%]	32,5 ± 42,39	20,7 ± 36,57	34,7 ± 44,35
Matheaufgabe, richtig bearbeitet [%]	92,1 ± 7,66	96,7 ± 6,13	keine Werte
hits (Farbe) [%]	73,9 ± 29,36	75,4 ± 35,83	64,5 ± 34,08
misses (Farbe) [%]	26,1 ± 29,33	15,8 ± 27,59	29,1 ± 30,59
false hits (Farbe) [%]	21,4 ± 39,30	24,9 ± 78,74	28,0 ± 65,45
hits (Länge) [%]	62,2 ± 30,01	67,5 ± 35,49	64,7 ± 34,41
misses (Länge) [%]	36,5 ± 29,45	22,3 ± 28,24	29,0 ± 30,92
false hits (Länge) [%]	20,2 ± 30,64	26,7 ± 63,97	29,4 ± 50,24
Karten [%]	3,0 ± 2,49	6,8 ± 6,53	3,6 ± 3,15

***. Die Korrelation ist auf dem 0,001 Niveau signifikant (zweiseitig).

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

r_s – Spearman Rang Koeffizient

Die Untersuchung von prognostizierter und tatsächlicher Bewertung sowie subjektiver und objektiver Beanspruchung erfolgte auf der Basis der Mittelwerte der Beanspruchungsparameter pro Versuchsaufgabe. Zur Vorbereitung wurden die Werte nach Grubbs (1969) bereinigt sowie zwischen „-1,00“ und „+1,00“ normalisiert (Ren et al. 2011) (siehe Formel 15). Die Normalisierung wurde einer z-Transformation oder Studentisierung vorgezogen, da Aussagen über die Abweichung des Mittelwerts von Null benötigt wurden.

$$\bar{x}_{n,norm} = 2 \times \frac{\bar{x}_{n,ori} - \bar{x}_{min}}{\bar{x}_{max} - \bar{x}_{min}} - 1, \text{ mit } n \in N^{>0} \text{ und } 1 \leq n \leq 41,$$

normalisiertem Mittelwert $\bar{x}_{n,norm}$, originalem Mittelwert $\bar{x}_{n,ori}$, minimalem \bar{x}_{min} und maximalem Mittelwert \bar{x}_{max}

Formel 15 Formel zur Normalisierung der Beanspruchungswerte nach (Ren et al. 2011)

Die normalisierten Werte wurden darauf aufbauend in einer VBA⁴²-Routine ausgewertet. Die Auswertung erfolgte zum einen auf Basis der prognostizierten und zum anderen auf Basis der tatsächlichen Bewertung. Jeder der Beanspruchungsparameter (Mittelwert) wurde hinsichtlich seiner Ausprägung bewertet: ob „übereinstimmend“, „widersprüchlich“ oder „indifferent“ oder zur prognostizierten bzw. tatsächlichen Bewertung. Hierbei galt: übereinstimmend – der Ist-Wert des Parameters lag im erwarteten Quantil; indifferent – Istwert wich um \pm eine Stufe vom erwarteten Quantil ab; widersprüchlich – Ist-Wert wich mehr als \pm eine Stufe ab. Die Quantile der drei Bewertungsstufen „übereinstimmend“, „widersprüchlich“ und „indifferent“ ergaben sich aus den Mittelwerten der Beanspruchungsparameter pro Bewertungsstufe \bar{x}_u (unterfordernd), \bar{x}_o (optimal (unkritisch)) und $\bar{x}_{\ddot{u}}$ (überfordernd) (siehe Tab. 8.15).

Tab. 8.15 Bewertungsstufe für Abgleich zwischen subjektiver und objektiver Beanspruchung

Beanspruchung	Proportionalität	Quantil des Beanspruchungswertes ...			#
		$\leq \frac{\bar{x}_u + \bar{x}_o}{2}$	$> \frac{\bar{x}_u + \bar{x}_o}{2} ; < \frac{\bar{x}_o + \bar{x}_{\ddot{u}}}{2}$	$\geq \frac{\bar{x}_o + \bar{x}_{\ddot{u}}}{2}$	
unterfordernd	direkt	übereinstimmend	indifferent	widersprüchlich	1
	indirekt	widersprüchlich	indifferent	übereinstimmend	2
optimal (unkritisch)	direkt	widersprüchlich	übereinstimmend	widersprüchlich	3
	indirekt	widersprüchlich	übereinstimmend	widersprüchlich	4
überfordernd	direkt	widersprüchlich	indifferent	übereinstimmend	5
	indirekt	übereinstimmend	indifferent	widersprüchlich	6
Spalte		1	2	3	

Die Vorgehensweise wird, in Ergänzung durch Tab. 8.15, am Beispiel der subjektiven Beanspruchung (rating scale of mental effort, RSME) erläutert: RSME-Werte sind direkt proportional zur Beanspruchung. Das heißt, nimmt die Beanspruchung zu, nimmt auch der RSME-Wert zu. Im Mittel bewerteten die Versuchspersonen die Beanspruchung von als „unterfordernd (u)“ prognostizierten Versuchsaufgaben als „ein wenig anstrengend (3)“, für „optimal (unkritisch) (o)“ „etwas anstrengend (4)“ und für „überfordernd (ü)“ „eher viel anstrengend (5)“. Um den RSME-Medianwert einer Versuchsaufgabe nun auf Abweichung zu innerhalb der Prognosestufe (u, o, ü) auftretenden RSME-Werten zu überprüfen, wurden die Schwellwerte für den Übergang zwischen den Stufen nach Tab. 8.15 errechnet. Der Schwellwert wurde als der halbe Abstand zwischen den Mittelwerten zweier benachbarter Stufen errechnet.

⁴² Visual Basic for Applications

Im Beispiel beträgt der Schwellwert für den Übergang zwischen „u“ und „o“: $\frac{\bar{x}_u + \bar{x}_o}{2} = \frac{3+4}{2} = 3,5$ und zwischen „o“ und „ü“: $\frac{\bar{x}_o + \bar{x}_ü}{2} = \frac{4+5}{2} = 4,5$. Wurde nun für eine unterfordernde Versuchsaufgabe der RSME-Mittelwert von „5“ ermittelt, ergab dies nach Tab. 8.16 „widersprüchlich“ (Zeile 1, Spalte 3). Analog, wurde ein Median von „4“ bei einer optimal (unkritisch) fordernden Versuchsaufgabe als „übereinstimmend“ (Zeile 4, Spalte 2) bzw. ein Median von „4“ bei einer überfordernden Versuchsaufgabe als „indifferent“ (Zeile 5, Spalte 2) gewertet.

Diese Vorgehensweise wurde für Zuordnungen auf Basis der tatsächlichen Bewertung wiederholt. Nachstehend sind die Ergebnisse bezogen auf die pro Aufgabe ermittelten Gesamtverhältnisse aufbereitet (siehe Tab. 8.16). Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass zum Beispiel das Verhältnis der indifferent ausgeprägten Beanspruchungsparameter bei der tatsächlichen Bewertung sehr gering war. Ebenfalls bestand ein Unterschied bei den nicht zutreffenden Prognosen für das Verhältnis „widersprüchlich/ gesamt“ zwischen der prognostizierten und tatsächlichen Bewertung. Die Zusammenfassung ist detailliert in Tab. 8.16 aufbereitet, inklusive der statistischen Überprüfung der Zusammenhänge.

Tab. 8.16 Gegenüberstellung der Verhältnisse widersprüchlicher, übereinstimmender und indifferenter Beanspruchungswerte, Korrelationen zwischen Beanspruchungsparametern und prognostizierter bzw. Ist-Beanspruchung

prognost. Bewertung		übereinstimmend	widersprüchlich	indifferent
Prognose zutreffend (n = 24)	gesamt	0,33 ± 0,30, r _S = ,726**	0,65 ± 0,32, r _S = ,726**	0,02 ± 0,03, r _S = ,299
	unterfordernd	0,39 ± 0,00	0,50 ± 0,00	0,11 ± 0,00
	optimal (unkrit.)	0,11 ± 0,07	0,89 ± 0,07	0,00 ± 0,00
	überfordernd	0,73 ± 0,11	0,23 ± 0,10	0,03 ± 0,04
Prognose nicht zutreffend (n = 17)	gesamt	0,46 ± 0,20, r _S = ,390	0,43 ± 0,13, r _S = -,302	0,11 ± 0,08, r _S = ,164
	unterfordernd	0,59 ± 0,25	0,33 ± 0,19	0,09 ± 0,08
	optimal (unkrit.)	keine Werte	keine Werte	keine Werte
	überfordernd	0,39 ± 0,13	0,49 ± 0,14	0,12 ± 0,08
tatsächliche Bewertung				
Prognose zutreffend (n = 24)	gesamt	0,33 ± 0,22, r _S = ,726**	0,61 ± 0,29, r _S = ,726**	0,06 ± 0,08, r _S = ,791**
	unterfordernd	0,39 ± 0,00	0,44 ± 0,00	0,29 ± 0,00
	optimal (unkrit.)	0,18 ± 0,09	0,82 ± 0,09	0,00 ± 0,00
	überfordernd	0,60 ± 0,13	0,23 ± 0,11	0,08 ± 0,10
Prognose nicht zutreffend (n = 17)	gesamt	0,16 ± 0,08, r _S = 0 ^a	0,84 ± 0,08, r _S = 0 ^a	keine Werte
	unterfordernd	keine Werte	keine Werte	keine Werte
	optimal (unkrit.)	0,19 ± 0,08	0,84 ± 0,08	keine Werte
	überfordernd	keine Werte	keine Werte	keine Werte

Hinweise: ** p < ,001 ; * p < ,05; ^a keine Berechnung da konstant ; r_S – Spearman Rang Koeffizient

Um die Ergebnisse abzusichern, wurde eine zweite Überprüfung durchgeführt. Im Gegensatz zur oben dargestellten Verwendung der Mittelwerte einer Bewertungsstufe wurde alternativ der Mittelwert $\pm 1 \times$ Standardabweichung aus allen Daten ($n = 994$) pro Beanspruchungswert als Basis gewählt. Damit wurden einerseits die Quantile vergrößert und somit eine konservative Betrachtung gewählt. Weiterhin schwächt der Gesamtmittelwert die für eine Beanspruchungsstufe spezifischen Beanspruchungsmuster ab und reduziert damit den Einfluss des Versuchsdesigns als systematische Fehlerquelle. Die Ergebnisse des Absicherungstests bestätigen sowohl die deskriptiven als auch die inferenzstatistischen Ergebnisse des ersten Tests.

Anhang zu Kapitel 5

37 Optimierung des fuzzyCTL-Modells

Tab. 8.17 Vergleich zwischen übereinstimmender (übe), widersprüchlicher (wid) und indifferenter (ind) Beanspruchung zur prognostizierten und tatsächlichen Beanspruchung; sortiert nach Prognose zutreffend (Spalte 2 grüner Hintergrund) | Legende: ¹⁾ Mittelwert \pm Standardabweichung, rote Hervorhebung = nicht konsistent

Versuchsaufgabe	progn. Bewertung	tatsächl. Bewertung	Vergleich zur progn. Bewertung			Vergleich zur tatsächl. Bewertung		
			Verhältn. übe/ ges	Verhältn. wid/ ges	Verhältn. ind/ ges	Verhältn. übe/ ges	Verhältn. wid/ ges	Verhältn. ind/ ges
00u	u	u	0,39	0,50	0,11	0,39	0,44	0,17
02o	o	o	0,05	0,95	0	0,05	0,95	0
05o	o	o	0,18	0,82	0	0,27	0,73	0
07o	o	o	0,14	0,86	0	0,23	0,77	0
09o	o	o	0,09	0,91	0	0,18	0,82	0
10o	o	o	0,09	0,91	0	0,18	0,82	0
16o	o	o	0,06	0,94	0	0,12	0,88	0
17o	o	o	0,05	0,95	0	0,05	0,95	0
18o	o	o	0,11	0,90	0	0,11	0,90	0
20o	o	o	0,10	0,91	0	0,19	0,81	0
21o	o	o	0,05	0,95	0	0,19	0,81	0
23o	o	o	0	1	0	0,10	0,91	0
24o	o	o	0,29	0,71	0	0,33	0,67	0
25o	o	o	0,19	0,81	0	0,29	0,71	0
29o	o	o	0,07	0,93	0	0,07	0,93	0
32o	o	o	0,19	0,81	0	0,29	0,71	0
26ue	ue	ue	0,64	0,36	0	0,46	0,36	0,18
27ue	ue	ue	0,77	0,23	0	0,68	0,18	0,14
28ue	ue	ue	0,91	0,09	0	0,77	0,14	0,09
33ue	ue	ue	0,73	0,23	0,05	0,59	0,23	0,18
36ue	ue	ue	0,86	0,10	0,05	0,76	0,05	0,19
37ue	ue	ue	0,68	0,32	0	0,50	0,32	0,18
39ue	ue	ue	0,73	0,18	0,09	0,64	0,18	0,18
40ue	ue	ue	0,57	0,35	0,09	0,39	0,39	0,22
01u	u	o	0,90	0,11	0	0,05	0,95	0
03u	u	o	0,74	0,21	0,05	0,16	0,84	0

Versuchsaufgabe	progn. Bewertung	tatsächl. Bewertung	Vergleich zur progn. Bewertung			Vergleich zur tatsächl. Bewertung		
			Verhältn. übe/ ges	Verhältn. wid/ ges	Verhältn. ind/ ges	Verhältn. übe/ ges	Verhältn. wid/ ges	Verhältn. ind/ ges
04u	u	o	0,26	0,63	0,11	0,21	0,79	0
06u	u	o	0,36	0,50	0,14	0,18	0,82	0
08u	u	o	0,41	0,36	0,23	0,18	0,82	0
19u	u	o	0,84	0,16	0	0	1	0
11ue	ue	o	0,46	0,41	0,14	0,23	0,77	0
12ue	ue	o	0,50	0,36	0,14	0,18	0,82	0
13ue	ue	o	0,50	0,41	0,09	0,23	0,77	0
14ue	ue	o	0,32	0,46	0,23	0,23	0,77	0
15ue	ue	o	0,27	0,55	0,18	0,27	0,73	0
22ue	ue	o	0,52	0,38	0,10	0,14	0,86	0
30ue	ue	o	0,15	0,80	0,05	0,10	0,90	0
31ue	ue	o	0,25	0,70	0,05	0,10	0,90	0
34ue	ue	o	0,29	0,41	0,29	0,24	0,77	0
35ue	ue	o	0,43	0,52	0,05	0,10	0,91	0
38ue	ue	o	0,60	0,35	0,05	0,05	0,95	0
Gesamt¹⁾			0,38 ± 0,27	0,56 ± 0,29	0,06 ± 0,07	0,26 ± 0,20	0,71 ± 0,26	0,04 ± 0,07
für Prognose zutreffend¹⁾			0,33 ± 0,30	0,65 ± 0,32	0,02 ± 0,03	0,33 ± 0,23	0,61 ± 0,29	0,04 ± 0,09
für Prognose nicht zutreffend¹⁾			0,46 ± 0,20	0,43 ± 0,18	0,11 ± 0,08	0,16 ± 0,08	0,84 ± 0,08	0,00 ± 0,00

Legende: ¹⁾ Mittelwert ± Standardabweichung