

# Vergleich von subjektiven und objektiven Erhebungsverfahren der psychischen Beanspruchungsmessung

Norman Reßut, Annette Hoppe

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Institut für Digitale Produktion, Qualität und Logistik, Fachgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie, Siemens-Halske-Ring 14, 03046 Cottbus, Tel.: +49 (0) 355694806, norman.ressut@b-tu.de, Web: <https://www.b-tu.de/fg-arbeitswissenschaft>

**Kurzfassung:** Die Messverfahren zur psychischen Beanspruchung im arbeitswissenschaftlichen und- medizinischen Kontext differenzieren sich grob in objektive sowie subjektive Erhebungsverfahren. Jene Datenerhebungsverfahren besitzen ihre spezifischen Vor- und Nachteile, womit sie auch beide ihren Einsatz in der Beanspruchungsforschung der aktuellen Arbeitswelt finden. Bekannt ist, dass subjektive Einschätzungen oft nicht mit objektiv gemessenen physiologischen Parametern bezüglich einer Belastungs- und Beanspruchungsmessung übereinstimmen [1], daher wurden beide Verfahren in einem Laborexperiment mit psychischen (mentalen) Belastungssituationen zur Beanspruchungsanalyse eingesetzt und auf ihre Vor- und Nachteile sowie auf ihre Zusammenhangsmaße hin untersucht. Die zugrundeliegende Studie ist Bestandteil eines umfangreicheren Forschungsprojektes gewesen, womit die nachfolgend dargelegten Erkenntnisse auch schon ihre Veröffentlichung fanden und dort für eine detailliertere als auch umfänglichere Betrachtung entsprechend nachgeschlagen werden können [2].

**Keywords:** psychische Beanspruchungsmessung, objektive und subjektive Messverfahren, Laborexperiment

## 1 Messen psychischer Belastung & psychischer Beanspruchung

Bei der psychischen Arbeitsbelastung handelt es sich nicht um ein eindimensionales oder einheitliches Konzept. Das bedeutet auch, dass für dessen Erhebung kein einheitliches Vorgehen genutzt wird und dass – der eine beste Weg – zur Messung jener psychischen Arbeitsbelastung aktuell nicht existiert. In der Norm werden diesbezüglich folgende Messtechniken differenziert [3]:

- **Aufgaben- und Tätigkeitsanalysen:** mit diesen Verfahren werden Komponenten der Arbeitsaufgabe, physische und psychosoziale Arbeitsbedingungen, Umgebungsbedingungen und die Organisation des Arbeitsablaufes als Ursachen psychischer Arbeitsbelastung erfasst;
- **Erfassung der Leistungen:** diese Verfahren ermöglichen die Beurteilung der psychischen und psychomotorischen Leistung unter den jeweils gegebenen Arbeitsbedingungen; hierbei könnten zum Beispiel belastungsbedingte Leistungsbeeinträchtigungen oder -schwankungen aufgezeigt werden;

- **Subjektive Skalierungen:** diese Verfahren können Angaben darüber liefern, wie die arbeitende Person die unterschiedlichen Aspekte der psychischen Arbeitsbelastung am Arbeitsplatz subjektiv einschätzt; zum Beispiel über die Verwendung psychometrischer Skalen;
- **Psychophysiologischen Messungen (objektiv):** diese Verfahren liefern Erkenntnisse über physiologische Zustände von den arbeitenden Personen unter den gegebenen Arbeitsbedingungen.

Ein hinreichend umfänglicher Überblick solcher Messverfahren zur Ermittlung einzelner Bestandteile der psychischen Belastung und Beanspruchung können der aktuellen Literatur entnommen werden [1]. Grob werden zwei Differenzierungsaspekte unterschieden. Zum einen die Unterteilung in bedingungs- und personenbezogene Aspekte und zum anderen, die Unterscheidung von subjektiven sowie objektiven Erhebungsverfahren. In der zugrundeliegenden Studie werden daher Aufgaben- und Tätigkeitsanalysen („bedingungsbezogene Daten“; psychische Belastung) durchgeführt, wobei über die Laborumgebung sowie über die verschiedenen Aufgaben in den Untersuchungsbedingungen die Belastung explizit hergestellt, kontrolliert und manipuliert wird (siehe Abschnitt 2). Zum anderen werden personenbezogene subjektive als auch personenbezogene objektive Erhebungsverfahren eingesetzt, die wiederum kurz im Folgenden und im Abschnitt 2 ihre Erläuterung finden [vgl. 2].

### **1.1 Personenbezogene subjektive Erhebungsverfahren von der psychischen Beanspruchung**

In Forschung und Praxis werden subjektiv personenbezogene Beanspruchungsindikatoren über Selbsteinschätzungen, z. B. über Gesundheits- und Befindens-Daten, ermittelt. Dahingehend existiert eine Vielzahl verschiedener Befragungsinstrumente. Für eine erste Überblicksgewinnung kann die Literatur herangezogen werden [4]. An dieser Stelle werden oft Fragebögen und/oder Interviews eingesetzt, wobei das analoge Vorgehen über „Stift und Papier“ (engl.: „pencil and paper“) allmählich vom Digitalen ersetzt wird. Das mittels jener Verfahren eruierte subjektive Erleben und Befinden sowie die kurzfristigen Folgen der psychischen Beanspruchung (z. B. psychische Ermüdung und/oder Stressreaktionen) werden als Hinweis für die Intensität psychischer Belastung/ Beanspruchung interpretiert [1]. Hierbei besteht zum einen die Möglichkeit, vorhandene analoge Verfahren mit ihren, über das Manual definierten, Durchführungsparametern eigenständig digital zu adaptieren oder auch über einschlägig gebräuchliche Plattformen digital zu beziehen (z. B. über [5], [6] usw.).

### **1.2 Personenbezogene objektive Erhebungsverfahren von der psychischen Beanspruchung**

Der Organismus nutzt zur Anpassung an innere und äußere Belastungen das vegetative Nervensystem (VNS). Dieses besteht neben dem Darmsystem aus zwei weiteren relevanten Komponenten. Zum einen der Sympathikus, dessen Effektorzellen die glatte Muskulatur aller Organe, der Herzmuskel und zum Teil die exokrinen Drüsen darstellen. Zum anderen der Parasympathikus, welcher die glatte Organmuskulatur und die Drüsen des Magen-Darm-Trakts, der Ausscheidungsorgane, der Sexualorgane, der Lunge und die Tränen- sowie die Speicheldrüsen im Kopfbereich als auch die inneren Augenmuskeln innerviert. Sympathikus

und Parasympathikus bestehen in der Peripherie aus vielen anatomisch getrennten vegetativen motorischen Endstrecken, welche die zentralen Botschaften auf viele Organe übertragen und somit maßgeblich ihre Aktivierung bedingen. Beide Systeme wirken funktionell immer zusammen und aktivieren physiologisch mittels Überträgersubstanzen (parasympathisch mittels Neurotransmitter wie Acetylcholin; sympathisch mittels Katecholamine wie Adrenalin/ Noradrenalin). [7, S. 439–473] Die physiologische Anpassung des Organismus auf psychisch (mentale) Anforderungen erfolgt über zwei Reaktionen, die wiederum über physiologische Muster messbar sind [8]. Beginnend bei der Orientierungsreaktion die zum Beispiel mit einer abnehmenden Herz- und Atemfrequenz korreliert, die aber bei höheren oder schwierigeren kognitiven Anforderungen in eine Defensive-Reaktion mit steigender Herz-, und Atemfrequenz übergeht. Die Orientierungsreaktion setzt ein, wenn das Individuum neuen oder wichtigen Informationen ausgesetzt ist. Wenn aber der Reiz wiederholt dargelegt wird, nimmt die Reaktion auf ihn allmählich ab. Die Defensive-Reaktion setzt während der kontrollierten mentalen Informationsverarbeitung ein. Die Schwierigkeit der zu verarbeitenden Aufgabe bestimmt dabei die Intensität der Reaktion. Dieses Reaktionsmuster besteht solange, wie auch die Bedingungen neu und unvorhersehbar bleiben. Über diese beiden Reaktionsmuster und über die Grundlagen zum peripheren vegetativen Nervensystem mit seinen involvierten Effektorzellen im Organismus, ergeben sich die folgenden physiologischen Indikatorbereiche, welche häufig in arbeitswissenschaftlichen, /-medizinischen und /-psychologischen Beanspruchungsmessungen herangezogen werden [vgl. 2, S. 27]:

- **Kardiovaskuläre Indikatoren**, welche über eine Elektrokardiografie (EKG) aufgezeichnet und gemessen werden können.
- **Hirnelektrische Indikatoren**, bei denen die Veränderungen in der Spannung an der Schädeldecke mittels der Elektroenzephalografie (EEG) aufgezeichnet und gemessen werden.
- **Metabolische Indikatoren**, z. B. das Atemvolumen, die O<sub>2</sub>-Aufnahme, die CO<sub>2</sub>-Abgabe, der Energieumsatz.
- Die **elektrodermalen Indikatoren**, werden über die elektrodermale Aktivität mit der Messung von Hautwiderstandsreaktionen eruiert.
- **Endokrine, hormonelle Indikatoren**, wären z. B. die (Nor-)AdrenalinKonzentration im Organismus.
- Bei den **okulomotorischen Indikatoren**, werden kontaktbehaftete als auch berührungslose Verfahren eingesetzt. Zum Beispiel bei der Messung von Augen- und Blickbewegungen, bei der Messung der Lidschlussfrequenz oder auch des Pupillenverhaltens. Eingesetzte Verfahren sind an dieser Stelle die Elektrokulografie (EOG), Elektromyografie (EMG), kameragestützte (Eye-Tracking-)Verfahren und die Pupillometrie.

### 1.3 Vor- und Nachteile subjektiver und objektiver Verfahren

Für den Vergleich, differenzieren sich die in der zugrundeliegenden Studie verwendeten Messverfahren zur psychischen Beanspruchung in objektive sowie subjektive Erhebungen, die zum Teil exklusive Vor- und Nachteile (siehe Tabelle 1) besitzen. Beiden Erhebungsarten wird als Gemeinsamkeit eine hohe Augenscheinvalidität zugeschrieben. Im Gegensatz zu den objektiven Verfahren profitieren aber die subjektiven Erhebungen, von einer relativ leichten

Handhabbarkeit und einer hohen Sensitivität für Beanspruchungsveränderungen [9]. Demgegenüber steht die Schwierigkeit bei subjektiven Verfahren einen momentanen Beanspruchungszustand festzuhalten. Dies begründet sich darauf, dass eine Durchführung der Befragung den Ablauf unterbricht und diese Unterbrechung selbst wieder Beanspruchung hervorruft, womit eine Messung verzerrt werden kann. Des Weiteren ist nicht immer klar, ob Personen das Ausmaß der Beanspruchung zu jeder Zeit korrekt beurteilen können. Denn punktuell auftretende Beanspruchungsspitzen können die Bewertung einer länger andauernden Untersuchungsphase stark beeinflussen und somit wiederum verzerren [10]. Zudem bestehen Bedenken, dass etwaig betroffene Personen, willkürlich oder unwillkürlich, falsche Auskünfte geben oder sich verstellen [11, S. 42]. Bei den subjektiven Erhebungsverfahren können also Verzerrungen auftreten, welche sich über die Untersuchungskonstellation und der daraus resultierenden Reihenfolgeeffekte und/oder über nicht relevante Informationen ergeben [12, S. 33].

**Tabelle 1:** Diskutierte Vor- und Nachteile (+/-) subjektiver sowie objektiver Erhebungsverfahren

Aufgeführte Merkmale	Erhebungsverfahren	
	subjektive	objektive
Hohe Augenscheinvalidität	+	+
Leichte Handhabbarkeit	+	-
Höhere Sensitivität bei Beanspruchungsvariationen	+	-
Möglichkeit von einer kontinuierlichen, unterbrechungsfreien Messung	-	+
Verzerrungen durch Konstellationen oder Reihenfolgeeffekte	-	+
Verzerrungen durch wissentliche/unwissentliche Fehlantworten	-	+

## 2 Laborexperiment

Die zugrundeliegende Arbeit nutzt die messbare Beanspruchung des Individuums bei erhöhter mentaler Belastung. Die Belastung wird über das Absolvieren kognitiver Leistungstests induziert und fordert Fähigkeiten der fluiden sowie kristallinen Intelligenz. Somit ergibt sich ein partielles Abbild der modernen als auch zukünftigen Arbeit sowie deren immanente psychische (mentale) Belastung [vgl. 2, S. 9–11]. Die Arbeitsumgebungsbedingungen, wie die Beleuchtung, Raumtemperatur und Luftfeuchte wurden über die Klima- und Beleuchtungstechnik in Anlehnung an adäquater Normen konfiguriert als auch konstant gehalten [13; 14]. Verzerrende Umgebungseinflüsse wie hohe Geräuschpegel und eine hohe Konvektionsströmung der Luft werden mit einer adäquaten Klimakonfiguration und mittels einer schallisolierenden Einhausung der Untersuchungsumgebung ausgeschlossen.

### 2.1 Eingesetzte subjektive Erhebungsverfahren

Bezogen auf die psychische Beanspruchungsmessung eignen sich bewährte und standardisierte Verfahren. Zudem sollte eine zeit-, belastungs- und beanspruchungsarme Bewältigung während der Untersuchung den Probanden\*innen ermöglicht werden, um einige angesprochene Nachteile jener Verfahren abzuschwächen. Zudem wurden die subjektiven Erhebungen im Untersuchungsablauf direkt nach dem Absolvieren der induzierten psychischen (mentalen) Belastung sachlogisch integriert und informationstechnisch implementiert (siehe Abschnitt 2.3 zur Durchführung). Der implementierte, standardisierte

Prozessablauf benötigte, bezüglich der subjektiven Beanspruchungsmessung, kein zusätzliches Eingreifen des Versuchsleiters. Diesbezügliche Störeinflüsse sind somit nicht zu erwarten (siehe Versuchsleitereffekt; [15, S. 78–79]).

Zum Zwecke des Vergleichs und aus Gründen der Validität, fanden zwei subjektive Erhebungsverfahren ihren Einsatz. Zum einen der „Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung“ (KAB) [16], welcher in dieser Arbeit digital umgesetzt und an den entsprechenden Positionen im Untersuchungsablauf implementiert wurde (siehe Abschnitt 2.3). Der KAB ermöglicht, als ein psychologisches Messinstrument, die Erfassung der subjektiv erlebten Beanspruchung mit kurzen Retest-Intervallen. Das Instrument zeigt laut den Autoren eine Retest-Reliabilität von  $Rel_{Retest} = 0,83$  und eine hohe Sensitivität für kurz aufeinanderfolgende, unterschiedlich belastende Interventionen. Die Befragung besteht aus sechs Zeilen einer sechsstufigen Ratingskala, bei der das momentane Befinden über bipolar angeordnete Adjektive beschrieben wird. Die untersuchte Person kann ihre Beanspruchung von „minimal“ (1) bis „maximal“ (6) bewerten. Zur Vermeidung einfacher „Ankreuz-Strategien“, werden die Items unterschiedlich gepolt. In der „pencil-paper“-Version erfolgt diese Bewertung über eine Markierung der ausgewählten Position (1–6) zwischen den Adjektiven. In der für diese Arbeit implementierten digitalen Umsetzung, existieren je Zeile sechs sogenannte „Radio-Buttons“ denen ein Attributwert von eins bis sechs zugeordnet ist. Über das „Radio-Button“-Konzept ist je Zeile nur eine „exklusive-oder“-Auswahl (XOR) erlaubt. Der schlussendliche KAB-Index ergibt sich somit als Mittelwert über die sechs Werte der sechs Zeilen [vgl. 2, S. 60].

Als zweites, von den Probanden\*innen zeit-/ und aufwandsarm durchzuführendes, Erhebungsverfahren, wurde die digital umgesetzte „Skala zur Erfassung der subjektiv erlebten Anstrengung“ (SEA; [17]) eingesetzt. Die SEA ist eine Übersetzung und Modifizierung der „rating scale of mental effort“ (RSME; [18; 19]) und ermöglicht den Proband\*innen ihre mentale Beanspruchung zu bewerten. Zur Orientierung der Beanspruchungshöhe verfügt die Skala, neben der gleichmäßig aufgeteilten elfstufigen Quantifizierung (linksseitig der Skala), noch über sieben verbal formulierte Ankerpunkte (rechtsseitig der Skala) von „kaum anstrengend“ bis „außerordentlich anstrengend“. In der – für diese Arbeit – implementierten digitalen Umsetzung, wird die mentale Beanspruchungshöhe über einen direkt auf der Skala manipulierbaren Zeiger verifiziert. Dieser Zeiger kann von den Proband\*innen auf eine passend empfundene Höhe gezogen werden, wobei der konkrete Wert, auf den der Zeiger verweist, während des kompletten Bewertungsvorganges auf dem Monitor als visuelles Feedback dargelegt wird. [vgl. 2, S. 59–60]

## 2.2 Eingesetzte objektive Erhebungsverfahren

Das oben aufgeführte komplementäre Verhalten von Atem- und Herzfrequenz während der unterschiedlichen Reaktionsphasen, kann die Detektion der psychischen (mentalen) Belastung erschweren (siehe Abschnitt 1.2). Denn je nach vorliegender Dominanz von der Informationswahrnehmung (Orientierungsreaktion) oder der Informationsverarbeitung (Defensive-Reaktion) im Individuum während der mentalen Belastungsphasen, ändern sich auch die tendenziellen Ausprägungen der Atem- oder Herzfrequenz. Das bedeutet auch, dass eine höhere psychische (mentale) Belastung mit gleichem Anteil an Orientierungs- und Defensive-Reaktionen im Individuum, von einer geringeren psychischen (mentalen) Belastung und durchschnittlicher Atem- sowie Herzfrequenz nur schwer zu unterscheiden wäre [vgl. 2,

S. 58]. Daher wird auf die Herz- oder Atemfrequenz als psychisch (mentale) Beanspruchungsindikatoren verzichtet und stattdessen die Herzratenvariabilität (HRV) als kardiovaskulärer Kennwert eingesetzt. Die Aufzeichnung des Elektrokardiogramm (EKG) wird während des Versuches mit einem mobilen EKG-Recorder durchgeführt [20]. Anschließend wird die Veränderung der zeitlichen Abstände zwischen zwei aufeinander folgenden Herzschlägen berechnet [21]. Diese Variabilität der Abstände zwischen den Herzschlägen begründet sich aus dem Zusammenspiel von Sympathikus & Parasympathikus (siehe Abschnitt 1.2). Über die Sekretion von Noradrenalin, bedingt die sympathische Komponente des VNS eine Reduzierung der HRV. Wohingegen die parasympathische Komponente, über die Freisetzung von Acetylcholin, zu einer Erhöhung der Variabilität führt. Die HRV gilt als ein sehr sensibler und spezifischer Indikator. Das Abnehmen der HRV, verweist auf eine höhere psychische (mentale) Beanspruchung. Die Zunahme wiederum, weist auf Entspannung und Erholung hin. Für eine validere Betrachtung werden mehrere Kennwerte zur Analyse und Auswertung herangezogen. Die Maße „standard deviation from NN-Intervals“ (SDNN) und „root mean square of successive differences“ (RMSSD) sind Streumaße für die Abstände der einzelnen, aufeinanderfolgenden Herzschläge. Sie fungieren beide jeweils als Indikatoren der HRV und werden für Gesamtvariabilitäts- sowie für Kurzzeitvariabilitätsbetrachtungen eingesetzt [22, S. 20; 23, S. 4–7; 24, S. 17; 25, S. 27].

Zusätzlich zu den kardiovaskulären Indikatoren wurde ein Muster pro Minute (MPM) im Lidschlagverhalten als zweiter objektiv erhobener Parameter zur Beanspruchungsmessung eingesetzt. Aktuell stehen alleine im Bereich der Okulomotorik mehrere physiologische Reaktionen im Verdacht, verschiedene mentale Beanspruchungssituationen objektiv detektieren zu können:

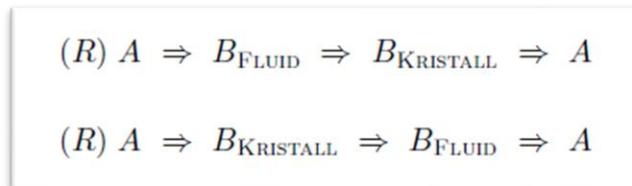
- Augenbewegung und Blickverhalten [26–28],
- Pupillenverhalten [29–33],
- sowie der Lidschlag mit seinen Parametern [34–38].

Das in dieser Arbeit detektierte MPM besteht aus der Kombination einer individuell unterdurchschnittlichen Lidschlagfrequenz gefolgt von einer individuell extrem hohen Lidschlagfrequenz. Jenes Verhalten wurde kameratechnisch, mit einer Aufnahmegeschwindigkeit von 120 Bildern pro Sekunde, über ein eigens implementiertes Softwaresystem berührungslos erhoben. Genauere Angaben zu dieser Methode als auch zur konkreten Parametrierung des Musters können in der entsprechenden Literatur nachgeschlagen werden [2].

### **2.3 Arbeitsaufgabe und Durchführung**

Die Versuchsbedingungen unterteilen sich in zwei Belastungsszenarien. Zum einen in die Experimentalbedingung (B), welcher einer mental fordernden Arbeitsbelastung entspricht und zum anderen in eine ruheähnliche Kontrollbedingung (A). Die mental fordernde Arbeitsbelastung wird über zwei kognitive Leistungstests induziert. Der „Wiener Matrizen Test-2“ (WMT-2) ist einer der beiden kognitiven Leistungstests und ist dem Bereich der fluiden Intelligenz zuzuordnen [39; 40]. Aus dem Bereich der kristallinen Intelligenz wird die „Kurzskala zur Messung kristalliner Intelligenz“ (BEFKI GC-K) eingesetzt [41].

Um mögliche Positionseffekte [40] der Leistungstests ( $B_{FLUID}$  und  $B_{KRISTALL}$ ) im Untersuchungsablauf zu vermeiden, wurde eine Balancierung vorgenommen. Somit ergaben sich die mittels Abbildung 1 illustrierten formalen Untersuchungsabläufe, auf denen die Proband\*innen randomisiert ( $R$ ) aufgeteilt wurden.



**Abbildung 1:** Formaler, balancierter und randomisierter Untersuchungsablauf [vgl. 2, S. 137]

Nach dem Etablieren der EKG-Technik bei den Probanden\*innen und nach der Aufklärung über den Versuchsablauf, verlässt der Versuchsleiter die direkte Untersuchungsumgebung. Hiermit sollte der Einfluss des Versuchsleiter-Erwartungseffekts abgeschwächt werden [40]. Ein akustisches Signal startete den Versuch. Die Proband\*innen quittierten das gehörte Startsignal mit dem Drücken des entsprechenden (Start-)Buttons in der implementierten Software. Die Software führt uniform und automatisiert durch die gesamte Untersuchung, d. h. zu den jeweils einzelnen in der Software digital eingebetteten Bedingungsphasen (siehe Abbildung 1) und den sich jeweils anschließenden digital umgesetzten Kurzbefragungen zur psychischen Beanspruchung (SEA & KAB, siehe Abschnitt 2.1). Alle relevanten Untersuchungszeitpunkte (z. B. Start-, Endzeit und Dauer) werden abgespeichert und dokumentiert. Die komplette Versuchsdurchführung nahm die Probanden\*innen im Durchschnitt ca. 34 Minuten in Anspruch. Die Phasen der Kontrollbedingung (A), zu Beginn und am Ende des Versuches, werden zur Baseline-Erhebung und zur Erholungsverifizierung der Beanspruchungsparameter genutzt. Die Dauer jener Phasen ist jeweils auf genau 300 Sekunden begrenzt. Die Dauer der Experimentalbedingungsphase  $B_{KRISTALL}$  beträgt mindestens 300 Sekunden, wobei 300 Sekunden auch die jeweils minimal benötigte Zeit aller einzelnen Bedingungsphasen dieses Versuches sowie die Restriktionen für eine Mindestdauer der empirischen HRV-Forschung darstellt [23]. Für die Kurzbefragungen (SEA & KAB) und für die Experimentalbedingungsphase  $B_{FLUID}$  ist in der Durchführung keine maximale Zeitbegrenzung vorgesehen. Die mittleren Durchführungszeiten über alle Probanden und Befragungen ergaben SEA & KAB: ca. 30 s und  $B_{FLUID}$ : 827,32 s (SD = 290,19 s). Der Versuchsleiter befindet sich während des gesamten Versuches in einem separaten Beobachtungsraum, wobei sich das Beobachtungsfenster im rückwärtigen Bereich der Proband\*innen und somit außerhalb ihrer direkten Wahrnehmung befindet. [vgl. 2, Abschnitt zur Manipulationskontrolle der unabhängigen Variable]

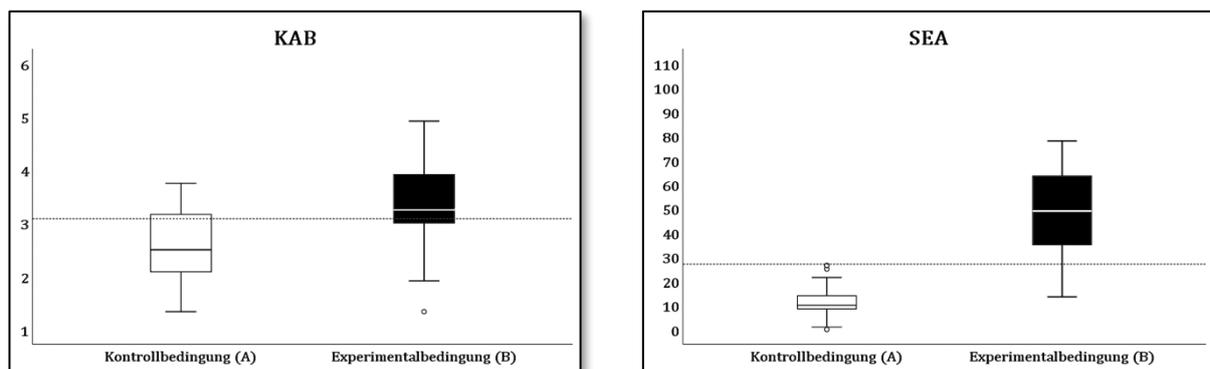
### 3 Ergebnisse

Die zugrundeliegende Studie ist Bestandteil einer größeren Belastungs- und Beanspruchungsuntersuchung des Fachgebietes Arbeitswissenschaft und Arbeitspsychologie der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg und wurde somit in Teilen auch schon veröffentlicht [42–46]. Die gesamte Studie kann über die Literatur ausführlich nachvollzogen werden [2]. Von den ursprünglich 56 Proband\*innen, mit denen das Laborexperiment durchgeführt wurde (exklusive der 8 Proband\*innen aus dem Pretest), konnten, nach dem Eruiern und Entfernen der Ausreißer (2 Proband\*innen) sowie der

defekten Datensätze [47, S. 12; 48, S. 34–36], 45 Proband\*innen in die Ergebnisbetrachtung miteinbezogen werden. Aus dieser Stichprobe ordneten sich 23 Personen dem weiblichen und 22 Personen dem männlichen Geschlecht zu. Die Verteilung des Alters lag zwischen 19–58 Jahren ( $\bar{x}$  29,98 Jahre; SD = 7,9). Zu Beginn werden die deskriptiven Streumaße der Befragungen und deren Differenzen  $d_i$  (siehe Tabelle 2) sowie der objektiven Erhebungsdaten und deren Differenzen  $d_i$  (siehe Tabelle 3) zusammengefasst dargestellt und mittels der sich anschließenden Boxplots (siehe subjektiv: SEA & KAB Abbildung 2; siehe objektiv: SDNN & RMSSD Abbildung 3 und MPM Abbildung 4) veranschaulicht.

**Tabelle 2:** Ergebnisse der subjektiven Erhebungsverfahren und deren Differenzen [vgl. 2, S. 189]

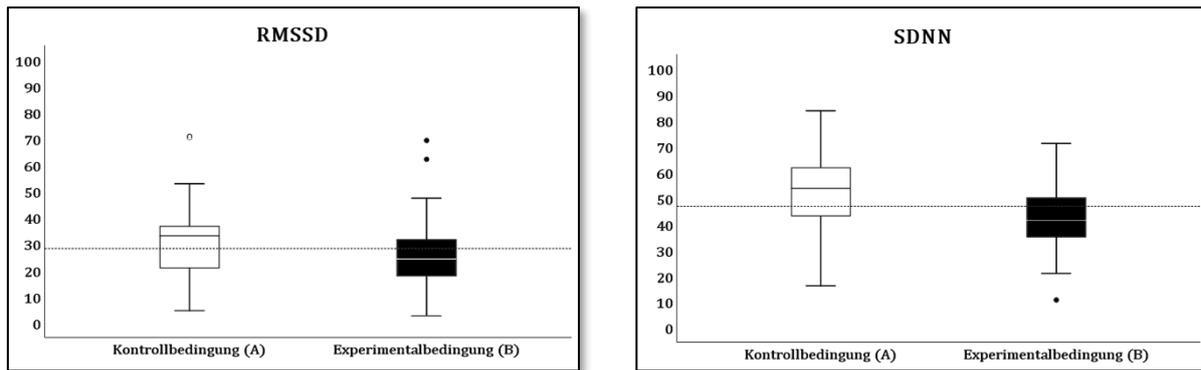
Versuchsbedingung	Kontrollbedingung (A)		Experimentalbedingung (B)		$d_i$		
	SEA	KAB	SEA	KAB	SEA	KAB	
subjektive Erhebung							
Mittelwert (MW)	13,52	2,59	47,30	3,32	33,78	0,72	
95% KI des MW	Unter	10,33	2,39	42,17	3,07	28,74	0,56
	Ober	16,72	2,79	52,43	3,56	38,81	0,88
Median	10,00	2,50	49,00	3,25	30,50	0,75	
Std.-Abweichung	10,64	0,67	17,06	0,81	16,76	0,53	
Minimum	0	1,34	13,50	1,34	-1,50	-0,09	
Maximum	52,00	3,75	78,00	4,92	68,5	2,50	



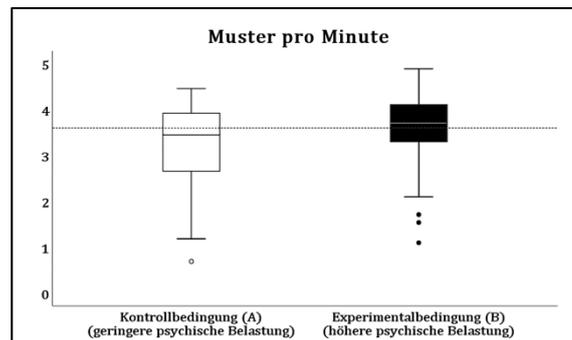
**Abbildung 2:** Boxplots von den Kennwerten der subjektiven psychischen Beanspruchungserhebung; KAB: links, SEA: rechts [vgl. 1, S. 190]

**Tabelle 3:** Ergebnisse der objektiven Erhebungsverfahren [vgl. 2, Abschnitt Ergebnisse]

Versuchsbedingung	Kontrollbedingung (A)			Experimentalbedingung (B)			$d_i$			
	SDNN	RMSSD	MPM	SDNN	RMSSD	MPM	SDNN	RMSSD	MPM	
objektive Erhebung										
Mittelwert (MW)	52,03	31,71	3,28	43,11	25,83	3,65	-8,92	-5,88	0,37	
95% KI des MW	Unter	47,48	27,51	3,00	39,12	21,80	3,40	-11,33	-7,41	0,15
	Ober	56,58	35,92	3,57	47,09	29,87	3,90	-6,52	-4,35	0,59
Median	53,80	33,05	3,45	41,40	24,25	3,79	-6,65	-5,30	0,33	
Std.-Abweichung	15,15	14,00	0,95	13,26	13,43	0,82	8,01	5,09	0,73	
Minimum	16,20	4,60	0,69	10,70	2,65	1,10	-37,35	-21,55	-1,11	
Maximum	83,75	70,95	4,73	71,15	69,35	4,89	5,35	5,00	2,56	



**Abbildung 3:** Boxplots von den kardiovaskulären Kennwerten der objektiven psychischen Beanspruchungserhebung; RMSSD: links, SDNN: rechts [vgl. 2, S. 201]



**Abbildung 4:** Boxplots von den Mustern pro Minute (MPM) im Lidschlagverhalten als objektive psychische Beanspruchungserhebung [vgl. 2, S. 235]

Über die dargelegte deskriptive Statistik (Streumaße & Boxplots) wird augenscheinlich erkennbar, dass sich jeder Indikator über die beiden verschiedenen hohen psychischen (mentalen) Belastungsbedingungen differenzieren lässt. Über die nachgeschalteten und gerichteten inferenzstatistischen Unterschiedsanalysen, verfestigt sich dieser Eindruck. Alle Indikatoren zeigen dort hoch signifikant verschiedene Ausprägungen mit mittleren bis großen Effektstärken [vgl. 2, Abschnitt Ergebnisse]:

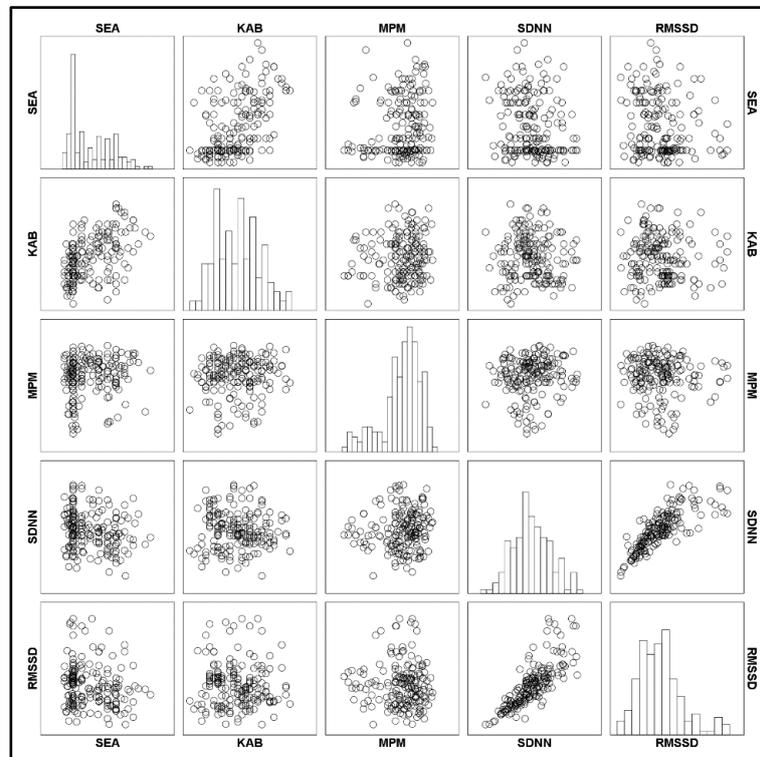
- **SEA** (parametrisch,  $t$ -Test):  $t(44) = -13,523$ ;  $p < 0,001$ ;  $d = 2,3$ ; hoch signifikant und mit  $d = 2,37 \geq 0,8$  liegt ein großer Effekt vor;
- **KAB** (nicht-parametrisch, Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test):  $z = -5,603$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 42$ ;  $r = 0,526 \geq 0,5$  : großer Effekt;
- **SDNN** (nicht-parametrisch, Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test):  $z = -5,548$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 45$ ;  $r = 0,823 \geq 0,5$  : großer Effekt;
- **RMSSD** (nicht-parametrisch, Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test):  $z = -5,413$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 45$ ;  $r = 0,807 \geq 0,5$  : großer Effekt;
- **MPM** (nicht-parametrisch, Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test):  $z = -3,11$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 45$ ;  $0,3 \leq r = 0,46 < 0,5$  : mittlerer Effekt.

Die Ergebnisse der parametrischen Zusammenhangsanalyse, aller Indikatoren zur psychischen Belastung, werden anschließend mit ihrer Effektstärke kurz berichtet (1-seitig):

- **SEA:**  $r_{pb} = 0,702$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 180$ ;  $0,5 \leq |r_{pb}|$  : großer Effekt
- **KAB:**  $r_{pb} = 0,401$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 180$ ;  $0,3 \leq |r_{pb}| < 0,5$  : mittlerer Effekt
- **SDNN:**  $r_{pb} = -0,284$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 180$ ;  $0,1 \leq |r_{pb}| < 0,3$  : kleiner Effekt

- **RMSSD:**  $r_{pb} = -0,202$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 180$ ;  $0,1 \leq |r_{pb}| < 0,3$  : kleiner Effekt
- **MPM:**  $r_{pb} = 0,191$ ;  $p < 0,01$ ;  $n = 180$ ;  $0,1 \leq |r_{pb}| < 0,3$  : kleiner Effekt

Die Streudiagramm-Matrix aus Abbildung 5 illustriert, mehr oder weniger gut, einen möglichen augenscheinlichen Zusammenhang aller in dieser Arbeit genutzten Beanspruchungsindikatoren.



**Abbildung 5:** Streudiagramme aller genutzten Beanspruchungsindikatoren [vgl. 2, S. 260]

Nicht zuletzt auch über diese Korrelationsbeziehung der genutzten Erhebungsverfahren zeigt sich die schwierige Operationalisierung der psychischen Belastung. Grundsätzlich besitzen die subjektiven und die objektiv-kardiovaskulären Messverfahren jeweils untereinander einen gerichteten signifikanten Zusammenhang:

- **SEA & KAB:**  $r = 0,519$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 180$  mit  $0,5 \leq |r|$  : großer Effekt;
- **SDNN & RMSSD:**  $r = 0,803$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 180$  mit  $0,5 \leq |r|$  : großer Effekt

aber nur die SEA-Bewertung der subjektiven Beanspruchungsmessung korreliert gerichtet und überzufällig stark mit beiden HRV-Kennwerten und der Lidschlagmusterfrequenz:

- **SEA & SDNN:**  $r = -0,197$ ;  $p < 0,01$ ;  $n = 180$   $0,1 \leq |r| < 0,3$  : kleiner Effekt
- **SEA & RMSSD:**  $r = -0,176$ ;  $p < 0,01$ ;  $n = 180$   $0,1 \leq |r| < 0,3$  : kleiner Effekt
- **SEA & MPM:**  $r = -0,141$ ;  $p < 0,05$ ;  $n = 180$   $0,1 \leq |r| < 0,3$  : kleiner Effekt.

## 4 Diskussion und Fazit

Auf der Grundlage der dargelegten Ergebnisse wird ein Zusammenhang zwischen der psychischen (mental)en Belastung kognitiver Leistungstests aus dem Bereich der fluiden/kristallinen Intelligenz und der psychischen Beanspruchung mittels subjektiver und objektiver Messverfahren aufgezeigt. Mit jedem der eingesetzten Beanspruchungsindikatoren

konnten signifikante Unterschiede in den Versuchsbedingungen und signifikante Zusammenhänge zur psychischen (mentalen) Belastung dargelegt werden. Zudem zeigt sich auch in der zugrundeliegenden Studie, dass subjektive Einschätzungen mit den objektiv gemessenen physiologischen Parametern in ihrer tendenziellen Ausprägung übereinstimmen aber nicht immer überzufällig stark miteinander zusammenhängen. Die hier genutzten Verfahren zur Beanspruchungsmessung lassen sich zum einen in der Effektstärke der statistischen Signifikanztests und zum anderen in Ausprägungshöhe der jeweiligen Versuchsbedingungen differenzieren. Es bestehen also Unterschiede in der Sensitivität und Diagnostizität der genutzten Messverfahren gegenüber unterschiedlicher Arten der psychischen (mentalen) Belastung und Beanspruchung. Um an dieser Stelle die Konstruktvalidität zu erhöhen, sollte klar sein, inwieweit von den empirisch-statistischen Ergebnissen auf das interessierende theoretische Konstrukt zurückgeschlossen werden kann. Diese Validität ist von der Theoriearbeit sowie der Operationalisierung abhängig. [49, S. 97] Über die Operationalisierung wird festgelegt welche beobachtbaren Merkmale (Indikatoren) das jeweilige interessierende theoretische Konstrukt abbilden und mittels welcher standardisierten Messinstrumente diese erfasst werden sollen. Je besser die interessierenden theoretischen Konstrukte über den aktuellen Forschungsstand spezifiziert und definiert wurden, je höher ist auch die Konstruktvalidität. Existieren dahingehende Potentiale, kann die Konstruktvalidität zunehmen, wenn gut geprüfte Messinstrumente ihren Einsatz finden und wenn die interessierenden Merkmale nicht nur mittels einem, sondern mittels mehrerer verschiedener Messinstrumente und/oder -methoden gewonnen werden (Stichwort: Mono-Operationalisierungs-Bias & Mono-Methoden-Bias; [2; 49, S. 21–22]).

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Böckelmann, I, Seibt, R (2011): Methoden zur Indikation vorwiegend psychischer Berufsbelastung und Beanspruchung — Möglichkeiten für die betriebliche Praxis. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 65(3):205–222.
- [2] Reßut, N (2021): Das Lidschlagverhalten als Indikator psychischer Belastung. Springer Vieweg, Wiesbaden. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-36052-8>; ISBN: 978-3-658-36051-1
- [3] DIN EN ISO 10075-3:2004-12: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung – Teil 3: Grundsätze und Anforderungen an Verfahren zur Messung und Erfassung psychischer Arbeitsbelastung (ISO 10075-3:2004); Deutsche Fassung EN ISO 10075-3:2004, (10075-3:2004-12).
- [4] Schütte, M (1986): Zusammenstellung von Verfahren zur Ermittlung des subjektiven Beanspruchungserlebens bei informatorischer Belastung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, (40):83–89.
- [5] Hogrefe (2016): Testzentrale. Bezugsmöglichkeiten für Testverfahren. <https://www.testzentrale.de/>. Abgerufen am 12/2020.
- [6] Schuhfried (2016): Das Wiener Testsystem. <https://www.schuhfried.com/de/>. Abgerufen am 12/2020.
- [7] Jänig, W (2007): Vegetatives Nervensystem. In: Schmidt, RF, Lang, F (Hrsg), *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie*. Springer Medizin Verlag Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [8] Mulder, G (1979): Perception as information processing. *Urban Ecology*, 4(2):103–118.

- [9] Nienaber, C (1997): Psychische Beanspruchung im Assessment-Center. Lit, Münster.
- [10] Vidulich, MA, Tsang, PS (1986): Techniques of subjective workload assessment: a comparison of SWAT and the NASA-Bipolar methods. *Ergonomics*, 29(11):1385–1398.
- [11] Schlick, C, Bruder, R, Luczak, H (2018): Arbeitswissenschaft. 4. Auflage. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [12] Schwalm, M (2009): Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchungen im automotiven Kontext. Dissertation, Universität des Saarlandes.
- [13] DIN EN 12464-1:2019-06: Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutsche und Englische Fassung prEN 12464-1:2019, (12464-1:2019-06).
- [14] DIN EN ISO 11064-6:2005-10: Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 6: Umgebungsbezogene Anforderungen an Leitzentralen (ISO 11064-6:2005), (11064-6:2005-10).
- [15] Shadish, WR, Cook, TD, Campbell, DT (2002): Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference. Wadsworth Cengage Learning, Belmont, Calif.
- [16] Müller, B, Basler, H-D (1993): Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB). Beltz, Weinheim.
- [17] Eilers, K, Nachreiner, F, Hänecke, K (1986): Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 40(4):215–224.
- [18] Zijlstra, FRH (1993): Efficiency in work behaviour. A design approach for modern tools. University Press, Delft.
- [19] Zijlstra, FRH, van Doorn, L (1985): The Construction of a Subjektive Effort Scale. Report, Department of Philosophy and Social Sciences, Delft University of Technology.
- [20] Bittium (2018): Faros. [https://www.bittium.com/products\\_services/medical/bittium\\_faros](https://www.bittium.com/products_services/medical/bittium_faros). Abgerufen am 13.06.2018.
- [21] Tarvainen, MP, Niskanen, J-P, Lipponen, JA, Ranta-Aho, PO, Karjalainen, PA (2014): Kubios HRV—heart rate variability analysis software. *Computer methods and programs in biomedicine*, 113(1):210–220.
- [22] Kalckhoff, N (2018): Wahrgenommener Stress und Herzratenvariabilität bei Patienten mit somatoformen Störungen im Verlauf eines standardisierten mentalen Belastungstests. Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin, Berlin.
- [23] Sammito, S, Thielmann, B, Seibt, R, Klusmann, A, Weippert, M, Böckelmann, I (2014): S2k-Leitlinie: Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. AWMF online.
- [24] Geitel, J (2016): Der Zusammenhang zwischen der Herzratenvariabilität und Stress. Dissertation, Eberhard Karls Universität Tübingen.
- [25] Konrad, J (2017): Einfluss von auditorischer Belastung auf die Parameter der Herzfrequenzvariabilität. Dissertation, Universität Würzburg.
- [26] Schneider, M (2019): Blickbasierte Beanspruchungsmessung : Entwicklung und Evaluation eines Kalibrierungssystems zur individuellen Bewertung der mentalen Beanspruchung in der Mensch-Technik-Interaktion. Dissertation.
- [27] Biswas, P, Dutt, V, Langdon, P (2015): Comparing Ocular Parameters for Cognitive Load Measurement in Eye-Gaze-Controlled Interfaces for Automotive and Desktop Computing Environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 32(1):23–38.

- [28] Galley, N (1993): Augenbewegungen, Antizipation und Leistung: Auf dem Wege zu einem neuropsychologischen Konzentrationsmodell. In: Beckmann, J, Strang, H, Hahn, E (Hrsg), *Aufmerksamkeit und Energetisierung. Facetten von Konzentration und Leistung*. Hogrefe Verl. für Psychologie, Göttingen, Bern, Toronto, Seattle.
- [29] Schultheis, H (2018): Die Pupillengröße als Index zur Online-Erfassung der kognitiven Belastung. Paper, Universität des Saarlandes.
- [30] Chen, S, Epps, J (2014): Using Task-Induced Pupil Diameter and Blink Rate to Infer Cognitive Load. *Human-Computer Interaction*, 29(4):390–413.
- [31] Kerkau, F (2005): Biosignale der Pupille zur Steuerung intelligenter User Interfaces. Untersuchung von Pupillenbewegungen zur Realisierung einer biopsychologischen Computerschnittstelle für die Mensch-Computer-Interaktion. Dissertationsschrift, Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie, Freie Universität Berlin.
- [32] Beatty, J, Lucero-Wagoner, B (2000): The pupillary system. In: Cacioppo, JT, Tassinari, LG, Berntson, GG (Hrsg), *Handbook of psychophysiology*. Cambridge University Press.
- [33] Brunn, Wv, Falk, R, Hedwig, Matthes, K (1941): Untersuchungen über die Pupillenreflexe beim Menschen. *Pflügers Archiv für die Gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 244(5):644–658.
- [34] Wascher, E, Heppner, H, Möckel, T, Kobald, SO, Getzmann, S (2015): Eye-blinks in choice response tasks uncover hidden aspects of information processing. *EXCLI journal*, 14:1207–1218.
- [35] Kramer, AF (1990): Physiological Metrics of Mental Workload: A Review of Recent Progress. Bericht, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [36] Stern, JA, Walrath, LC, Goldstein, R (1984): The Endogenous Eyeblink. *Psychophysiology*, 21(1):22–33.
- [37] Gregory, RL (1952): Variations in blink rate during non-visual tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4(4):165–169.
- [38] Ponder, E, Kennedy, WP (1927): ON THE ACT OF BLINKING. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 18(2):89–110.
- [39] Formann, AK, Waldherr, K, Piswaenger, K (2011): WMT-2: Wiener Matrizen-Test 2; ein Rasch-skaliertes sprachfreier Kurztest zur Erfassung der Intelligenz ; Manual. Beltz-Test, Göttingen.
- [40] Dorsch, F, Wirtz, MA, Strohmmer, J (Hrsg) (2014): Dorsch - Lexikon der Psychologie. 17. Auflage. Huber, Bern.
- [41] Schipolowski, S, Wilhelm, O, Schroeders, U, Kovaleva, A, Kemper, CJ, Rammstedt, B (2013): BEFKI GC-K. A Short Scale for the Measurement of Crystallized Intelligence.
- [42] Reißut, N, Hoppe, A (2020): Detektion eines Musters im Lidschlagverhalten bei höherer und geringerer mentaler Belastung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg), *Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch?* GfA-Press, Dortmund.
- [43] Reißut, N, Hoppe, A (2019): Erfassung von individuellem Beanspruchungserleben bei kognitiven Belastungssituationen mittels Mustererkennung im Lidschlagverhalten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 65:1–13.
- [44] Reißut, N, Hoppe, A (2018): Multioptionale Erfassung von individuellem Beanspruchungserleben bei kognitiven Leistungstests. In: Hoppe, A (Hrsg), *Arbeiten und Leben in multioptionaler Welt*. Shaker Verlag, Aachen.

- [45] Reißut, N, Hoppe, A (2018): Berührungslose Erfassung vom Lidschlagverhalten als Indikator für psychische Beanspruchung bei Operatortätigkeiten. In: Bachhiesl, U (Hrsg), *Neue Energie für unser bewegtes Europa. 15. Symposium Energieinnovation, 14.-16. Februar 2018, TU Graz, Österreich*. Verlag der Technischen Universität Graz, Graz.
- [46] Reißut, N, Hoppe, A (2016): Methodisches Konzept für die berührungslose Erfassung vom Lidschlagverhalten als Indikator für psychische Beanspruchung. In: Hoppe, A (Hrsg), *BeHerrscht die Technik!?* Shaker Verlag, Aachen.
- [47] DIN 53804-1:2002-04: Statistische Auswertung - Teil 1: Kontinuierliche Merkmale, (53804-1:2002-04).
- [48] DIN ISO 5725-2:2002-12: Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen. Teil 2: Grundlegende Methode für Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens (ISO 5725-2:1994 einschließlich Technisches Korrigendum 1:2002), (5725-2:2002-12).
- [49] Döring, N, Bortz, J (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.