

Vergleich subjektiver und objektiver Beanspruchung bei Dual-2-back-Tests

Peter JESCHKE, Bettina LAFRENZ, Sascha WISCHNIEWSKI

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

Kurzfassung: Die situationsabhängige Beanspruchung spiegelt sich wider im objektiven und subjektiven Beanspruchungsempfinden sowie in den Leistungsdaten. Dazu wird im vorliegenden Beitrag eine Laborstudie (N=36) vorgestellt und deren Ergebnisse in Abhängigkeit zum Beanspruchungsmessverfahren diskutiert. In der Studie wurde die objektive Beanspruchung über die Herzrate und verwandte Kennwerte erfasst. Das subjektive Beanspruchungsempfinden wurde mit der eindimensionalen Rating Scale of Mental Effort durch die Versuchspersonen eingestuft und ergänzend auf Unter- bzw. Überforderung bewertet. Als Versuchsaufgaben wurden vier dual-n-back-Tests nacheinander bearbeitet. Die Auswertung zeigt schwache aber signifikante Korrelationen zwischen den Leistungs- und Beanspruchungsparametern.

Schlüsselwörter: dual-2-back, RSME, Herzrate, Herzratenvariabilität, Frequenzanalyse, Leistungsdaten

1. Beanspruchungsempfinden und dessen Messung

Das einleitende Kapitel gibt einen kurzen Überblick über Belastung, Beanspruchung und die Erfassung der subjektiven und objektiven Beanspruchung in Bezug auf die durchgeführte Laborstudie.

1.1 *Belastung und Beanspruchung*

Jede Tätigkeit übt eine Belastung auf die ausführende Person aus; unerheblich ob vorwiegend körperlicher oder kognitiver Natur. Unter Belastung werden alle auf die Person einwirkenden Einflüsse subsumiert. Diese Einflüsse resultieren, auch bedingt durch personenindividuelle Verarbeitungsmechanismen, in einem Beanspruchungsempfinden (nach DIN EN ISO 10075-1). Diese in der DIN EN ISO 10075-1 beschriebene Kausalkette schließt mit positiven bzw. negativen Effekten als Folgen der Beanspruchung auf die ausführende Person. Im Mittelpunkt des folgenden Beitrags stehen mentale Belastung und Beanspruchung (siehe Abschnitt 2.1).

1.2 *Subjektive und objektive Beanspruchung*

Um das erlebte Beanspruchungsempfinden beschreiben zu können, kann Beanspruchung aus zwei Perspektiven betrachtet werden: subjektiv und objektiv. Die subjektive Perspektive umfasst alle Verfahren, bei denen die ausführende Person die erlebte Beanspruchung aus der retrospektiven Ich-Perspektive berichtet. Hierbei ist festzuhalten, dass die empfundene und berichtete Beanspruchung nicht immer

deckungsgleich sein müssen. Die Empfindung wird vor der eigentlichen Berichterstattung durch eine Vielzahl von nicht mit der Aufgabe in Zusammenhang stehender Faktoren gefiltert. Hinsichtlich der anwendbaren Messverfahren können ein- und mehrdimensionale Skalen unterschieden werden. Eindimensionale Skalen fassen die erlebte Beanspruchung in einem Wert zusammen, wohingegen mehrdimensionale Skalen, je nach Skala, sensitiv gegenüber bestimmten Beanspruchungsursachen sein können. Prominente Vertreter sind die Rating Scale of Mental Effort (eindimensional, Zijlstra 1993) und der NASA-Task Load Index (mehrdimensional, Hart & Staveland 1988).

Im Gegensatz dazu erfassen die objektiven Verfahren die entstandene Beanspruchung direkt durch Messung der physiologischen Reaktion. Die für die Beanspruchungsmessung operationalisierten physiologischen Mechanismen werden als nicht willkürlich beeinflussbar angenommen und entziehen sich somit dem individuellen Filter der berichtenden Person. Welche dafür in Frage kommen wird im nächsten Abschnitt erläutert.

1.3 Psychophysiologische Kenngrößen als Maß objektiver Beanspruchung

Neben der Robustheit gegenüber willkürlicher Beeinflussung sind bei der Eignung physiologischer Reaktionen deren noninvasive Messbarkeit und Latenz bedeutsam. Für eine detaillierte Beschreibung sei z. B. auf Manzey 1998 oder Boucsein 2006 verwiesen. Neben den klassischen Verfahren wie z. B. zur Herzrate, Blutdruck, Atmung, Hautleitwiderstand oder Elektroenzephalogramm werden derzeit weitere Verfahren diskutiert: Nahinfrarot-Spektroskopie der frontalen Hirnregionen (Chen et al. 2015), NO-Sättigung im Speichel (z. B. Kitamura et al., 2013), Saccadic Eye movement (z. B. Tokuda & Obinata, 2012).

Im Folgenden werden die kardiologischen Beanspruchungsmaße näher betrachtet, welche der berichteten subjektiven Beanspruchung gegenübergestellt werden.

1.4 Kardiologische Kenngrößen

Als das am einfachsten zugängliche kardiologische Beanspruchungsmaß kann die Herzfrequenz (HR) angesehen werden. Als Messinstrumente für die Herzfrequenz eignen sich Pulsuhren (mit und ohne Brustgurt), Im-Ohr-Geräte und reguläre EKG-Instrumente (mit Elektroden). Die HR ist direkt proportional zur Belastung. Allerdings besitzt die HR keine Diagnostizität für mentale Beanspruchungsunterschiede, da die schwachen Effekte von Artefakten physischer Natur (Muskelarbeit, Bewegung) überlagert werden können (Manzey, 1998).

Weiterhin schlägt das Herz regelmäßiger unter Belastung. Die Herzfrequenzvariabilität (HRV) ist respektive indirekt proportional zur Belastung. Als Beanspruchungsmaß wird z. B. die Wurzel des mittleren Quadrats sukzessiver Differenzen verwendet (rMSSD).

Um aus dem komplexen Biosignal Aussagen über die Beanspruchung abzuleiten, kann je nach Forschungsfragestellung neben der Zeitreihenanalyse auch eine Frequenzanalyse zweckmäßig sein. Dafür wird das Signal z. B. mittels Fast Fourier Analyse einer Spektralanalyse unterzogen (Mulder, 1992). Für die objektive Beanspruchungsanalyse werden drei Frequenzbänder ausgewertet. Diese bilden Einflüsse unterschiedlicher Regulationsmechanismen ab und lassen somit Rückschlüsse auf mentale Beanspruchung zu (Task Force of The European Society of Cardiology, 1996).

2. Laborstudie

Im Zeitraum zwischen April und Oktober 2015 nahmen 38 Versuchspersonen (VP) an den Versuchen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Dortmund) teil. Die Versuche begannen mit wenigen Ausnahmen 9 Uhr. Die Versuche fanden auf einem Tablet-PC mit externer Tastatur statt.

Ziel der Studie war es, subjektive und objektive Beanspruchungswerte zu vergleichen. Die mentale Beanspruchung resultierte aus der wiederholten Bearbeitung von dual-n-back-Tests. Zur Messung der Herzfrequenz wurde eine Polar Pulsuhr am Brustgurt verwendet mit der korrespondierenden Software Polar Trainer 5.

2.1 Arbeitsaufgabe und Durchführung

Die Versuchspersonen wurden gebeten, einen dual-2-back-Test (d2b) viermal zu wiederholen. Gegenstand der Aufgabe war es, Position und Farbe (Arbeitsgedächtnisspanne) des aktuellen Stimulus mit dem vorletzten dargebotenen Stimulus zu vergleichen (Arbeitsgedächtniskapazität). Bei Übereinstimmung mussten entsprechende Tasten auf der externen Tastatur gedrückt werden. Zur Präsentation der Stimuli wurde die Software brainworkshop 4.8.4 (Hoskinson & Toomin) verwendet und an die Fragestellungen der Studie geringfügig angepasst.

Die VPs wurden nach Anbringen des Brustgurtes und Aufzeichnung einer baseline gebeten, die Instruktion zu lesen und sich bei Fragen an die Versuchsleitung zu wenden. Wenn keine Unklarheiten oder Fragen bestanden wurde die Aufgabendarbietung gestartet. Die Durchführungsdauer einer Aufgabe betrug 63 Sekunden in denen 20 Stimuli präsentiert wurden. Im Anschluss an jede Aufgabe wurden die VPs gebeten, die Anstrengung mittels RSME-Skala einzuschätzen und ihre Einschätzung auf Unterforderung, optimale Auslastung oder Überforderung zu bewerten. Mit der RSME-Skala kann die Beanspruchung von 0 bis 150 eingestuft werden. Zur besseren Interpretation für die VPs bietet die Skala verbale Anker (siehe Abbildung 2). Insgesamt dauerte die Versuchsdurchführung circa zehn Minuten.

2.2 Ergebnisse

Die gewonnenen Rohdaten wurden mittels einer Visual Basic for Applications Routine in Microsoft Excel 2010 eingelesen, bereinigt und zu Kennwerten weiterverarbeitet (Artefaktdetektion und -korrektur nach Mulder 1988 und Task Force of The European Society of Cardiology, 1996). Um die Kennwerte deskriptiv und interferenzstatistisch auswerten zu können, wurden analog zu Kähler (2006) Skalenniveaus, Normalverteilungen (Histogramm) und Varianzhomogenitäten (einfaktorielle Varianzanalyse) überprüft. Die Auswertung erfolgte nach d2b-Aufgabe, nach VP und über alles.

Von 38 teilnehmenden VPs konnten für die Auswertung 36 herangezogen werden. Die Teilnehmer waren bis auf die allgemeine Kontrollgruppe (N=6) berufstätige Operateure (weiblich: 4, Alter: $43,5 \pm 9,7a$, Berufserfahrung: 1 Monat bis 29 Jahre).

Die Leistung des Arbeitsgedächtnisses wurde durch den Erfüllungsgrad der Aufgabe operationalisiert. Der Erfüllungsgrad (in %) berechnete sich als Quotient aus Anzahl richtiger Reaktionen (Farbe und Position) durch die Summe falscher und richtiger Reaktionen (Farbe und Position). Der Erfüllungsgrad lag im Mittel bei $33,5 \pm 6,4\%$ mit einem über die vier d2b-Aufgaben steigenden Trend.

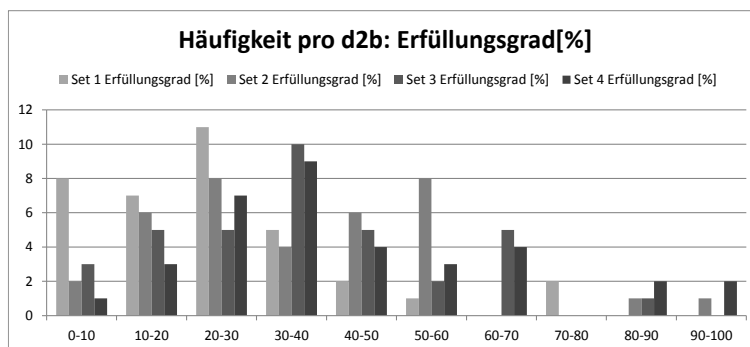


Abbildung 1: Erfüllungsgrad als Häufigkeitsverteilung pro d2b-Aufgabe

Die subjektive Beanspruchung wurde von 0 bis 150 angegeben, mit einem Mittelwert von 66 ± 1 (entspricht dem verbalen Anker „erhebliche Anstrengung“) und einem ausgeglichenen Trend.

Die vorgenommene Bewertung des Beanspruchungsempfindens erfolgte auf einer 5-stufigen Ordinalskala mit den Stufen unterfordert (u), optimal ausgelastet (o), überfordert (ü) mit den Zwischenstufen unterfordert/ optimal (uo) und überfordert/ optimal (oü). Für die Auswertung wurde die Bewertung in eine Intervallskala überführt. Über alle d2b-Aufgaben hinweg wurde im Median „überfordert/ optimal (üo)“ bewertet.

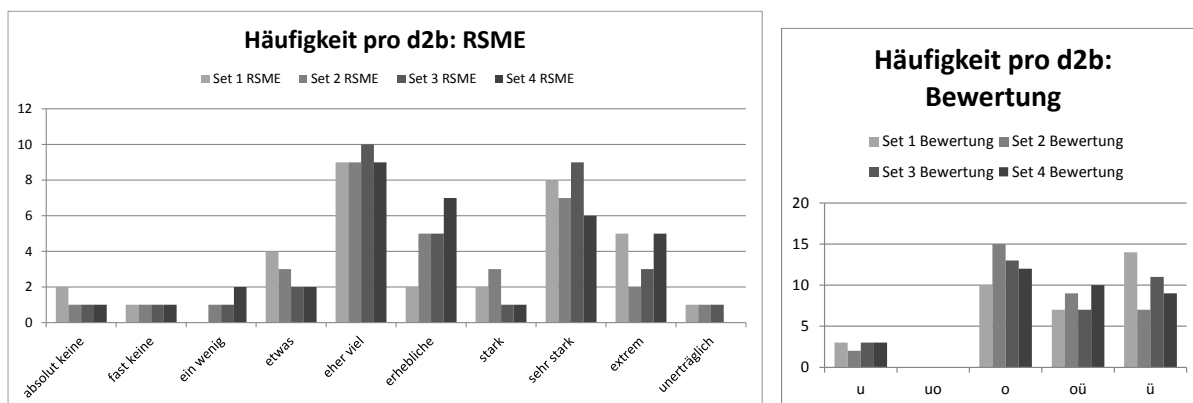


Abbildung 2 (li.): RSME-Werte als Häufigkeitsverteilung pro d2b-Aufgabe

Abbildung 2 (re.): Bewertung der Beanspruchung als Häufigkeitsverteilung pro d2b-Aufgabe

Tabelle 1: Übersicht über Leistungsdaten, subjektive und objektive Beanspruchungswerte

	d2b, Set 1		d2b, Set 2		d2b, Set 3		d2b, Set 4		Trend	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD		SD
Erfüllungsgrad [%]	23,3	17,9	35,6	21,4	34,2	20,5	40,9	21,1	5,4	6,8
RSME-Wert	67,9	35,8	65,5	30,7	65,9	31,1	64,8	29,9	-0,6	7,0
Bewertung“	4“		4“		4“		4“		-0,0	
relative Abweichung zur baseline [%]:										
mittlere IBI	-0,0	0,1	-0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
rMSSD	1,1	66,3	5,5	88,3	6,3	52,2	18,4	70,7	5,2	27,9
LF norm	23,7	14,1	23,2	15,9	25,2	14,2	25,0	13,5	0,4	3,0
HF norm	-28,6	16,7	-27,1	19,2	-30,3	16,3	-30,5	15,5	-0,6	4,0
LF/HF Ratio	85,1	54,8	83,4	60,9	91,8	58,9	90,8	53,4	1,7	14,1

“Median

Tabelle 2: Übersicht über Korrelationen (Spearman Rho) zwischen Erfüllungsgrad, RSME-Wert und subjektiver Bewertung des Beanspruchungsempfindens

	Erfüllungsgrad	RSME	Bewertung
Erfüllungsgrad [%]			0,13***
RSME-Wert			0,73***
Bewertung	0,13***	0,73***	
relative Abweichung zur baseline [%]:			
mittlere IBI			
rMSSD			0,04***
LF norm			0,25***
HF norm			0,21***
LF/HF Ratio			0,22***

Signifikanzniveau: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Als objektive Beanspruchungswerte wurden in Relation zu den baselines die Abstände zwischen den R-Zacken des Elektrokardiogramms (IBI, in ms), die Herzfrequenzvariabilität (HRV als rMSSD, in ms), die normalisierte spektrale Leistung der Frequenzbänder von 0,04-0,15 Hz und 0,15-0,4 Hz und deren Verhältnis (LFnorm, HFnorm, LFnorm/HFnorm-Ratio, ohne Einheiten) ausgewertet.

3. Diskussion

Abbildung 1 und Tabelle 1 stellen eine Zunahme des Erfüllungsgrades von unter 25% auf 40% mit einer konstant erhöhten Streuung dar, was vielleicht einem Lerneffekt über die viermalige Durchführung zugeschrieben werden kann. Jedoch nimmt die berichtete Beanspruchung numerisch nur geringfügig ab und verbleibt in der verbalen Stufe „erhebliche Anstrengung“. Die subjektive Bewertung der Beanspruchung, im Median „optimal/ überfordert“ mit ausgeglichenem Trend, unterstützt diese Beobachtung. Ein Hinweis könnte in der geringen Korrelation zwischen Erfüllungsgrad und Bewertung liegen. Bevor die Bewertung vorgenommen wurde, sahen die VPs den Erfüllungsgrad und konnten somit feststellen, wie gut oder schlecht abgeschnitten wurde.

Auch wenn die Auswertung nur wenige und gering ausgeprägte Korrelationen vorweist (siehe Tabelle 2), soll diese Beobachtung mit dem Verhalten der objektiven Beanspruchungsparameter verglichen werden (siehe Tabelle 1). Der Parameter „mittlere IBI“ wird an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da dieser keine Sensitivität gegenüber mentaler Beanspruchung besitzt (siehe Tabelle 1 und z. B. Henelius et al. 2009).

Wird die HRV (rMSSD) betrachtet, fällt eine Zunahme der Variabilität auf, was als Zeichen abnehmender mentaler Beanspruchung gewertet werden kann. Allerdings ist die HRV durch eine konstant hoch ausgeprägte Streuung charakterisiert. An dieser Stelle ist auffällig, dass die HRV in Set 4 fast ein Fünftel über der HRV der baselines liegt. Vielleicht ist dies begründet in der Entspannung am Ende der Versuchsreihe.

Werden die frequenzanalytischen Kennwerte untersucht, kann eindeutig eine hohe spektrale Leistung im LF-Band und eine niedrige im HF-Band festgestellt werden; was sich ebenfalls auf deren Ratio auswirkt. Diese Verschiebung und deren Streuung bleiben nahezu konstant über alle vier d2b-Aufgaben, was wiederum die Annahme einer höheren Beanspruchung als in der baseline-Phase unterstützt.

4. Fazit und Ausblick

Ziel der Studie war die Gegenüberstellung subjektiver und objektiver Beanspruchungsparameter. Bedauerlicherweise unterstützen die Daten keine eindeutigen Schlussfolgerungen.

Ergänzend zu den kardiovaskulären wurden auch okulomotorische Parameter erhoben, die allerdings für die Fertigstellung des Beitrags nicht berücksichtigt werden konnten. Es bleibt somit abzuwarten, ob im Rahmen eines multidimensionalen Verständnisses der mentalen Beanspruchung (Matthews et al. 2015) die okulomotorischen Parameter zu einer Klärung des oben dargestellten Sachverhalts beitragen können.

5. Literatur

- Boucsein W (2006) Psychophysiologische Methoden in der Ingenieurpsychologie. In Zimolong & Konradt (Eds.) Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Band 2 Ingenieurpsychologie. Göttingen: Hogrefe. 317-358.
- Chen R, Wang X, Zhang L, Yi W, Ke Y, Qi H, He F, Zhao X, Wang X, Ming D, Zhou P. (2015) Research on multi-dimensional N-back task induced EEG variations. In Engineering in Medicine and Biology Society, 2015, 37. Annual International Conference of IEEE, IEEE. 5163-5166.
- ISO, International Standards Organization (2000) Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeines und Begriffe. DIN EN ISO 10075-1.
- Hart SG, Staveland LE (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In Hancock & Meshkati (Eds.) Human Mental Workload. Northholland Press, Amsterdam.
- Henelius, A; Hirvonen, K; Holm A; Korpela, J; Muller, K (2009): Mental workload classification using heart rate metrics. In: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, S. 1836 – 1839.
- Hoskinson P, Toomin J (2015) brainworkshop.sourceforge.net, download am 06.01.2015
- Kitamura K, Murai K, Fukushi K, Hayashi Y, Mitomo N, Yoshimura K, Hikida K, Wakida S, Miyado T (2013) Evaluation of ship navigator's mental workload for ship handling based on salivary NO₃⁻. In Proceedings of IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), IEEE. 427 - 430
- Kähler WM (2006) Statistische Datenanalyse. Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag.
- Manzey D (1998) Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In Frey & Rösler (Eds.) Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Band 5 Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Göttingen: Hogrefe. 799-864.
- Matthews G, Reinerman-Jones L, Wohleber R, Lin J, Mercado J, Abich IV. J (2015) Workload is multidimensional, not unitary: What now? In Schmorow & Fidopiastis (Eds.): Proceedings of the 9th International Conference on Augmented Cognition, LNAI 9183. 44-55
- Mulder LJM (1988) Assessment of cardiovascular reactivity by means of spectral analysis. Groningen, University of Groningen.
- Mulder LJM (1992) Measurement and Analysis methods of heart rate and respiration of use in applied environments. Biological Psychology, 34: 205-236.
- Task Force of The European Society of Cardiology (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Circulation, 93 (5) 1043-1065.
- Tokuda S, Obinata G (2012) Development of an algorithm to detect saccadic intrusions as an index of mental workload. In Proceedings of SICE Annual Conference (SICE). 1369 - 1372
- Zijlstra FRH (1993): Efficiency in work behavior: A design approach for modern tools. Delft, Delft University of Technology, PhD Thesis.

Danksagung: Ein ganz herzlicher Dank gilt Frau Claudia Schäfer und Herrn Uli Hold für deren legendäre Unterstützung und allen Versuchspersonen für die Teilnahme.

