

Einfluss physischer Beanspruchung auf die Entscheidungsfindung in kritischen Situationen

Lisa FROMM, Christian PLEGGE, Thomas ALEXANDER

*Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie
FKIE, Fraunhoferstraße 20, D-53343 Wachtberg*

Kurzfassung: Einsatzkräfte müssen die vorgefundene Lage unter extremer körperlicher Belastung richtig beurteilen und kritische Entscheidungen treffen. Diese Entscheidungsfindung muss unter hohem Zeitdruck fehlerfrei, sicher und zuverlässig ablaufen. Die Literatur zum Einfluss physischer Beanspruchung auf die Entscheidungsfindung ist uneinheitlich: Es zeigten sich sowohl positive als auch negative Effekte, während in anderen Studien kein Einfluss gefunden wurde.

Ziel dieser Arbeit ist die Ermittlung des Einflusses körperlicher Beanspruchung auf die kognitive Leistungsfähigkeit im Rahmen kritischer Situationen. Hierzu wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem die Reaktionszeiten eines „choice-reaction-task“ in Abhängigkeit vom Beanspruchungsniveau beim Laufen auf einem Laufband gemessen wurde.

Schlüsselwörter: Entscheidungsfindung, Einsatzkräfte, physische Beanspruchung, Laufband, Reaktionszeiten

1. Einleitung

Die Arbeit von Einsatzkräften ist oft begleitet von Tätigkeiten mit hoher physischer Beanspruchung. Trotzdem müssen in diesen Situationen kritische Entscheidungen fehlerfrei, sicher und zuverlässig getroffen werden. Beispielsweise muss binnen kürzester Zeit eine Einschätzung der Einsatzlage erfolgen, um daraus adäquate Handlungsschritte abzuleiten.

Die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen physischer Beanspruchung und der Leistungsfähigkeit in kognitiven Aufgaben hat eine lange Tradition. Die Ergebnisse der Studien sind jedoch nicht eindeutig. In einigen Studien werden sowohl positive als auch negative Effekte von körperlicher Beanspruchung auf verschiedenste kognitive Prozesse gefunden; andere Studien belegten keinen Einfluss (z.B. Moore et al. 2012, Brisswalter et al. 2002, Brisswalter et al. 1996). Die unterschiedlichen Ergebnisse werden mit der Diversität der eingesetzten Methoden begründet (Chang et al. 2012, Lambourne et al. 2010), auch wurde bei den physiologischen Anforderungen oftmals nicht in aerobe und anaerobe Belastung unterschieden. Weiterhin wurde die Bearbeitung unterschiedlicher kognitiver Aufgaben betrachtet, die in ihren Anforderungen variieren, beispielsweise Perception, Diskrimination, Memorieren, mentale Kalkulation und Problemlösen. Diese Diversität hat einen Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Studien.

Brisswalter und Legros (1996) stellen verschiedene Modellansätze zusammen, die unterschiedliche Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen motorischen und kognitiven Prozessen erklären. Der klassische Ansatz geht von einer umgekehrten

U-Kurve aus, die den Zusammenhang zwischen Leistung und Aktivierung beschreibt (Yerkes et al. 1908). Die Drive Theory geht dagegen von einer kontinuierlichen Leistungsverbesserung bei Aktivierungsanstieg aus (Spence et al. 1966). In aktuelleren Modellen manifestieren sich jedoch Zweifel an dem unidimensionalen Konzept der Aktivierung. Ein weiterer Ansatz (Durand et al. 1991) geht davon aus, dass während verstärkter Bewegungsanforderung risikoreichere Strategien angewendet werden, da die Versuchsteilnehmer Schnelligkeit der Genauigkeit vorziehen. Dieses Modell postuliert eine Verringerung der Reaktionszeit bei gleichzeitiger Erhöhung der Fehlerrate. Andere Modelle wiederum referenzieren mentale Ressourcen, die der Aufgabe variabel zugeordnet werden. Eine erhöhte Ressourcenzuweisung ermöglicht eine Leistungssteigerung (Delignières et al. 1994). Ein alternatives Modell interpretiert Versuchsergebnisse mithilfe eines Dual-Task-Paradigmas: Da Versuchsteilnehmer in diesen Experimenten zwei Aufgaben simultan durchführen (physisch und kognitiv), sind sie gezwungen, eine Aufgabe zu priorisieren, was eine Leistungsminderung bei der anderen nach sich zieht (Posner & Keele 1996).

Auf biologischer Ebene wurden verschiedene Faktoren definiert, die den Einfluss von körperlicher Beanspruchung auf die Leistungsfähigkeit erklären. Für die Leistungssteigerung bei körperlicher Betätigung werden erhöhte neuroelektrische Ressourcen durch eine bessere Sauerstoffversorgung des präfrontalen Kortexes verantwortlich gemacht (Endo et al. 2013, Hillmann et al. 2003). Auch der Hormonspiegel, ernährungsbedingte Faktoren und die Ressourcenverteilung beeinflussen den Zusammenhang zwischen physischer Betätigung und kognitiver Leistungsfähigkeit (Brisswalter et al. 2002).

Bei den in den Metaanalysen (Chang et al. 2012, Lambourne et al. 2010) beschriebenen Studien wurden die kognitiven Aufgaben sowohl im Anschluss an eine körperliche Beanspruchung gemessen als auch parallel zur der körperlichen Beanspruchung. Oftmals werden für solche Studien motorisch einfache Beanspruchungsformen genutzt, während derer die Versuchsteilnehmer eine kognitive Aufgabe zu bearbeiten haben, z.B. die Reaktion auf einen Stimulus. In einer Metaanalyse zeigte sich, dass sich die kognitive Leistungsfähigkeit in den ersten 20 Minuten der körperlichen Beanspruchung vermindert. Bei Aufgaben, die eine schnelle Reaktion erfordern, wurde die Leistung besser. Im Anschluss an körperliche Betätigung zeigten sich positive Effekte auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Besonders Fahrradfahren wurde mit einer Leistungssteigerung assoziiert, während Laufen auf einem Laufband einen negativen Effekt auf die Leistung hatte (Lambourne et al. 2010).

Zur Optimierung der Arbeitsabläufe von Einsatzkräften wird untersucht, inwieweit sich körperliche Beanspruchung auf gleichzeitig erforderliche kognitive Verarbeitungsprozesse im Kontext lebenskritischer Situationen auswirkt und ab welchem Beanspruchungslevel es zu einer Einschränkung der kognitiven Leistungsfähigkeit kommt. Dieser Zusammenhang wird anhand des im Folgenden beschriebenen Experiments untersucht.

2. Methodik

Zur Erfassung der psychischen Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von körperlicher Beanspruchung wurde eine Versuchsreihe mit $n=10$ männlichen Einsatzkräften im Alter zwischen 21 und 32 Jahren ($\bar{x}=24,9$; $SD=3,9$) durchgeführt. Die Teilnahme

erfolgte freiwillig.

Die Versuchsteilnehmer nahmen jeweils an zwei Sitzungen teil, bei denen das Beanspruchungsniveau des Laufens auf einem Laufband variiert wurde (40-50% bzw. 60-70% des max. Arbeitspulses). Während des Laufens wurden den Versuchsteilnehmern auf einem großformatigen Display 72 eigens erstellte Videosequenzen in einer Virtuellen Realität (VR) randomisiert dargeboten. Ein in den Videosequenzen auftretendes Ereignis musste mittels Tastendruck auf einem Joystick anhand persönlicher Merkmale der eingeblendeten Personen als gefährlich bzw. ungefährlich eingestuft werden. Zur Erhöhung der Realitätsnähe wurden die Versuchsteilnehmer mit Kopfhörern ausgestattet, auf denen Situationsgeräusche entsprechend der Videoinhalte dargeboten wurden. Im Anschluss an beide Versuchsdurchgänge bewerteten die Versuchsteilnehmer den subjektiven Workload auf den Skalen des NASA-TLX.

Die unabhängige Variable (UV) des gewählten Versuchsdesigns ist die körperliche Beanspruchung, abgebildet durch den Parameter „Herzfrequenz“. Die beiden Beanspruchungsniveaus wurden auf 40-50 % bzw. 60-70 % des individuellen, maximalen Arbeitspulses festgelegt. Bestimmt wurden die jeweiligen Herzraten wie folgt:

$$\text{Zielpuls} = (\text{max. Arbeitspuls}) * \text{Beanspruchungsniveau} + \text{Ruhepuls}$$

Der maximale Arbeitspuls wurde individuell unter Berücksichtigung des Lebensalters in Jahren unter Verwendung der folgenden Formel bestimmt:

$$\text{max. Arbeitspuls} = 220 - \text{Ruhepuls} - \text{Lebensalter in Jahren}$$

Abhängige Variablen (AV) sind Leistungsmaße wie die Reaktionszeiten und Fehlerzahlen, sowie die subjektive Einschätzung des Workloads, gemessen durch den NASA-TLX. Die Reaktionszeitmessung erfolgte mithilfe einer „choice-reaction-task“, bei der die Teilnehmer zwischen verschiedenen Reizen diskriminieren. In der vorliegenden Studie war als unterschiedliche Reaktionen der rechte bzw. linke Knopf eines Joysticks zu betätigen. Während des Versuchsablaufs wurde der Puls fortlaufend mit einer Garmin Pulsuhr (Garmin Forerunner 620) kontrolliert und bei Bedarf die Geschwindigkeit des Laufbands angepasst, sodass das angestrebte Beanspruchungsniveau konstant gehalten werden konnte.

3. Ergebnisse

Die Auswertung wurde mittels einer einfaktoriellen multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt, ein Signifikanzniveau von $\alpha=5\%$ wurde gewählt. Die Normalverteilung der abhängigen Variablen wurde mittels eines Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests auf Normalverteilung nachgewiesen.

Um die Beanspruchung zu beurteilen, wurden die Werte des NASA-TLX ausgewertet. Der Unterschied für die „körperliche Anforderung“ war signifikant ($F(1,9)=9,11$; $p<0,05$). Für die Skalen „Zeitliche Anforderung“, „Leistung“ und „Frustration“ sowie den NASA-TLX-Gesamtwert ergaben sich keine signifikanten Unterschiede, jedoch zeigte sich für die Skala „Geistige Anforderung“ ein

statistischer Trend eines Unterschieds ($F(1,9)=5,06$; $p=0,051$). Für die Skala „Anstrengung“ ergab sich ebenfalls ein statistischer Trend ($F(1,9)=3,70$; $p=0,087$). Mittelwerte, Standardabweichungen und Standardfehler sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Die Tabelle enthält die deskriptive Statistik zu den 6 Skalen des NASA-TLX, sowie des Mittelwertes über alle Skalen hinweg. Die Bewertung erfolgte auf einer Skala von 0 bis 100.

	Niedriges Beanspruchungsniveau		Hohes Beanspruchungsniveau		<i>p</i>
	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	
Geistige A.	33,50	18,50	41,20	10,12	0,051
Körperliche A.	24,00	16,32	42,30	14,61	0,015
Zeitliche A.	26,80	18,53	33,20	10,99	0,248
Leistung	55,80	23,83	44,50	28,55	0,240
Anstrengung	35,20	16,61	48,00	16,30	0,087
Frustration	43,60	25,45	40,00	20,33	0,546
Gesamt	36,48	12,76	41,53	11,68	0,255

Reaktionszeiten über 1 s wurden aus der Analyse ausgeschlossen. Es wurde jeweils nur die erste Reaktion betrachtet, d.h. wiederholtes Drücken des Knopfes wurde ignoriert. Der Mittelwert in der Bedingung „niedriges Beanspruchungsniveau“ betrug $\bar{x}=670,11$ ms ($SD=43,17$). In der Bedingung „hohes Beanspruchungsniveau“ betrug der Mittelwert $\bar{x}=648,58$ ms ($SD=68,23$). Für die Reaktionszeiten ergab sich kein signifikanter Unterschied ($F(1,9)=2,60$; $p=0,224$).

Die Anzahl der Fehler war mit einem Mittelwert von $\bar{x}=1,45$ ($SD=1,19$) über alle 72 Videosequenzen hinweg sehr gering und konnte daher nicht statistisch ausgewertet werden.

4. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Werte des NASA-TLX zeigen, dass die Manipulation des Beanspruchungsniveaus wahrgenommen wurde. Die körperliche Anforderung wurde in Bedingung „hohes Beanspruchungsniveau“ signifikant höher bewertet als in der Bedingung „niedriges Beanspruchungsniveau“, was den als deutlich wahrgenommenen Unterschied der Beanspruchungsniveaus herausstellt.

Für die Skala „geistige Anforderung“ ergab sich eine statistische Tendenz. In der Bedingung „hohe Beanspruchung“ empfanden die Teilnehmer eine höhere geistige Anforderung als in der Bedingung „geringe Beanspruchung“, obwohl die kognitive Aufgabe in beiden Bedingungen identisch war. Dieses Ergebnis zeigt, dass die körperliche Beanspruchung einen Einfluss auf die Wahrnehmung der geistigen Anstrengung hat.

Durch die Manipulation des Beanspruchungsniveaus sollte der Einfluss körperlicher Beanspruchung auf die kognitive Leistungsfähigkeit getestet werden. Es

ergaben sich in den Reaktionszeiten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen. Hier zeigt sich, dass eine als deutlich wahrgenommene Variation der Beanspruchung keinen Einfluss auf die objektiv gemessene kognitive Leistung hat, was den Ergebnissen der oben genannten Metaanalyse von Lambourne und Tomporowski (2010) widerspricht: Ihre Ergebnisse postulierten einen negativen Einfluss körperlicher Betätigung auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Unter Einsatzbedingungen sind die Ergebnisse der vorliegenden Studie als positiv zu bewerten.

Für zukünftige Studien ist ein ähnliches Versuchsdesign mit mehreren Abstufungen des Beanspruchungsniveaus oder größeren Abstufungen zu untersuchen. Dadurch kann ein möglicher Verlauf der kognitiven Leistungsfähigkeit unter körperlicher Beanspruchung deutlich werden.

Mit diesem Versuch konnte bereits ein transportabler Messapparat getestet werden, der sich gut für die Untersuchung der genannten Fragestellung eignet. Der Versuchsaufbau war trotz der umfangreichen technischen Ausstattung einfach und erleichterte dem Versuchsleiter die Durchführung. Zudem stellten die gewählten Situationen, die realistisch in einer virtuellen Umgebung umgesetzt wurden, einen großen Motivator für die Teilnehmer dar. Der Versuchsaufbau kann damit für weitere Studien genutzt werden.

5. Literatur

- Brisswalter J, Legros P (1996). Interactions entre les processus physiologiques et cognitifs. Modèles théoriques et approche méthodologique. *Science & Sports*, 11 (2):71–80.
- Brisswalter J, Collardeau M, Arcelin R (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine* 32:555-566.
- Chang YK, Labban JD, Gapin JI, Etnier JL (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research* 1453:87-101.
- Delignières D, Brisswalter J, Legros P (1994). Influence of physical exercise on choice reaction time in sports experts: the mediating role of resource allocation. *Journal of Human Movement Studies* 27:173-188.
- Durand M, Bourrier J & Legros P (1991). Effet de différentes intensités d'effort physique sur les comportements de spécialistes ou non de sports collectifs dans des tâches de temps de réaction. In J. Bilard and M. Durand (Eds.), *Sport et Psychologie*:43-50.
- Endo K, Matsukawa K, Liang N, Nakatsuka C, Tsuchimochi H, Okamura H, Hamaoka T (2013). Dynamic exercise improves cognitive function in association with increased prefrontal oxygenation. *The Journal of Physiological Sciences* 63:287-298.
- Hillman CH, Snook EM, Jerome GJ (2003). Acute cardiovascular exercise and executive control function. *International Journal of Psychophysiology* 48:307-14.
- Lambourne K, Tomporowski P (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research* 1341:12-24.
- Moore RD, Romine MW, O'connor PJ, Tomporowski PD (2012). The influence of exercise-induced fatigue on cognitive function. *Journal of Sports Science* 30(9):555-566.
- Posner MI, Keele SW (1996). Attention demands of movements. Amsterdam: Swets and Zeitlinger.
- Spence JT, Spence KW (1966). The motivational components of manifest anxiety: Drive and drive stimuli. In C.D. Spielberger (Ed.), *Anxiety and behavior*. New York: Academic Press.
- Yerkes RM, Dodson JD (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology* 18 (5):459–482.