

Kognitive Ergonomie: Wie wird die kognitive Beanspruchung gemessen?

Manfred BORNEWASSER¹, Dominic BLÄSING^{1,2}

*¹Institut für Psychologie, Universität Greifswald
Franz-Mehring-Straße 47, D-17487 Greifswald*

*²Institut für Community Medicine
Abteilung Präventionsforschung und Sozialmedizin
Universitätsmedizin Greifswald
Walther-Rathenau-Straße 48, D-17489 Greifswald*

Kurzfassung: Kognitive Ergonomie steht vor der Herausforderung, mentale Beanspruchungen theoretisch zu konzipieren und methodisch zu erfassen, um daraus Ableitungen für die Gestaltung von Arbeitsumgebungen vorzunehmen. Dabei lassen sich zwei Ansätze unterscheiden: Ein erster Ansatz begreift Beanspruchungen als einen Komplex von geistigen, kognitiven Prozessen, die dann mit z.B. behavioralen und psychophysiologischen Messverfahren überprüft werden. Ein zweiter Ansatz nimmt seinen Ausgangspunkt direkt in zentralnervösen Prozessen im Gehirn und stützt sich vor allem auf mehr neurophysiologische Verfahren, um Auswirkungen von Gehirn- auf konkrete Leistungsprozesse am Arbeitsplatz zu erfassen. Es wird hier kritisch der Frage nachgegangen, wie mentale Beanspruchungen aufgrund ihrer theoretischen Konzeption auf das Verhalten einwirken und methodisch erfasst werden können.

Stichworte: Kognitive Ergonomie, mentale Beanspruchung, mental workload, kognitive Ressourcen, physiologische Messverfahren, multimodale Messung

1. Kognitive Ergonomie konzentriert sich auf die Gestaltung von informatorischen Arbeitsumgebungen

Die kognitive Ergonomie richtet den Blick verstärkt auf die informatorischen Verhältnisse am Arbeitsplatz und deren kurz- und langfristigen Auswirkungen auf die individuelle Arbeitsleistung. Analog zur biomechanischen Ergonomie wird davon ausgegangen, dass hohe informatorische Anforderungen die geistigen, mentalen oder kognitiven Strukturen der Beschäftigten stark beanspruchen. Als Folge kann es zu vorübergehenden oder dauerhaften Überforderungen und Funktionseinbußen kommen, die - weil sie mit Ineffizienz und unzureichender Performanz einhergehen - durch veränderte Gestaltung der Arbeitsumgebung vermieden werden sollen. Bereits Hollnagel (1997) hatte diesen Zusammenhang vor Augen, als er den Schwerpunkt der kognitiven Ergonomie auf die Analyse des Abgleichs von am Arbeitsplatz einfließenden Informationen und bestehenden mentalen Verarbeitungsstrukturen (mind, Schemata, mentale Modelle, Arbeitsgedächtnis) und den unter Umständen daraus resultierenden Leistungseinbußen legte. Im Zentrum der kognitiven Ergonomie stehen damit mentale Modellannahmen, die zwischen informatorischem Input und behavioralem Output im Sinne hoher Kompatibilität vermitteln.

Eine etwas andere Sicht prägt den moderneren Ansatz der sog. kognitiven Neuroergonomie (Parasuraman 2003). Hier stehen nicht mehr geistige, mentale Geschehnisse im Zentrum der Analyse, sondern konkrete, biologische und neurologische Prozesse des Gehirns, zusätzlich verbunden mit der Annahme, „that the activity of the brain creates what is known as the human mind“ (Dehais et al. 2020, S. 2). Darüber hinaus soll auch das konkrete Arbeitsverhalten direkt durch das Gehirn beeinflusst werden. Mittels eines neuroergonomischen Designs werden auf dieser Basis z.B. Mensch-Maschine-Systeme wie etwa Cockpits oder Überwachungsbildschirme so konzipiert, dass eine höhere Kompatibilität von Anforderungen und Gehirnleistungen erzielt und hohe Beanspruchungen vermieden werden.

2. Mentale Beanspruchung in der Ergonomie: Verhältnis von Anforderungen und bereitgestellten kapazitativ begrenzten Ressourcen

Die beiden Sichtweisen einer kognitiv orientierten Ergonomie weisen vielfältige Gemeinsamkeiten auf (z.B. hinsichtlich der objektiven Abfolge von Verarbeitungsprozessen, des diskrepanten Abgleichs, der kurzfristigen Regulation, der kapazitativen Beschränkung und des defizitären Leistungsergebnisses). Die Kernannahme besteht darin, dass bei ansteigenden informatorischen Anforderungen (z.B. durch komplexere Montagebedingungen oder Multitasking) höhere kognitive Beanspruchung (cognitive load, workload) oder gar mentale Überbeanspruchung (mental overload) aufkommt, die zu verzögerten oder fehlerhaften Reaktionen führt (Young et al. 2015). Die kognitive Beanspruchung (cognitive load) wird dabei von Chen et al. (2016, S. 4) als ein multidimensionales Konstrukt „representing the load imposed on the working memory during performance of a cognitive task“ definiert. Hier entsteht also bildlich gesehen ein Druck auf das Arbeitsgedächtnis, der durch Zuführung von diversen Ressourcen kompensiert werden muss. Diese Ressourcen heben auch Young et al (2015, S.2) in ihrer Definition der kognitiven Beanspruchung hervor: „Level of attentional resources required to meet both objective and subjective performance criteria“. Hier wird Druck auf die erforderliche Aufmerksamkeitsallokation ausgeübt, um fremd-, aber auch selbstgesetzte Performanzkriterien zu erfüllen.

Der auffälligste Unterschied besteht hinsichtlich des theoretischen Status von load und overload. Hier werden einmal eher psychische Dispositionen wie Wissen, Aufmerksamkeit oder Konzentration und dann im Gegensatz dazu eher physikalische Ereignisse und Zustände wie Depolarisationen an Nervenzellen oder Lichtabsorptionen durch sauerstoffhaltiges Blut in spezifischen Gehirnregionen thematisiert. Psychische Dispositionen gelten dabei aber nicht als reale Ereignisse, von daher üben sie auch keine kausale Wirkung aus. Forscher haben zwar Vorstellungen darüber, wie sich geistige Prozesse etwa im Arbeitsgedächtnis abspielen, aber sie können sie nicht als konkrete Vorgänge erfassen, die dann Verhalten auslösen. Reale Ereignisse hingegen gelten als konkret auftretende Vorkommnisse mit räumlicher und zeitlicher Erstreckung, von denen auch kausale Impulse auf andere Ereignisse ausgehen können. In diesem Sinne wird auch die Frage aufgeworfen, ob z.B. Aufmerksamkeit im Sinne einer Disposition als ein neurophysiologischer Prozess beschrieben werden kann (wenn man davon absieht, dass alles, was der Mensch macht, physiologisch getragen ist).

Diese markante Verschiebung von psychischen Dispositionen hin zu physikalischen Ereignissen prägt entscheidend den Ansatz der kognitiven Neuroergonomie. Hancock (2019) charakterisiert die Neuroergonomie daher als den Ort „where the cortex hits the

concrete“, wo also physiologische Ereignisse im arbeitenden Gehirn direkt auf das Arbeitsverhalten am Arbeitsplatz wirken. Passend dazu trägt eine Publikation von Parasuraman et al. (2012) den Titel: „Neuroergonomics The brain in action and at work“.

Parasuraman (2003) verfolgt mit seinem Ansatz das ehrgeizige Ziel, in der digitalisierten Mensch-Maschine-Interaktion möglichst frühzeitig und damit präventiv Entwicklungen von hohen und höchsten Beanspruchungszuständen zu erkennen, um daraus kurzfristige und eventuell sogar von der Maschine automatisch eingeleitete Entlastungsmaßnahmen vornehmen zu können. So erhält z.B. ein Montagearbeiter bei sehr hoher Beanspruchung automatisch informatorische Unterstützung durch ein AR- oder ein Put-To-Light-Assistenzsystem. Das setzt allerdings hohe Anforderungen an die Messtechnologie voraus: Der Messvorgang muss nicht nur mobil, kontinuierlich und non-invasiv erfolgen, sondern die anfallenden Daten müssen auch von Maschinen in Echtzeit ausgewertet und so aufbereitet werden, dass sie für eine ergonomische Maschinensteuerung geeignet sind. Nur so ist gewährleistet, aus dem unmittelbaren Arbeitsgeschehen heraus angemessene Supportmaßnahmen auszulösen und diese später auch wieder zurückzunehmen (Bornwasser et al. 2018). Gerade am Arbeitsplatz werden solche technischen Kriterien von neuro- und psychophysiologischen Messverfahren sehr viel besser erfüllt als etwa von psychologischen Beobachtungs- oder gar subjektiven Einschätzungsverfahren, die meist keine hinreichende Datenbasis liefern und zudem mit erheblichen Störungen der Arbeitsabläufe einhergehen können.

3. Wo kann die Messung von mentaler Beanspruchung ansetzen?

Biomechanische und kognitive Ergonomie setzen beide eine Differenzierung von Äußerem und Innerem voraus. Äußerlich sind z.B. körperliche und informatorische Belastungen sowie die resultierenden Verhaltensreaktionen, hier vor allem die Reaktionszeit. Innerlich und damit von der direkten Inaugenscheinnahme ausgeschlossen sind hingegen geistige, aber auch psycho- und neurophysiologische Prozesse. Sie können im Falle geistiger oder seelischer Dispositionen ohne Ereignischarakter auch nur erschlossen und im Falle realer Prozesse und Mechanismen nur über raffinierte Techniken sichtbar gemacht werden. Die Forschungssituation stellt sich im letzten Fall folglich so dar, als ob man die Körperhülle durchbräche und von außen wie durch ein Fenster in die inneren Räume des Organismus hineinschaut (Kahneman 2012, bezeichnet deshalb z.B. das Eye Tracking als Fenster zur Seele). Die von kognitiven Neuroergonomen lange Zeit bevorzugte fMRT-Methode könnte analog dazu als Fenster in das Gehirn angesehen werden. In dem Sinne sprechen Dehaes und Ayaz (2019, S.3) von „insight into the neural mechanisms underpinning cognitive processes“ (S.4). Zu klären bleibt dabei, wo die äußerliche Verhaltensbeobachtung endet (z.B. bei der Blickrichtung) und wo innere psycho- oder neurophysiologische Messungen beginnen (z.B. bei der Pupillendilatation).

Hinsichtlich zahlreicher psychologischer Konzepte, die in verschiedenen kognitiven Verarbeitungsmodellen benannt und im Inneren verortet werden, besteht Unklarheit, wie sie zu erfassen und zu operationalisieren sind. Dies gilt auch für das Beanspruchungs- bzw. Workload-Konzept (Van Acker et al. 2018). Als Dispositionen können sie nicht als innere reale Ereignisse begriffen werden: Wissen und Kompetenzen, aber auch Aufmerksamkeit und Konzentration stellen keine inneren kausalen Kräfte dar, die durch ein Fenster dabei beobachtet werden können, wie sie über einen Impuls andere Ereignisse anstoßen. Hier bleibt nur die Möglichkeit, sie als einen besonderen Modus

des Verhaltens zu begreifen, der sich in vielfältigen äußerlich sichtbaren Kriterien niederschlägt. In dem Sinne wäre z.B. die gesteigerte Aufmerksamkeit als eine Art modus operandi anzusehen, den jeder Beobachter direkt wahrnehmen und auch z.B. über ein Kamerasystem noch genauer erfassen kann (Ryle 1969).

Auch der mittlerweile in vielen Ansätzen zur Informationsverarbeitung verwendete Ressourcenbegriff wird eher dispositionell verwendet. Es wird damit ein äußerst variables und breites Repertoire an extern beobachtbaren Maßnahmen für ganz spezifische Situationen beschrieben. Elemente davon werden dann z.B. von einem Beschäftigten realisiert, wenn in einer Anforderungs- und Leistungssituation Zielerreichung und Erfolg entgegen der Erwartung ausbleiben. Das könnte für einen Montagebeschäftigten bedeuten, sich bei hoher Beanspruchung nach Hilfe umzusehen, noch einmal in die Konstruktionszeichnung zu schauen, noch einmal tief durchzuatmen oder sich gegen Ablenkung abzuschirmen. Ressourcen stehen damit - wie andere Fertigkeiten auch - für einen Rückgriff auf ein äußerst variables Bewältigungsverhalten (Coping), um auch im Falle überhöhter Anforderungen mit kompensatorisch wirkenden Verhaltensmaßnahmen doch noch zu Erfolg zu kommen (wobei dieser Versuch scheitern kann). Jede einzelne dieser willentlich gesteuerten Handlungsweisen ist dann wiederum nur über Kriterien der direkten Beobachtung zugänglich.

4. Kann man bei physiologischer Messung die mentale Beanspruchung von anderen Formen der Beanspruchung isolieren?

Wenn festgestellt wird, dass Aufmerksamkeit, Achtsamkeit oder Konzentration keine inneren Kräfte darstellen, so bedeutet das nicht, dass es solche geistigen Ereignisse nicht gibt. Wir reden alltäglich darüber. Die Frage stellt sich jedoch, wie sie zu messen und zu operationalisieren sind. Das gilt auch für den Bereich der kognitiven Neuroergonomie, nachdem man sich entschieden hat, mentale Beanspruchungen als Gehirnprozesse oder -zustände zu begreifen. Es reicht nicht aus, vertraute Konzepte wie Ressource, Aufmerksamkeit oder Workload einfach nur zu übernehmen und sie dann z.B. über elektromagnetische Wellen zu operationalisieren.

Entschließt man sich dazu, Beanspruchung und Ressourcen als physikalisch messbaren Zustand oder Ereignisse zu verstehen und diesen mittels physiologischer Messinstrumente zu erfassen, so stellt sich Frage, wie man einen solchen Zustand räumlich und zeitlich überhaupt lokalisieren kann und wie ein herausgehobener Zustand der kognitiven Überforderung gegen einen angenommenen Normalzustand (Problem der Baseline-Messung) oder auch gegen andere (z.B. emotionale Erregungen oder Gefühle der Enttäuschung und Scham), evtl. auch gleichzeitig bestehende Zustände (z.B. der körperlichen Beanspruchung) vor allem in dynamischen Alltagssituationen am Arbeitsplatz signalmäßig sicher abgegrenzt werden kann. Beanspruchung bedeutet dann, dass z.B. Sauerstoff und Glukose in unzureichendem Maße für neuronale Netzwerke nachgeführt wurden, wodurch Nervenaktivitäten eingeschränkt sind, oder dass normale inhibitorische Gehirnmechanismen nicht zum Tragen kommen. Es geht also darum, einmal organismische Versorgungssysteme (vor allem das Herz-Kreislauf-System) und dann die neurologischen Substrate näher zu bestimmen, um sodann psych- und neurophysiologische Prozesse wie den Herzschlag, die Atmung oder Depolarisationen an Neuronen zu analysieren, die dann in einer bestimmten Signatur für Beanspruchungsmerkmale stehen und Leistungsverluste bewirken.

In experimentellen Studien gelingt es aufzuzeigen, wie ausgewählte Hirnstrukturen Einfluss auf spezifische Prozesse wie Perseverationen, Ausblendungen von Signalen

oder Unkonzentriertheiten wie das sog. mind wandering haben (Dehais et al. 2020). Es gibt aktuell aber noch keine Untersuchungen, die zeigen, ab welcher Höhe der Ablenkung vom Normalwert und welcher zeitlichen Erstreckung der Ablenkung eine Situation der Überforderung vorliegt und wo ergonomisch relevante normative Grenzen der Beanspruchbarkeit liegen. Bislang begnügt man sich meist mit Vergleichen zwischen Gruppen oder unterschiedlich fordernden Aufgaben. Wenn sich - wie im Arbeitsalltag üblich – Aufgaben aus gemischten Anforderungen an kognitive und motorische Prozesse zusammensetzen, bleibt zudem zu fragen, welche Anteile der Auslenkung auf mentale und welche auf körperliche Beanspruchungen zurückgehen (unter der Annahme, dass keine weiteren Quellen der Beanspruchung vorliegen). Bezogen auf konkrete Arbeitsprozesse hilft man sich aber ansatzweise konservativ weiter, indem man begleitende Verhaltensbeobachtungen oder Eye-Tracking-Daten und z.B. EEG- oder auch EKG-Daten etwa in Instruktionsphasen und in Ausführungsphasen interpretierend aufeinander bezieht (Bläsing & Bornwasser 2020). Für den kognitiven Neuroergonomen liegt angesichts dieses Defizits dann aktuell eine praktische Lösung für sein Ansinnen nur darin, pro Person für eine normale Arbeitssituation einen Durchschnittswert oder ein Durchschnittsmuster der Beanspruchung zu ermitteln, und bei Überschreitung dieses Normwerts um z.B. 75% über einen Zeitraum von drei Minuten oder auf der Basis eines spezifischen Entwicklungsmusters hin zu einer solchen Überschreitung automatisch eine entlastende Veränderung der Arbeitssituation herbeizuführen.

5. Kann es helfen, Messverfahren zu kombinieren?

Es existieren zahlreiche kontinuierlich messende Verfahren, um physiologische Aktivität im Sinne von isolierten oder kombinierten elektrischen Signalen (EEG, EKG) oder bildgebenden Verfahren (fMRT, fNIRS, PET) und abgeleiteten Indikatoren non-invasiv zu bestimmten Zeitpunkte und in bestimmten Arealen zu erfassen. Allerdings weisen diese Verfahren ganz unterschiedliche temporale und räumliche Auflösung auf, wodurch zu einem Messzeitpunkt immer auf verschiedene aktuelle oder bereits vergangene physiologische Ereignisse zugegriffen wird. Erheblicher Aufwand ist zu betreiben, um anpassende Korrekturen vorzunehmen. Gleichzeitig kann aber auch kein einzelnes Messinstrument den Gesamtzustand der kognitiven Beanspruchung des Gehirns hinsichtlich Versorgung und neuronaler Aktivität erfassen bzw. anzeigen, „how hard one’s mind is working at any given moment“ (Parasuraman, 2003, S. 13). Diesen Befund stützen auch Ergebnisse psychometrischer Studien, die hinter verschiedenen Maßen und Indices (EKG, EEG, fNIRS) keinen einheitlichen latenten Faktor über verschiedene Aufgaben und Aufgabentypen (single oder dual task) hinweg zu erkennen geben und auf zahlreiche dissoziative Beziehungen verweisen (Matthews et al. 2015). Dies macht weitere systematische Anstrengungen erforderlich, geeignete Kombinationen von Verfahren zu bestimmen, um Defizite einzelner Verfahren durch Stärken anderer Verfahren zu kompensieren.

6. Fazit

Die kognitive Ergonomie gewinnt an Bedeutung. Von daher wird verstärkt nach Möglichkeiten gesucht, mentale Beanspruchung nah am Arbeitsplatz objektiv mittels mobiler psychophysiologischer und neurophysiologischer Messmethodik zu erfassen,

um daraus dann ergonomische Gestaltungsmaßnahmen abzuleiten. Ein solches Programm bedarf einer neu ausgerichteten theoretischen und methodischen Einbettung. Aus praktischer Sicht wird gleichzeitig nach Möglichkeiten gesucht, in Echtzeit und mittels Machine-Learning-Algorithmen kontinuierlich erfasste Zustände der hohen Beanspruchung zu registrieren und deren Auswirkungen auf Leistungsbeeinträchtigungen bis hin zu erhöhten Unfallrisiken durch ergonomische Maßnahmen systematisch zu vermeiden.

7. Literatur

- Bläsing D, Bornewasser M (2020) Influence of complexity and noise on mental workload during a manual assembly task. In: Longo L, Leva MC (Ed) Human mental workload: Models and applications. Cham: Springer International Publishing, 147-174.
- Bornewasser M, Bläsing, D & Hinrichsen (2018) Informatorische Assistenzsysteme in der manuellen Montage- Ein nützliches Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung? Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 72:264-275.
- Chen F, Zhou J, Wang Y, Yu K, Arshad SZ, Khawaji A, Conway D (2016) Robust Multimodal Cognitive Load Measurement. Cham: Springer International Publishing.
- Dehais F, Ayaz H (2019) Progress and Direction in Neuroergonomics. In: Dehais F, Ayaz H (Ed) Neuroergonomics. Amsterdam: Elsevier, 3–7.
- Dehais F, Lafont A (...) Fairclough S (2020) A neuroergonomics approach to mental workload, engagement and human performance. Frontiers in Neuroscience 14:Article 268.
- Hancock P A (2019) Neuroergonomics: Where the cortex hits the concrete. Frontiers in Human Neuroscience 13:Article 115.
- Hollnagel E (1997) Cognitive ergonomics: It's all in the mind. Ergonomics 40:1170-1182.
- Kahneman D (2012) Schnelles Denken, langsames Denken. München: Siedler.
- Matthews G, Reinerman-Jones L E (...) Abich IV J (2015) The psychometrics of mental workload: Multiple measures are sensitive but divergent. Human factors 57:125-143.
- Parasuraman R (2003) Neuroergonomics: Research and practice. Theoretical issues of Ergonomic Science 4:5-20.
- Parasuraman R, Christensen J, Grafton S (2012) Neuroergonomics: The brain in action and at work. NeuroImage 59:1-3.
- Ryle G (1969) Der Begriff des Geistes. Stuttgart: Reclam.
- Van Acker BB, Parmentier DD, (...) Saldien J (2018) Understanding mental workload: from a clarifying concept analysis toward an implementable framework. Cognition, Technology and Work 20:351–365.
- Wickens CD, Hollands, JG (1999) Engineering psychology and human performance. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Young MS, Brookhuis KA, Wickens CD, Hancock PA (2015) State of science: Mental workload in ergonomics. Ergonomics 58:1-17.

Diese Publikation entstand im Kontext des vom BMBF und ESF geförderten Verbundprojektes „Exzellente Montage im Kontext Industrie 4.0 - wirtschaftlich und kompetenzförderlich“ (FKZ 02L15A261).



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit HUMAINE gestalten

67. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie (WiPs)
Ruhr-Universität Bochum

Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)
Ruhr-Universität Bochum

3. - 5. März 2021

GfA-Press

Bericht zum 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 3. - 5. März 2021

**Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie, Ruhr-Universität Bochum
Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2021
ISBN 978-3-936804-29-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2021 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de