

Ein Einblick in den arbeitenden Kopf: Mit mobilem EEG und Augenaktivität kognitive Prozesse aufdecken

Julian Elias REISER, Emad ALYAN, Stefan ARNAU, Edmund WASCHER

*Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund,
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund*

Kurzfassung: Die Erfassung und objektive Messung psychischer Belastungen im Arbeitsalltag ist ein zunehmend wichtiges Thema in der Arbeitspsychologie und Ergonomie. Arbeitnehmer*innen sind häufig psychischen Belastungen durch Faktoren wie Zeitdruck, Überlastung oder monotone Aufgaben ausgesetzt. Konventionelle Methoden wie Arbeitsplatzanalysen und Fragebögen liefern oft nur ein globales Bild der Belastungen, ohne spezifische Arbeitsschritte hinreichend zu berücksichtigen. Dieser Artikel untersucht innovative Ansätze zur Messung psychischer Belastung, insbesondere durch den Einsatz mobiler (neuro-) physiologischer Messungen wie der Elektroenzephalografie (EEG). Aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung des EEG können spezifische Verarbeitungsschritte im Gehirn nachvollziehbar gemacht werden. Durch die Analyse von ereigniskorrelierten Potenzialen (EKP), die durch spontane Augenblinzelaktivität ausgelöst werden, können Informationsverarbeitungsprozesse im Arbeitskontext objektiviert und kognitive Belastungen sowie Anforderungen erfasst werden. Studien in Realweltkontexten zeigen die Nützlichkeit dieser Methodik, um Belastungsunterschiede bei unterschiedlichen Arbeitsaufgaben zu identifizieren und zu bewerten. Die Ergebnisse dieser Studien tragen dazu bei, Arbeitsbedingungen zu verbessern und Handlungsanweisungen zur Reduzierung von mentaler Belastung zu formulieren.

Schlüsselwörter: Neuroergonomie, mobiles EEG, Augenaktivität, Eye-Tracking, Blickbewegungsmessung

1. Die Erfassung psychischer Belastung im Arbeitsalltag

Im Lauf des Arbeitslebens durchlebt jede*r Arbeitnehmer*in psychisch belastende Phasen, sei es durch Zeitdruck, Arbeitsüberlastung oder – auf der anderen Seite des Aufgabenspektrums – langanhaltende, monotone Aufgaben. Laut einer Studie des europäischen Parlaments waren im Jahr 2020 25 % der Erwerbstätigen psychischen Belastungen ausgesetzt (European Commission. Statistical Office of the European Union 2021). Auch steigen in Deutschland laut Krankenkassenberichten Arbeitsausfälle aufgrund psychischer Belastungen am Arbeitsplatz stetig an. Deswegen ist es wichtiger denn je, Auslöser negativer psychischer Belastung im Beruf frühzeitig zu erkennen und diesen vorzubeugen. Die große Frage, die sich hierbei jedoch stellt, ist, wie psychische Belastung und Beanspruchung überhaupt gemessen werden können.

Seit zehn Jahren ist die Gefährdungsbeurteilung durch psychische Belastung für jeden Arbeitsplatz gesetzlich festgeschrieben, für psychische Faktoren der Arbeits-

gestaltung haben sich jedoch bisher lediglich wenige objektive Verfahren durchgesetzt. Neben der Arbeitsplatzanalyse und dem Einsatz von für die Belastungsermittlung konzipierten Fragebögen sind nur wenige Methoden in der betrieblichen Praxis etabliert. Zwar können diese Instrumente im Nachhinein ein globales Bild der Belastungsfaktoren aufzeigen, doch geben sie wenig Einblick in die Belastung durch spezifische Arbeitsschritte der Tätigkeit, da die zeitliche Auflösung dieser Methoden schlichtweg zu gering ist.

Außerdem gibt es Arbeitsbereiche, in denen eine Erfassung der psychischen Belastung mit herkömmlichen Methoden an ihre Grenzen stößt. Arbeitsbereiche, in denen kein unmittelbar quantifizierbares Verhalten gezeigt wird, wie zum Beispiel in Leitwarten, ermöglichen keine Messung von belastenden Arbeitsschritten. Auch dort, wo das subjektive Empfinden von der körperlichen und mentalen Stressreaktion abweicht, wie es zum Beispiel bei Sanitätern gezeigt werden konnte (Peifer et al. 2021), ist es schwer, Arbeitsbelastung zu ermitteln. Eine weitere Schwierigkeit entsteht auch dann, wenn die Arbeitstätigkeit voraussetzt, mehrere Informationsströme zur gleichen Zeit zu bearbeiten, wie zum Beispiel beim Manövrieren durch ein Logistiklager während weitere, neue Informationen über eine Datenbrille angezeigt werden und verarbeitet werden müssen. Die Belastungen durch die einzelnen Informationsströme getrennt voneinander zu betrachten, ist in der Praxis fast unmöglich.

Um auch in solchen Fällen Belastungsmessungen durchführen zu können, die reliabel und valide sind, eignen sich insbesondere physiologische Messungen. Durch die fortschreitende Miniaturisierung von physiologischer Aufnahmetechnik und die Verbesserung mobiler Akkus lassen sich seit einigen Jahren auch mobil (neuro-) physiologische Messungen durchführen.

2. Physiologische Methoden zur objektiven Erfassung psychischer Belastung

Durch die Benutzung neurowissenschaftlicher Methoden in ergonomischer Forschung, wie zum Beispiel der Elektroenzephalografie (EEG), können Belastungsprozesse objektiv messbar gemacht werden. Im Fall des EEGs wird mithilfe von kleinen Elektroden, die auf der Kopfhaut angebracht werden, die elektrische Aktivität des Gehirns gemessen. Mit einer zeitlichen Auflösung im Bereich von Millisekunden lassen sich spezifische Informationsverarbeitungsschritte im Gehirn nachvollziehen. Durch die Methode der ereigniskorrelierten Potenziale (EKPs) kann das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert und somit die Verarbeitung eines wahrgenommenen Reizes sichtbar und interpretierbar gemacht werden. Für ein solches EKP werden jedoch dutzende vergleichbare Reizverarbeitungsprozesse benötigt, da der (elektrische) Signalanteil, der die Elektrode vom Gehirn erreicht, deutlich geringer ist als der (elektrische) Signalanteil von Störquellen in der Umgebung (Lichtquellen, elektrische Geräte etc.). Wird nun ein arithmetisches Mittel der dutzenden Reizpräsentationen berechnet, so verschwindet der zufällig verteilte Störsignalanteil, doch der funktionale Gehirnanteil bleibt erhalten. Dieses wiederholte Auftreten vergleichbarer Reize ist verglichen zu Laborbedingungen in Arbeitsumgebungen oder Arbeitssimulationen jedoch in den seltensten Fällen gegeben.

Um auch in solchen Realweltsituationen EKPs berechnen zu können, gibt es eine neue Technik, um aufgabenrelevante, vergleichbare Ereignisse zu erzeugen: die Nutzung körpereigener Verhaltensweisen, insbesondere der Augenaktivität. In früheren Studien wurde nachgewiesen, dass spontanes Blinzeln von Versuchspersonen

nicht etwa rein zufällig verteilt ist oder nur zur Befeuchtung des Auges genutzt wird, sondern stark mit Informationsverarbeitungsprozessen zusammenhängt (Al-Abdulmunem 1999; Berg & Davies 1988; Cruz et al. 2011). So wurde gezeigt, dass in verschiedenen Laborexperimenten erst geblinzelt wurde, nachdem eine zusammenhängende Informationseinheit beendet wurde. Dies konnte sowohl für visuelle (Orchard & Stern 1991), als auch für auditive Informationsverarbeitung gezeigt werden (Holtze et al. 2022; Kobald et al. 2019). Wenn nun Arbeitsprozesse in einer Arbeits-simulation getrennt voneinander in verschiedenen Bedingungen ausgeführt und analysiert werden, so kann man spontanes Blinzeln als zeitliche Marker für Informationsverarbeitungsprozesse während des definierten Arbeitsprozesses nutzen. Sobald das Auge während dieses Prozesses nach einem Blinzler wieder geöffnet wird, nimmt der Mensch ein neues visuelles Bild wahr, das ähnlich wie visuelle Reize in Laborumgebungen im Gehirn verarbeitet wird. Somit kann man die Informationsverarbeitung in verschiedenen Arbeitsprozessen vergleichen und objektiv Rückschlüsse über kognitive Arbeitsbelastungen und -anforderungen ziehen.

Solch ein Blinzel-EKP (bEKP) hat in visuell reichhaltigen Umgebungen in den meisten Fällen einen ähnlichen prototypischen Verlauf wie EKPs die während Labor-experimenten aufgenommen werden (siehe Abb. 1). Aus der Amplitude und der Latenz der üblicherweise auftretenden positiven und negativen Scheitelpunkte können Rückschlüsse auf zugrundeliegende kognitive Prozesse gezogen werden und damit auch auf Modulationen dieser Prozesse durch Belastungen. Diese Scheitelpunkte werden je nach Positivierung oder Negativierung in aufsteigender Reihenfolge benannt (P1, N1, P2, N2 usw.). Werden zum Beispiel Elektroden am Hinterkopf über dem okzipitalen Kortex analysiert, so kann die visuelle Reizverarbeitung veranschaulicht werden, schaut man sich die Aktivierung an frontalen Elektroden über dem frontalen Kortex an, so lassen sich eher Ressourcenverteilungsprozesse und exekutive Funktionen analysieren.

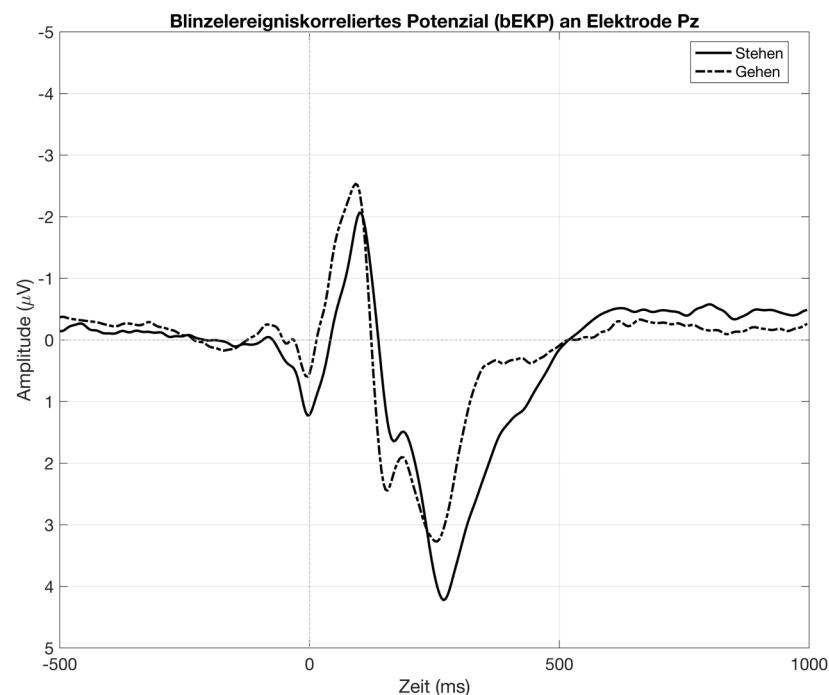


Abbildung 1: Ein prototypisches blinzelereigniskorreliertes Potenzial (bEKP) gemessen am Hinterkopf an einer parietalen Elektroden (Pz). Zeitpunkt 0 entspricht dem vollständigen Lidschluss, die Informationsverarbeitung beginnt ca. 100 ms danach mit einer N1. Diese bEKPs wurden in einem Experiment auf dem Institutsgelände gemessen, in dem Versuchspersonen entweder stehen oder gehen sollten, während sie eine kognitive Aufgabe durchgeführt haben (Reiser et al., 2019). In einer Abfolge von positiven und negativen Gipfeln zeigen sich zeitlich aufeinanderfolgende Verarbeitungsschritte im parietalen Kortex. Deutlich zu sehen sind Unterschiede in der N1 (~100 ms) und der P3 (~250-400 ms) während der Stand- und Laufbedingung.

3. bEKPs zur Belastungsmessung in Realweltkontexten

Aufgrund der Möglichkeit, EEG mobil messen zu können, gibt es immer mehr wissenschaftliche Studien, die sich mit bEKPs in ökologisch validen Szenarien dem Thema der mentalen Workload- und Belastungsmessung nähern. Insbesondere in Arbeitsplatzsimulationen und Fahrsimulatorstudien wurde dieses Maß eingesetzt, um objektive Erkenntnisse über mentale Belastungsprozesse zu erlangen. So zeigten Alyan et al. (2023) in einer Leitwartensimulation, dass sich Belastungsunterscheide während einer aktiven und passiven Leitwartenaufgabe im bEKP abbilden. In dieser Simulation mussten die Versuchspersonen entweder aktiv Hebel und Ventile bedienen, um einen bestimmten Systemzustand herzustellen, oder passiv den Systemzustand beobachten und beim Aufleuchten einer Lampe bestimmte Werte ablesen und notieren. Hier zeigten sich insbesondere Unterschiede in frühen visuellsensorischen (N1 an O1/O2) und späteren Ressourcenverteilungskomponenten (P3 an O1/O2) als bedeutsam hinsichtlich der kognitiven Belastung. Befunde wie dieser hätte man mit anderen Maßen nur schwer ermitteln können. Eine geringere N1 bei der aktiven Aufgabe deutete darauf hin, dass hier nach einem Blinker ein starker Fokus auf die selektive Verarbeitung der visuellen Szenerie gelegt wurde, wohingegen eine höhere

Ausprägung der P3 bei der aktiven Bedingung aufzeigte, dass weniger Aufmerksamkeitsressourcen durch die passive Aufgabe gebunden wurden.

In einer mobilen EEG-Studie im freien Feld (Wascher et al. 2022) zeigte sich ein ähnliches Bild. Versuchspersonen mussten entweder an einem Punkt stehen, in Runden um einen Parcours laufen oder rundenweise verschiedene Parcourselemente absolvieren. In allen Bedingungen bearbeiteten sie gleichzeitig eine kognitive Aufgabe. Es stellte sich heraus, dass bei aktivem Laufen im Vergleich zum Stehen und Parcourslaufen eine erhöhte N1 auftrat, die eine selektive Anpassung des visuellen Aufmerksamkeitsfokus an die Anforderungen durch die Szenerie aufzeigt. Auch wurde eine erhöhte P3 für die Steh- und einfache Laufbedingung gefunden, was darauf hinweist, dass selbst eine einfache Tätigkeit wie die Navigation im Parcours mentale Ressourcen kosten. Ein vergleichbares Muster wurde auch in einer Fahrsimulationsstudie gefunden, in der eine pro- und reaktive Fahraufgabe verglichen wurden (Alyan et al. 2023).

Die Notwendigkeit, psychische Belastungen am Arbeitsplatz zu messen, ist klar, angesichts der Zunahme von Arbeitsausfällen und der gesetzlichen Anforderungen zur Gefährdungsbeurteilung. Traditionelle Methoden wie Fragebögen und Arbeitsplatzanalysen stoßen hierbei jedoch an ihre Grenzen, da sie komplexe und dynamische Arbeitsprozesse nicht ausreichend erfassen.

4. Diskussion

Die Notwendigkeit, psychische Belastungen am Arbeitsplatz zu messen, ist klar, angesichts der Zunahme von Arbeitsausfällen und der gesetzlichen Anforderungen zur Gefährdungsbeurteilung. Traditionelle Methoden wie Fragebögen und Arbeitsplatzanalysen stoßen hierbei jedoch an ihre Grenzen, da sie komplexe und dynamische Arbeitsprozesse nicht ausreichend erfassen.

Der Einsatz neurowissenschaftlicher Verfahren wie dem EEG verspricht, psychische Belastung präziser und in Echtzeit zu erfassen. Die Nutzung von Augenaktivitäten als Indikatoren für kognitive Prozesse eröffnet dabei innovative Wege, psychische Belastungen in realen Arbeitskontexten zu messen und zu analysieren. Die vorgestellten Befunde zeigen auf, dass solche physiologischen Messmethoden feine Unterschiede in der Belastung aufdecken können, die sonst verborgen blieben. Mithilfe von bEKPs können somit Arbeitsbedingungen untereinander verglichen werden und basierend auf den Ergebnissen Handlungsanweisungen für eine Reduzierung des mentalen Loads während eines spezifischen Arbeitsprozesses formuliert werden.

Dennoch sind diese Verfahren in der Anwendung nicht ohne Herausforderungen, wie den Bedarf an Expertise für die Interpretation und die Kosten für Technologie und Implementierung. Trotzdem unterstreichen sie die Dringlichkeit, neue Ansätze für die Bewertung von psychischen Arbeitsbelastungen zu entwickeln und für die Anwendung zu validieren.

5. Literatur

- Al-Abdulmunem M (1999). Relation between tear breakup time and spontaneous blink rate. *International Contact Lens Clinic*, 26(5), 117–120. [https://doi.org/10.1016/S0892-8967\(00\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0892-8967(00)00033-X)
- Alyan E, Arnau S, Reiser JE, Getzmann S, Karthaus M & Wascher E (2023). Blink-related EEG activity measures cognitive load during proactive and reactive driving. *Scientific Reports*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46738-0>
- Alyan E, Wascher E, Arnau S, Kaesemann R & Reiser JE (2023). Operator State in a Workplace Simulation Modulates Eye-Blink Related EEG Activity. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 31, 1167–1179. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2023.3241962>
- Berg P & Davies MB (1988). Eyeblink-related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69(1), 1–5. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(88\)90029-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(88)90029-6)
- Cruz AAV, Garcia DM, Pinto CT & Cechetti SP (2011). Spontaneous Eyeblink Activity. *The Ocular Surface*, 9(1), 29–41. [https://doi.org/10.1016/S1542-0124\(11\)70007-6](https://doi.org/10.1016/S1542-0124(11)70007-6)
- European Commission. Statistical Office of the European Union. (2021). EU labour force survey 2020 module on accidents at work and other work-related health problems: Assessment report: 2021 edition. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2785/79618>
- Holtze B, Rosenkranz M, Bleichner MG & Debener S (2022). Eye-blink patterns reflect attention to continuous speech [Preprint]. *PsyArXiv*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/n86yp>
- Kobald SO, Wascher E, Heppner H & Getzmann S (2019). Eye blinks are related to auditory information processing: Evidence from a complex speech perception task. *Psychological Research*, 83(6), 1281–1291. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0952-9>
- Orchard LN & Stern JA (1991). Blinks as an index of cognitive activity during reading. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 26(2), 108–116. <https://doi.org/10/bvrmjs>
- Peifer C, Hagemann V, Claus M, Larra MF, Aust F, Kühn M, Owczarek M, Bröde P, Pacharra M, Steffens H, Watzl C, Wascher E & Capellino S (2021). Low self-reported stress despite immune-physiological changes in paramedics during rescue operations. *EXCLI Journal*; 20:Doc792; ISSN 1611-2156. <https://doi.org/10.17179/EXCLI2021-3617>
- Reiser JE, Wascher E & Arnau S (2019). Recording mobile EEG in an outdoor environment reveals cognitive-motor interference dependent on movement complexity. *Scientific Reports*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49503-4>
- Wascher E, Arnau S, Gutberlet M, Chuang LL, Rinkenauer G & Reiser JE (2022). Visual Demands of Walking Are Reflected in Eye-Blink-Evoked EEG-Activity. *Applied Sciences*, 12(13), 6614. <https://doi.org/10.3390/app12136614>



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration
und ihre Auswirkung auf Mensch,
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

GfA-Press

Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin, Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

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.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003, Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de