

In einer optimalen Balance von Fähigkeiten und Herausforderungen: Mit einer impliziten EEG-basierten Methode die Tiefe individueller Flow-Erlebnisse aufdecken

Elias MOLL¹, Anna VORREUTHER², Mathias VUKELIĆ¹

*¹Applied Neurocognitive Systems,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart*

*²Applied Neurocognitive Systems,
Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT),
Universität Stuttgart,
Allmandring 35, 70569 Stuttgart*

Kurzfassung: Das Erleben von Flow kann Produktivität, Kreativität und das allgemeine Wohlbefinden durch eine intensive Immersion und Konzentration auf eine Aufgabe steigern. In dieser Arbeit stellen wir eine neue Technik vor, die elektroenzephalographische (EEG) Aufzeichnungen nutzt, um implizit die Tiefe des Flow-Erlebens während einer Aufgabe zu messen. Dafür entwickelten wir ein game-basiertes neuroergonomisches Paradigma. Dieses Paradigma ermöglicht es, Flow-Erlebnisse individuell zu induzieren und ein optimales Fähigkeits-Herausforderungs-Niveau zu erreichen. Zusätzlich wurde eine implizite, auditive Oddball-Aufgabe verwendet, um die Aufmerksamkeitsressourcen der Proband*innen durch EEG zu beurteilen. Durch unseren EEG-basierten Ansatz konnten wir zeigen, dass neuronale Reaktionen als implizite Marker fungieren können, um die Tiefe des individuellen Flow-Erlebnisses aufzudecken. Unsere Ergebnisse haben Implikationen für verschiedene Bereiche, wie die Neuroarbeitswissenschaft, die Mensch-Technik-Interaktion, die menschenzentrierten Gestaltung zukünftiger Arbeitsumgebungen (New Work) und die Entwicklung von Flow-adaptiven Systemen durch Gehirn-Computer-Schnittstellen.

Schlüsselwörter: Neuroarbeitswissenschaft, Neuroergonomie, Flow, New Work, EEG

1. Einleitung, Ziel und Hypothesen der Studie

Das Erleben von Flow beinhaltet ein tiefes Eintauchen und eine intensive Konzentration auf eine Aufgabe, idealerweise dann, wenn das Niveau der Herausforderung dem Niveau der individuellen Fähigkeiten entspricht (Csikszentmihalyi 1988 2014). Das Erreichen eines ausgewogenen Verhältnisses zwischen Fähigkeiten und Herausforderungen wird als angenehme Erfahrung empfunden, die die Aufmerksamkeitsressourcen effektiv einsetzt (Nakamura & Csikszentmihalyi 2014). So kann das Erleben von Flow die Produktivität, Kreativität und das allgemeine Wohlbefinden steigern.

Das vordergründige Ziel war die Erprobung und Validierung einer neuen Messtechnik, die elektroenzephalographische (EEG) Aufzeichnungen nutzt, um implizit die Tiefe

des Flow-Erlebens während einer Aufgabe zu messen. Zu diesem Zweck entwickelten wir ein neuartiges game-basiertes neuroergonomisches Paradigma, das verschiedene Schwierigkeits- und mentale Zustände anhand einer primären Spielaufgabe variiert: Unter- und Überforderung und Flow-Erlebnis.

Zusätzlich dazu wurde eine implizite und auditive Aufgabe (sog. Oddball-Paradigma) verwendet (Sekundäraufgabe), um die aufmerksamkeitsbezogenen kognitiven Ressourcen der Teilnehmer*innen die durch die primäre Spielaufgabe gebunden sind zu beurteilen. (Maclin et al. 2011; Nuñez Castellar et al. 2016). Bei dem auditorischen Oddball werden zwei verschiedene Töne (moduliert durch die Frequenz) präsentiert, von denen einer, der Zielton, seltener präsentiert wird als der zweite Ton. Die Aufmerksamkeit, die dem Zielton zuzuordnen ist, kann durch EEG gemessen werden, wobei diese durch die kognitiven Ressourcen, die der Primäraufgabe gewidmet werden, abhängig ist (Karatekin 2004; Maclin et al. 2011; Wickens 2008).

Die Hypothesen der Studie umfassten: 1) dass der Flow-Zustand in einer für diesen mentalen Zustand optimierten Spielsituation signifikant besser subjektiv erlebt werden kann, verglichen mit Spielsituationen, die einer Über- oder Unterforderung zur Folge hatten; 2) dass die Leistung positiv mit den Flow-induzierenden Zustand korreliert; 3) dass die Gehirnaktivität in Bezug auf unerwartete Töne (seltener Ton) durch unterschiedlichen Spielstufen moderiert wird, was sich sowohl in der frühen als auch in der späten auditiven Aufmerksamkeitsverarbeitung der ereigniskorrelierten Potenziale (EKPs) der EEG-Messungen widerspiegelt.

2. Methodik

2.1 Design, Experimentalablauf und Messmethodik

Insgesamt nahmen 15 Proband*innen (9 männlich, 6 weiblich; Altersdurchschnitt 27.93 ± 3.87 Jahre; alle rechtshändig) an der Studie teil. Zum Auslösen des Flow-Zustandes in einem experimentellen Kontext wurde ein game-basierter Ansatz gewählt, welcher die Modulation der Schwierigkeit erlaubt sowie das Engagement der Probanden fördert (Csikszentmihalyi, 2014). Das Spiel wurde designt als ein 2D-Plattform-Spiel auf einer fiktiven Mondlandschaft. Probanden kontrollierten einen Heldencharakter, dessen Aufgabe darin bestand, rote, dynamisch erscheinende Diamanten zu sammeln und dabei beweglichen Gegnern auszuweichen oder diese vorübergehend zu betäuben. Punkte wurden gesammelt durch Einsammeln der Diamanten und verloren durch Kontakt mit nicht betäubten Gegnern – visuelles Feedback über Spielstand und -Leistung wurde in Echtzeit gegeben. Schwierigkeit wurde durch die Anzahl der maximal erscheinenden Gegner manipuliert (Unterforderung: max. 3; Flow: max. 5; Überforderung: max. 180). Eine Runde dauerte etwa 6 Minuten. Zur Anpassung der Schwierigkeit und Induktion eines Flow-Zustandes trotz individueller Unterschiede zwischen Probanden wurde zudem die Schwierigkeit des Flow-Levels in einer initialen Trainingsrunde individuell bestimmt und dann während der Sitzung stufenweise angepasst, sodass Probanden sich in einer optimalen Fähigkeits-Forderungs-Balance befinden sollten.

Währenddessen wurden Probanden parallel frequente und Oddball-Töne (abweichender unregelmäßiger Zielton; 20 % der Fälle) in unregelmäßigen Intervallen (2–2,4s Interstimulus-Intervall) präsentiert mit der Instruktion, den Zielton mitzuzählen.

Zu Beginn jeder Testsitzung wurden die Teilnehmer*innen mit den zwei Tönen vertraut gemacht. Es wurde sichergestellt, dass alle Proband*innen die Töne unterscheiden können.

Die Gesamtlänge des Experiments bestand aus 9 randomisierten Runden, in welchen insgesamt drei verschiedene Level (Unterforderung, Flow, Überforderung) jeweils dreimal präsentiert wurden. Nach jeder Runde wurden subjektive Fragebögen von den Proband*innen ausgefüllt. Für die Beurteilung der wahrgenommenen mentalen Belastung wurde der NASA Task Load Index (NASA-TLX) verwendet (Hart & Staveland 1988). Weiterhin wurde die Flow-Kurzskala (FKS) eingesetzt (Rheinberg et al., 2003). Diese Skala bewertet die Ausgeglichenheit von Fähigkeiten und Herausforderungen und operationalisiert damit das Ausmaß des erlebten Flows während einer Aufgabe.

Jede Proband*in absolvierte zwei Testsitzungen, eine stehend und eine sitzend, wobei die Reihenfolge dieser ergonomischen Bedingungen ebenfalls ausgeglichen über alle Proband*innen wurde.

Während des gesamten Experimentalablaufs wurden elektrophysiologische Signale durch EEG- und weitere physiologische Messungen (hier nicht verwendet) simultan erhoben. Die EEG-Spannungsschwankungen wurden von 32 Positionen an der Kopfoberfläche mittels Ag/AgCl Elektroden aufgezeichnet (actiCAP, Brainproducts GmbH, Germany). Die EEG-Signale wurden mit einer Abtastrate von 1kHz und einem Hochpass-Filter (Zeitkonstante von 10 Sekunden) zur offline Datenauswertung mittels der Brain Vision Recorder Software (Brainproducts GmbH, Germany) aufgezeichnet.

2.2 Analyse

Wir verwendeten eine ANOVA mit wiederholten Messungen (rmANOVA), um die Haupteffekte und Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den verschiedenen Schwierigkeitsstufen und ergonomischen Bedingungen zu bewerten. Der Effekt der Schwierigkeitsstufen auf die Leistung der Probanden wurde durch subjektive Skalen (NASA-TLX, FSK) und Spielmetrik evaluiert. P-Werte wurden nach Greenhouse-Geisser korrigiert (Greenhouse & Geisser 1959). Post-hoc-Analyse bestand aus mehrfachen paarweisen Vergleichen mit Tukeys HSD (Tukey 1949).

In der zweiten Phase nutzten wir einen datengesteuerten Ansatz, um die EKPs mit den Aufmerksamkeitsressourcen zu verknüpfen. Durch die Nutzung der EEG-Signale konnten wir implizit Rückschlüsse ziehen, welches Ausmaß an Aufmerksamkeit die Proband*innen den auditiven Tönen widmen, während sie sich mit dem Spiel beschäftigten. Durch die Auswertung der EKPs kann die Fähigkeit der Nutzer*innen zur impliziten Verarbeitung unerwarteter und aufgabenirrelevanter (Zielton) auditiver Ereignisse untersucht werden. Auf der ersten Ebene führten wir eine rmANOVA auf den EEG-Zeitreihen (ERP) mit einem nicht-parametrischen räumlichen (EEG-Kanäle) und zeitlichen (Zeitfenster) Clustertest durch. Dieser Ansatz ermöglichte es uns, die Haupteffekte ohne Verzerrungen durch eine willkürliche a-priori-Auswahl von Zeitfenstern und Kanälen zu erfassen und das damit verbundene Problem des Mehrfachvergleichs zu lösen. Anschließend wurden ähnliche räumlich-zeitliche paarweise Cluster-Statistiken mithilfe von mehrfachen gepaarten t-Tests durchgeführt, um die Unterschiede zwischen den Haupteffekten zu ermitteln.

3. Ergebnisse

3.1 Subjektive Daten zur Validierung des erlebten Flow-Zustandes

Die rmANOVA zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Schwierigkeitsstufens auf die Spielmetrik (i.e., die Leistung) ($F(2,24) = 240.16, p < .001, \eta_p^2 = .95$; siehe Abbildung 1). Ein signifikanter Haupteffekt der Schwierigkeitsstufen auf die Fähigkeits-Forderungs-Balance (NASA-TLX) wurde gefunden ($F(2,24) = 48.53, p < .001, \eta_p^2 = .8$). Paarweise Vergleiche (Tukey's HSD) zeigten signifikante Unterschiede zwischen allen Schwierigkeitsstufen für Spielmetrik und NASA-TLX. Zuletzt zeigte die rmANOVA für die FKS ebenso einen signifikanten Haupteffekt der Schwierigkeitsstufen ($F(2,24) = 46.72, p < .001, \eta_p^2 = .8$). Tukey's HSD zeigte, dass bei der FKS nur der Unterschied zwischen dem Flow-Level und den anderen Stufen signifikant war. Über- und Unterforderung waren nicht unterschiedlich in Bezug auf die subjektive Flow-Empfindung. Keine signifikanten Interaktionen wurden gefunden. Die ergonomische Position der Probanden (sitzend oder stehend) führte in keiner der abhängigen Variablen zu signifikanten Unterschieden.

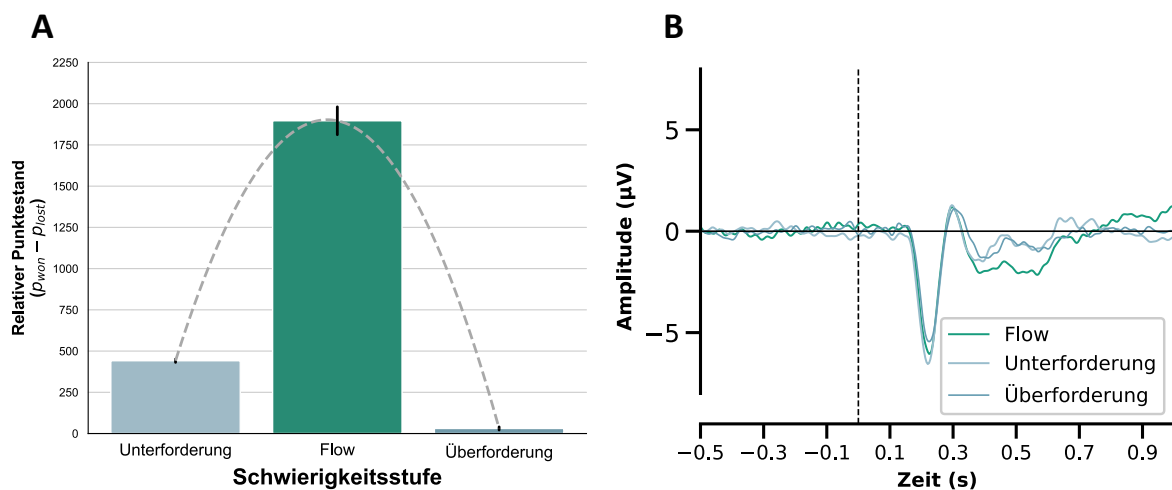


Abbildung 1: (A) Durchschnitt aller Probanden in der Spielmetrik über die drei Schwierigkeitsstufen. Standardfehler wird gezeigt durch schwarze Linien. (B) Ein prototypisches ereigniskorreliertes Potenzial (EKP) gemessen über alle EEG-Positionen hinweg. Zeitpunkt 0 entspricht dem Start des auditiven Tons. In einer Abfolge von positiven und negativen Gipfeln zeigen sich zeitlich aufeinanderfolgende Verarbeitungsschritte im Gehirn. Deutlich zu sehen sind Unterschiede in der N100 (~150 ms) und der P300 (~350-400 ms) während der Flow-, Unter- und Überforderungsbedingung des Spiels.

3.2 Elektrophysiologische Daten zur impliziten Messung des erlebten Flow-Zustandes

Die rmANOVA der EEG-Daten zeigte signifikant unterschiedliche Cluster für den Haupteffekt der Schwierigkeitsgrade, während sich keine signifikanten Effekte für die unterschiedlichen ergonomische Bedingungen (stehend versus sitzend) zeigten. Aus den paarweisen nicht-parametrischen Cluster-Analysen zeigten sich signifikante Unterschiede im Flow-Zustand im Vergleich zu Unter- und Überbelastungszuständen. Ein signifikantes Cluster zeigte sich im Zeitintervall um 150 Millisekunden (sog. N100

EKP-Komponente; Ghani et al., 2020; Mangun & Hillyard, 1991) und 350 Millisekunden (sog. P300 EKP-Komponente; Polich 2007; Vanbilsen et al. 2023). Insbesondere zeigte sich bei den Proband*innen im Flow-Zustand eine signifikante Reduktion der EEG-Amplitude in den späten aufmerksamkeitsbezogenen Phasen (P300) der ereigniskorrelierten Hirnpotenziale (siehe Abbildung 1).

4. Diskussion und Ausblick

Die vorgestellten subjektiven und elektrophysiologischen Ergebnisse zeigen die Effektivität und Validität unseres neu entwickelten neuroergonomischen Paradigmas zur impliziten Erfassung individueller Flow-Erlebnisse durch EEG-Messungen. Die gefundenen Zeitintervalle der signifikanten EEG-Cluster spiegeln sehr wahrscheinlich die in der Literatur bereits etablierten EKPs wider: 1) das visuelle N100 Zeitintervall (etwa 150–200 ms nach Stimulusbeginn), welches die visuelle Wahrnehmung eines Reizes früh reflektiert und für nachfolgende aufmerksamkeitsbezogene Prozesse präselektiert (Ghani et al. 2020; Mangun & Hillyard 1991); 2) das P300 Zeitintervall (etwa 250–500 ms nach Stimulusbeginn), welches mit gerichteter und gebundener Aufmerksamkeit in hierarchisch höhergelegenen Verarbeitungsprozessen des Gehirns assoziiert wird (Polich 2007; Vanbilsen et al. 2023). Wir sind davon überzeugt, dass wir durch unseren EEG-basierten Ansatz zeigen konnten, dass elektrophysiologische EKPs als implizite Marker fungieren können, um die Tiefe des individuellen Flow-Erlebnisses aufzudecken. Diese Ergebnisse haben direkte Implikationen für verschiedene Bereiche, wie die Neuroarbeitswissenschaft, die Mensch-Technik-Interaktion und die menschenzentrierte Gestaltung zukünftiger Arbeitsumgebungen (New Work). Zukünftige Arbeiten können auf diesen Ergebnissen aufbauen und die Machbarkeit der Klassifikation durch EEG-basiertes maschinelles Lernen erproben. Dies würde die Grundlage für die Echtzeit-Erfassung von EEG-basierten Maßen während der Interaktion mit einem technischen System liefern und so die innovative Gestaltung von neuroadaptiven Systemen vorantreiben: ein adaptives und autonomes Assistenzsystem, welches sich konsequent an den Bedürfnissen und Fähigkeiten der Nutzer*innen orientiert und transparentes, individuelles Feedback erlaubt.

5. Literatur

- Csikszentmihalyi M (1988). The flow experience and its significance for human psychology. In *Optimal Experience* (1st ed., pp. 15–35). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511621956.002>
- Csikszentmihalyi M (Ed.). (2014). The collected works of Mihaly Csikszentmihalyi: volume 2. Flow and the foundations of positive psychology. Springer.
- Ghani U, Signal N, Niazi IK & Taylor D (2020). Erp based measures of cognitive workload: A review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 118, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.07.020>
- Greenhouse SW & Geisser S (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 24(2), 95–112. <https://doi.org/10.1007/BF02289823>
- Hart SG & Staveland LE (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Advances in Psychology : Human Mental Workload* (Vol. 52, pp. 139–183). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)

- Karatekin C (2004). Development of attentional allocation in the dual task paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, 52(1), 7–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2003.12.002>
- Maclin EL, Mathewson KE, Low KA, Boot WR, Kramer AF, Fabiani M & Gratton G (2011). Learning to multitask: Effects of video game practice on electrophysiological indices of attention and resource allocation. *Psychophysiology*, 48(9), 1173–1183. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01189.x>
- Mangun GR & Hillyard SA (1991). Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 17(4), 1057–1074. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.17.4.1057>
- Nakamura J & Csikszentmihalyi M (2014). The Concept of Flow. In M. Csikszentmihalyi (Ed.), *The collected works of Mihaly Csikszentmihalyi: volume 2. Flow and the foundations of positive psychology* (pp. 239–263). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9088-8_16
- Núñez Castellar EP, Antons J-N, Marinazzo D & van Looy J (2016). Being in the zone: Using behavioral and EEG recordings for the indirect assessment of flow. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2482v1>
- Polich J (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology : Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128–2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Rheinberg F, Vollmeyer R & Engeser S (2003). PsycTESTS Dataset. American Psychological Association (APA). <https://doi.org/10.1037/t47787-000>
- Tukey JW (1949). Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*, 5(2), 99. <https://doi.org/10.2307/3001913>
- Vanbilsen N, Kotz SA., Rosso M, Leman M, Triccas LT, Feys P & Moumdjian L (2023). Auditory attention measured by EEG in neurological populations: Systematic review of literature and meta-analysis. *Scientific Reports*, 13(1), 21064. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47597-5>
- Wickens CD (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>



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