

## 15 Kognitive Anstrengung: kognitionspsychologische Grundlagen und Konzepte

Daniel Oberfeld-Twistel

Allgemeine und Experimentelle Psychologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

### Kognitive Anstrengung und Aufmerksamkeit

Nicht nur körperliche, sondern auch geistige (kognitive) Tätigkeiten können anstrengend sein. Ich kann mühelos und nebenher den Konversationen in der deutsch synchronisierten Fassung meiner Lieblingsserie folgen, muss mich aber anstrengen und konzentrieren, um die sprachlichen Feinheiten in der Originalfassung zu verstehen. Lauter Baulärm oder Gespräche von Kolleg\*innen im Hintergrund an meinem Büroarbeitsplatz können selbst simple Tätigkeiten wie das Eintragen von Daten in eine Tabelle herausfordernd machen. Nach längerer konzentrierter Arbeit an zum Beispiel einer anspruchsvollen Datenanalyse oder einem wissenschaftlichen Manuskript fühle ich mich oft müde und geschafft und benötige eine Pause. Wie können diese Beobachtungen erklärt werden? In der Kognitionspsychologie spielt das Konzept der *Aufmerksamkeit* eine zentrale Rolle. Dieser Begriff hat zahlreiche Lesarten, aber Aufmerksamkeit meint in jedem Fall eine entweder willentliche oder unwillkürliche Zuwendung zu bestimmten externen Reizen bzw. internen Gedanken oder kognitiven Tätigkeiten. Dies impliziert auch Selektion: wir richten unsere Aufmerksamkeit auf einen Reiz oder eine Tätigkeit, in diesem Moment werden somit andere Reize oder Tätigkeiten weniger intensiv ver- bzw. bearbeitet. Manche kognitiven Leistungen gelingen uns scheinbar mühelos (das Verfolgen der Lieblingsserie in der Muttersprache) – dies wird häufig so interpretiert, dass die dafür nötigen kognitiven Prozesse „automatisch“ ablaufen (Posner & Snyder, 1975) – andere erfordern unsere aktive Zuwendung, also Aufmerksamkeit (die Lieblingsserie in einer Fremdsprache).

### Rahmenkonzept: begrenzte kognitive Verarbeitungskapazität

Ein für das Verständnis dieser Zusammenhänge aus meiner Sicht sehr hilfreiches Werk ist das einflussreiche Buch „Attention and effort“ (Aufmerksamkeit und Anstrengung) des späteren Nobelpreisträgers Daniel Kahneman (1973). Kahneman nimmt Bezug auf Berlyne (1960) und betont den Intensitätsaspekt von Aufmerksamkeit: schwierigere Aufgaben erfordern mehr Aufmerksamkeit und gleichzeitig mehr Anstrengung. Für Kahneman sind „aufmerksam sein“ (pay attention) und „sich anstrengen“ (exert effort) in Bezug auf kognitive Leistungen also synonym. In seinem Buch formuliert er ein Kapazitätsmodell der Aufmerksamkeit. Solche Theorien nehmen an, dass Menschen (und anderen Organismen) nur eine begrenzte kognitive Verarbeitungskapazität zur Verfügung steht. Wie erwähnt, erfordern manche kognitiven Tätigkeiten oder Prozesse (fast) keine Aufmerksamkeit. Wenn kognitive Prozesse jedoch Aufmerksamkeit benötigen, so ist die Menge der zu einem bestimmten Zeitpunkt zuweisbaren Aufmerksamkeit kapazitätsbeschränkt. „Kapazität investieren“ (invest capacity) ist somit für Kahneman ein weiteres Synonym für „aufmerksam sein“ oder „sich anstrengen“. In diesem Konzept besteht nun ein zentraler Zusammenhang zwischen Anstrengung/der Intensität von Aufmerksamkeit auf der einen Seite und Erregung/Aktivierung (arousal) auf der anderen Seite, wobei Erregung hier durchaus physiologisch verstanden wird. Die Bearbeitung anspruchsvollerer Tätigkeiten benötigt eine höhere Aufmerksamkeitsintensität/Anstrengung und führt somit zu höherem Arousal. In die andere Richtung gedacht hängt die momentan zur Verfügung stehende Verarbeitungskapazität mit dem Arousalniveau zusammen: bei mittelhohem Arousal ist mehr kognitive Kapazität verfügbar als bei niedrigem Arousal. Bei zu hohem Arousal wiederum sinkt die verfügbare Kapazität (auch im Sinne des „Gesetzes“ von Yerkes & Dodson, 1908). Gerade aus dem Tiefschlaf geweckt können wir kognitiv weniger leisten als im wachen und angeregten Zustand, aber nach einem Hundertmeterlauf mit Vollgas sind auch keine kognitiven Höchstleistungen mehr möglich.

Aus dem Kapazitätsmodell von Kahneman (1973) folgt nun ein sowohl theoretisch als auch praktisch wichtiger Aspekt: ein Anstieg der Schwierigkeit einer Aufgabe kann durch eine Erhöhung der darauf verwendeten kognitiven Ressourcen (also höhere Anstrengung) kompensiert werden. Wir können also auch bei höheren Aufgabenanforderungen dieselbe Leistung erbringen, müssen uns dafür aber mehr anstrengen. Hohe kognitive Anstrengung kann mittel- oder langfristig zu Ermüdung, Überlastung und psychologischem Stress führen. Insofern ist eine Vermeidung zu hoher kognitiver Anstrengung nicht zuletzt auch für die Gestaltung von Arbeitsprozessen (z. B. Wickens, Helton, Hollands, & Banbury, 2021) und für Wohlbefinden und Gesundheit am Arbeitsplatz ein wichtiger Aspekt (Ferreira & Vogt, 2022).

Eine Erhöhung der kognitiven Ressourcenanforderungen kann durch die gerade primär zu bearbeitende Aufgabe selbst bedingt sein („multipliziere 3 mit 5“ versus „multipliziere 3256 mit 6724“), aber auch durch den Kontext. Beispielsweise kann der eingangs beschriebene Effekt von aufgabenirrelevantem Hintergrundschall auf kognitive Tätigkeiten dadurch erklärt werden, dass Gespräche im Hintergrund a) unwillkürlich die Aufmerksamkeit auf sich ziehen und oft auch automatisch semantisch verarbeitet werden und dass b) die Unterdrückung solcher automatischer Prozesse Aufmerksamkeit – also Zuweisung kognitiver Ressourcen und Anstrengung – benötigt (Shiffrin & Schneider, 1977).

### **Einordnung: Begrifflichkeiten und alternative Konzepte**

Wie ordnet sich dieses bereits ab den 1960er Jahren entwickelte Konzept in die umfangreiche nach Kahneman (1973) entstandene Literatur ein? Beginnend in den 1980er Jahren wurde das von Kahneman (1973) und anderen Aufmerksamkeitsmodellen vertretene Konzept kritisiert, dass Selektion (attentive selection) aufgrund einer „zentralen“ Kapazitätsbegrenzung erfolgen müsse. Alternative Ansätze wurden formuliert, nach denen die Funktion der Selektion ist, Handlungen zu ermöglichen ("selection for action"; z. B. Allport, 1987; Neumann, 1987) bzw. in denen das von Kahneman (1973) und anderen (z. B. Moray, 1967) vertretene Konzept einer zentralen beschränkten Kapazität durch ein Konzept von multiplen (jedoch auch jeweils beschränkten) Ressourcen ersetzt wurde (z. B. Wickens, 2008). Diese für die Kognitionspsychologie bedeutsamen Entwicklungen stellen jedoch nicht in Frage, dass kognitive Prozesse und Tätigkeiten sich in ihren Ressourcenanforderungen unterscheiden, und dass hohe Ressourcenanforderungen hohe kognitive Anstrengung/Aufmerksamkeitsintensität bedingen.

Eine größere Herausforderung für die Einordnung des Konzepts von Kahneman in Bezug auf andere Literatur zum Thema ist, dass viele verschiedene Begrifflichkeiten verwendet werden, und dies in leider teilweise inkonsistenter Weise. In der relevanten Literatur werden häufiger als „kognitive Anstrengung“ (effort) die Begriffe cognitive (oder mental) load (oder workload) verwendet. Zwar identifizierte ein aktuelles Review zum Thema "mental workload" ganze 68 im Detail etwas unterschiedliche Definitionen des Begriffs (Longo, Wickens, Hancock, & Hancock, 2022), jedoch wurde darin folgende „integrative“ Definition vorgeschlagen: "Mental workload repräsentiert das Ausmaß an Aktivierung eines kapazitätsbegrenzten Vorrats an Ressourcen [...] durch Anstrengung und Aufmerksamkeit [...] während der kognitiven Bearbeitung einer Hauptaufgabe." <sup>1</sup> (S. 18, sinngemäße und gekürzte Übersetzung durch den Autor). Diese Definition von mental workload bezieht sich auf den internen Zustand der Person, entspricht kognitiver Anstrengung/Aufmerksamkeitsintensität der Zuweisung von kognitiver Kapazität und folgt dem von Kahneman (1973) vorgeschlagenen Konzept. In diesem Sinne wird der Begriff mental/cognitive load/workload häufig in der kognitionspsychologischen Literatur verwendet.

<sup>1</sup> Im Original: "Mental workload represents the degree of activation of a finite pool of resources, limited in capacity, while cognitively processing a primary task over time, [...] by devoted effort and attention."

Allerdings ist zu beachten, dass mit „load“ in anderen Teilen der Literatur die „objektive“, von außen kommende Anforderung an das kognitive System beschrieben wird (externer Zustand der Aufgabe, der Situation etc.; z. B. Johannsen, 1979), auf die das System dann unter anderem mit Anstrengung/Investition von kognitiven Ressourcen/Arousal reagieren kann. In der Arbeitswissenschaft wurde von Rohmert und Rutenfranz (1975) eine Unterscheidung zwischen „Belastung“ und „Beanspruchung“ getroffen. Belastung meint die Einflüsse, die von außen auf einen Menschen zukommen (Aufgabenschwierigkeit, Arbeitsbedingungen etc.), während Beanspruchung die Reaktion des Menschen auf die Belastung ist (interner Zustand), unter anderem im Sinne erhöhter kognitiver Anstrengung (Ferreira & Vogt, 2022). Diese Definitionen wurden z. B. in DIN EN ISO 10075-1 (2018) übernommen; in der englischsprachigen Version der Norm wird Belastung mit „stress“ und Beanspruchung mit „strain“ übersetzt. Die Begriffe „kognitive Anstrengung“, „Aufmerksamkeitsintensität“, „investierte kognitive Kapazität“, „mental workload“ im Sinne eines internen Zustands, sowie „kognitive Beanspruchung“ im Sinne von ISO 10075 meinen also dasselbe. „Belastung“ im Sinne von ISO 10075 bezieht sich hingegen eindeutig auf externe Einflüsse. Die Begriffe mit „load“ (wie „cognitive workload“) werden jedoch teilweise für den internen und teilweise für den externen Zustand verwendet. Bei der Rezeption der entsprechenden Literatur muss insofern immer differenziert werden, welche Lesart von „load“ (intern oder extern) jeweils gemeint ist. Wünschenswert wäre, dass Autor\*innen, die „load“ Begriffe verwenden, explizit definieren, ob der Begriff sich auf äußere Einflüsse oder den internen Zustand der Person bezieht. Auch die englische Übersetzung von „Belastung“ (äußere Einflüsse) mit „stress“ wie in ISO 10075 ist nicht gänzlich unproblematisch, da in der Psychologie der Begriff „Stress“ einen internen, nicht einen externen Zustand beschreibt (z. B. Lazarus, 1999).

### Messung von der kognitiven Anstrengung

Wie kann nun die Aufmerksamkeitsintensität/die kognitive Anstrengung gemessen werden? Da kognitive Anstrengung dem subjektiven Erleben zugänglich ist, sind hier zunächst subjektive Maße naheliegend und wichtig, mit denen die betroffenen Personen selbst Auskunft über die von ihnen erlebte Anstrengung geben. In der Literatur wird eine größere Anzahl ein- und mehrdimensionaler Fragebogenverfahren unterschiedlicher psychometrischer Qualität verwendet (z. B. Hart & Staveland, 1988; Reid & Nygren, 1988), meist basierend auf Ratingskalen. Ein aktueller Überblick findet sich in Longo, et al. (2022).

Selbsteinschätzungen erfassen einerseits die -per definitionem subjektive- kognitive Anstrengung direkt und sollten insofern möglichst immer (mit-)erhoben werden. Antworten auf Ratingskalen sind aber andererseits generell schwer zwischen Studien vergleichbar (z. B. Bartoshuk et al., 2003) und für Kontexteffekte anfällig (z. B. Lawless, Horne, & Spiers, 2000; Schwarz, 1999). Besonders in der experimentalpsychologischen Grundlagenforschung wurden objektive Leistungsmaße für kognitive Anstrengung/Aufmerksamkeitsintensität entwickelt. Aus der diskutierten Kompensationsmöglichkeit für höhere Aufgabenanforderungen durch eine Erhöhung der investierten Kapazität folgt, dass die Leistung in der aktuell priorisierten Aufgabe (Hauptaufgabe) kein gutes Maß für kognitive Anstrengung ist. Nur wenn die Anforderungen so hoch werden, dass sie die aktuell aktivierbare kognitive Kapazität überschreiten, würde die Leistung in der Aufgabe zurückgehen. Aus dem theoretischen Konzept folgt aber auch (Kahneman, 1973), dass die Leistung in einer Sekundäraufgabe als objektives Verhaltensmaß für kognitive Anstrengung die in die Primäraufgabe investierte kognitive Kapazität genutzt werden kann (z. B. Posner & Boies, 1971). Da alle kognitiven Prozesse im Modell aus einer einzigen, zentralen Kapazität gespeist werden, zieht laut Modell eine höhere Zuweisung von kognitiven Ressourcen auf die Hauptaufgabe Kapazität von der Bearbeitung der Nebenaufgabe(n) ab, was die Leistung in der Nebenaufgabe messbar reduzieren sollte (soweit letztere sinnvoll gewählt ist). Wenn eine Person gebeten wird, die primäre Aufgabe

so gut wie möglich auszuführen und nur die verbleibende Kapazität für die Bearbeitung einer Nebenaufgabe zu nutzen, dann liefert die Leistung in dieser Nebenaufgabe also ein Maß für die aktuelle kognitive Anstrengung. Bei geschickter Gestaltung der Nebenaufgabe kann die Aufmerksamkeitsintensität „online“ im zeitlichen Verlauf der Bearbeitung der Primäraufgabe verfolgt werden (z. B. Posner & Boies, 1971). Allerdings erhöht die zusätzliche Nebenaufgabe immer etwas die Komplexität der zu untersuchenden Situation.

Durch den von Kahneman (1973) diskutierten engen Zusammenhang zwischen kognitiver Anstrengung und Arousal eröffnen sich zudem physiologische Messmöglichkeiten. Insbesondere wurde bereits von Kahneman und seinen Kooperationspartnern die Pupillendilatation als besonders gut geeignetes Maß vorgeschlagen (z. B. Beatty, 1982). Der Pupillendurchmesser steigt mit dem Arousal, die physiologischen Mechanismen dafür sind gut bekannt (Strauch, Wang, Einhäuser, van der Stigchel, & Naber, 2022) und der durch die Pupillendilatation gemessene Intensitätsaspekt der Aufmerksamkeit entspricht dem „Alerting“-Aspekt der Aufmerksamkeit in aktuellen Netzwerkmodellen der Aufmerksamkeit (Petersen & Posner, 2012). Aufgrund der recht kurzen Latenzen der Pupillendilatation kann auch hiermit der zeitliche Verlauf der Aufmerksamkeitsintensität gemessen werden (z. B. Kahneman, Beatty, & Pollack, 1967). Weitere peripherphysiologische Korrelate von Arousal sind unter anderem Hautleitfähigkeit (Boucsein, 1992), Herzrate und Herzratenvariabilität (siehe Longo, et al., 2022). Alle peripherphysiologischen Maße werden natürlich auch von anderen Faktoren als kognitiver Anstrengung beeinflusst (etwa wechselnde Helligkeit bei der Pupillendilatation, Temperaturschwankungen bei der Hautleitfähigkeit oder generell emotional oder durch physische Aktivität statt kognitiv verursachtes Arousal), so dass eine sorgfältige Planung des Untersuchungsdesigns für eine Interpretierbarkeit der Messergebnisse im Sinne von kognitiver Anstrengung entscheidend ist.

Als neurophysiologische Maße für kognitive Anstrengung wurden -unter anderem - erhöhte Aktivität im Theta-Frequenzband und reduzierte Aktivität im Alpha-Frequenzband des Elektroenzephalogramms (EEG) als Indikatoren von hoher Aufmerksamkeitsintensität vorgeschlagen (z. B. Borghini, Astolfi, Vecchiato, Mattia, & Babiloni, 2014; Klimesch, 1999); ebenso erhöhte Aktivität im präfrontalen Kortex, die zum Beispiel per funktioneller Kernspintomographie oder Nahinfrarotspektrografie gemessen werden kann (z. B. Cohen et al., 1996; Fishburn, Norr, Medvedev, & Vaidya, 2014). Auch die neurophysiologischen Maße reagieren nicht exklusiv auf kognitive Anstrengung, sondern auf vielfältige andere Prozesse und Faktoren, so dass auch hier einem geeigneten Design der Messung eine zentrale Bedeutung zukommt.

## Literatur

Allport, A. (1987). Selection for action: Some behavioral and neurophysiological considerations of attention and action. In H. Heuer & A. Sanders (Eds.), *Perspectives on perception and action* (pp. 409-434): Routledge.

Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., Fast, K., Green, B. G., Prutkin, J., & Snyder, D. J. (2003). Labeled scales (e.g., category, Likert, VAS) and invalid across-group comparisons: what we have learned from genetic variation in taste. *Food Quality and Preference*, 14(2), 125-138. doi: [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(02\)00077-0](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(02)00077-0)

Beatty, J. (1982). Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychological Bulletin*, 91(2), 276-292. doi: 10.1037/0033-2909.91.2.276

Berlyne, D. (1960). *Conflict, arousal and curiosity*. New York: McGraw-Hill.

Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2014). Measuring neuro-physiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 58-75. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.10.003

Boucsein, W. (1992). *Electrodermal activity*. New York: Plenum Press.

Cohen, M. S., Kosslyn, S. M., Breiter, H. C., DiGirolamo, G. J., Thompson, W. L., Anderson, A. K., Belliveau, J. W. (1996). Changes in cortical activity during mental rotation - A mapping study using functional MRI. *Brain*, 119, 89-100. doi: 10.1093/brain/119.1.89

DIN EN ISO 10075-1. (2018). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe*.

Ferreira, Y., & Vogt, J. (2022). Psychische Belastung und deren Herausforderungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 76(2), 202-219. doi: 10.1007/s41449-021-00292-5

Fishburn, F. A., Norr, M. E., Medvedev, A. V., & Vaidya, C. J. (2014). Sensitivity of fNIRS to cognitive state and load. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. doi: 10.3389/fnhum.2014.00076

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 139-183). Amsterdam et al.: North-Holland.

Johannsen, G. (1979). Workload and workload measurement. In N. Moray (Ed.), *Mental Workload: Its Theory and Measurement* (pp. 3-11). Boston, MA: Springer US.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Kahneman, D., Beatty, J., & Pollack, I. (1967). Perceptual deficit during a mental task. *Science*, 157(3785), 218-219. doi: 10.1126/science.157.3785.218

Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2-3), 169-195. doi: 10.1016/s0165-0173(98)00056-3

Lawless, H. T., Horne, J., & Spiers, W. (2000). Contrast and range effects for category, magnitude and labeled magnitude scales in judgements of sweetness intensity. *Chemical Senses*, 25(1), 85-92. doi: 10.1093/chemse/25.1.85

Lazarus, R. S. (1999). *Stress and emotion: A new synthesis*. New York: Springer.

Longo, L., Wickens, C. D., Hancock, P. A., & Hancock, G. M. (2022). Human mental workload: A survey and a novel inclusive definition. *Frontiers in Psychology*, 13. doi: 10.3389/fpsyg.2022.883321

Moray, N. (1967). Where is capacity limited? A survey and a model. *Acta Psychologica*, 27, 84-92.

Neumann, O. (1987). Beyond Capacity: A Functional View of Attention. In H. Heuer & A. Sanders (Eds.), *Perspectives on perception and action* (pp. 375-408): Routledge.

Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. In S. E. Hyman (Ed.), *Annual Review of Neuroscience*, Vol 35 (Vol. 35, pp. 73-89).

Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78(5), 391-407. doi: 10.1037/h0031333

Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium* (pp. 55-85): Lawrence Erlbaum.

Reid, G. B., & Nygren, T. E. (1988). The Subjective Workload Assessment Technique: A scaling procedure for measuring mental workload. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 185-218). Amsterdam et al.: North-Holland.

Rohmert, W., & Rutenfranz, J. (1975). *Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen: Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung*.

Schwarz, N. (1999). Self-reports: How the questions shape the answers. *American Psychologist*, 54(2), 93-105.

Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information-processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84(2), 127-190. doi: 10.1037/0033-295x.84.2.127

Strauch, C., Wang, C. A., Einhäuser, W., van der Stigchel, S., & Naber, M. (2022). Pupillometry as an integrated readout of distinct attentional networks. *Trends in Neurosciences*, 45(8), 635-647. doi: 10.1016/j.tins.2022.05.003

Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449-455. doi: 10.1518/001872008x288394

Wickens, C. D., Helton, W. S., Hollands, J. G., & Banbury, S. (2021). *Engineering Psychology and Human Performance*. Milton, UK: Taylor & Francis Group.

Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, 18, 459-482.

# Workshop zur Quantifizierung mentaler Beanspruchung aus Tätigkeit und Umgebungsfaktoren der Arbeit

Themenschwerpunkt: (Neuro-)physiologische Methoden zur Messung der Wirkung von Lärm auf kognitive Prozesse

Herausgeber: Jan Grenzebach

## baua: Fokus

Im Dezember 2022 fand ein Workshop zur Messbarmachung von kognitiver Beanspruchung statt. Ziel war die Identifizierung objektiver Verfahren zur Untersuchung von mentalen Prozessen, die bei Lärm aktiv sind. Dafür waren Forschende eingeladen über Erkenntnisse in der Messung von Mechanismen zu berichten und deren Anwendbarkeit auf Fragen des Arbeitsschutzes zu diskutieren. Die Verfahren EEG, MEG, fNIRS, Pupillometrie, EDA, endokrinologische und Blickbewegungs-Analysen, sowie KI, standen im Mittelpunkt.

## Inhalt

1	Einleitung .....	3
2	Das Projekt „Wirkung von Hintergrundschaall auf kognitive Leistungen bei der Arbeit. Systematische Exploration objektiver Verfahren zur Untersuchung der Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung“ (F2439): Hintergrund, Motivation, Projektidee.....	5
3	Wahrnehmungsbasierte Lärmdosimetrie im Alltag: Gehirn, Geräusche und Gesundheit .....	11
4	Geben Rhythmen im menschlichen Elektroenzephalogramm Aufschluss über die erlebte Höranstrengung? .....	14
5	Nutzbarkeit der Herzfrequenzvariabilität für Messungen bei lärmbezogenen Beanspruchungen am Arbeitsplatz .....	17
6	Die elektrodermale Aktivität als Parameter für die objektive Beanspruchungsmessung unter Lärm.....	21
7	Neuroergonomie am Arbeitsplatz: Mobiles EEG zur Messung kognitiver Beanspruchung in naturalistischen Umgebungen .....	26
8	Biologische (endokrinologische) Stressmarker zur Beanspruchungsmessung bei Lärm am Arbeitsplatz .....	32
9	Messung des lokalen Energieverbrauchs im Gehirn mit Hilfe der funktionellen Nah-Infrarotspektroskopie (fNIRS).....	37
10	Ansatz zur multimodalen Datenverarbeitung physiologischer Vitalparameter mittels maschinellen Lernens zur Abschätzung des subjektiven Lärm- und Stressempfindens .....	43
11	Die Abschätzung kognitiver Beanspruchung mittels Blickbewegungsmessung.....	47
12	Funktionelle Magnetresonanztomographie – Kandidat für die Lärmwirkungsforschung? .....	51
13	Beanspruchung durch Lärm am Arbeitsplatz Gibt es Evidenzen für eine Fehlregulation des endokrinen Stresssystems?.....	54
14	Maschinelles Lernen in der Analyse des Elektroenzephalogramms zur Diagnostik psychischer Beanspruchung.....	58
15	Kognitive Anstrengung: kognitionspsychologische Grundlagen und Konzepte .....	62
16	Diskussionspunkte und Aussicht auf die quantitative Lärmwirkungsforschung.....	68