

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Die Bedeutung des Kontextes von mentaler Anstrengung für die mentale
Erschöpfung

verfasst von | submitted by

Michael Paefgen BSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 840

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Psychologie

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Veronika Job Sutnar

Inhalt

Abstract (Deutsch)	4
Abstract (English)	5
Einleitung	6
Mentale Anstrengung.....	7
Anstrengungsaversion.....	8
Veränderbarkeit der Anstrengungsbereitschaft.....	11
Anstrengung und Leistung.....	13
Effort-Reward Imbalance Model	16
Mentale Erschöpfung.....	21
Ein motivationales oder biologisches Phänomen?	21
Intrinsische Motivation und Erschöpfung	25
Forschungsfrage	27
Methoden.....	31
Stichprobe.....	31
Design	32
Ablauf	33
Maße und Materialien.....	34
Aufgabe 1 - N-Back-Task.....	34
Aufgabe 2 – Math-Effort-Task (MET)	36
Maß 1 - Pre-Ejection-Period (PEP).....	37

Maß 2 - Erschöpfungsfragebogen	38
Maß 3 – Fragebogen zum mathematischen Selbstkonzept.....	40
Datenanalyse	41
Ergebnisse	42
Voraussetzungen.....	42
Phase 1 (N-Back-Task).....	45
Explorative Analysen.....	49
Phase 2 (MET)	51
Explorative Analysen.....	55
Diskussion	56
Interpretation und Einordnung	58
Limitationen	61
Zukünftige Forschung.....	65
Praktische Implikationen	66
Literaturverzeichnis	68

Abstract (Deutsch)

Welche Rahmenbedingungen mentaler Anstrengung lassen eine niedrigere mentale Erschöpfung erwarten? Vor dem Hintergrund dieser grundlegenden Frage wurde in diesem Experiment untersucht, ob niedrigere Imbalancen von mentaler Anstrengung und Belohnung sowie eine höhere intrinsische Motivation zu mentaler Anstrengung mit einem niedrigeren Anstieg der mentalen Erschöpfung einhergehen. Hierzu absolvierten Psychologiestudenten ($N = 186$) in Phase 1 eine Arbeitsgedächtnisaufgabe, bei der Gruppe 1 für ihre mentale Anstrengung, gemessen über das kardiovaskuläre Maß der Pre-Ejection-Period, belohnt wurde und Gruppe 2 für ihre Leistung. Anschließend durchliefen in Phase 2 beide Gruppen eine belohnungsfreie Kopfrechenaufgabe. Die mentale Erschöpfung wurde mittels Fragebogen direkt nach den Aufgabenphasen sowie zu Beginn als Baseline gemessen, jeweils aufgeteilt in die generelle und die motivationale Erschöpfung. Die Erschöpfungsveränderungen über die jeweiligen Aufgabenphasen stellten dabei die abhängigen Variablen dar. Die Regressionsanalyse zeigt in Phase 1 einen signifikanten Haupteffekt von Gruppe (mit Anstrengung als weiterem Prädiktor). Gegenteilig den Hypothesen kam es jedoch in Gruppe 1 zu einem stärkeren Anstieg von genereller sowie motivationaler Erschöpfung. Als Grund hierfür wird unter anderem diskutiert, dass Gruppe 1 ihre Belohnungssystematik nur begrenzt erfasste, was wahrscheinlich zu frustrierenden Gefühlen von Unklarheit und fehlender Kontrolle über den Erhalt von Belohnungen führte. Dass objektiv gleiche Anstrengungen zu unterschiedlicher Erschöpfung führten, spricht dafür, dass mentale Erschöpfung einen motivationalen beziehungsweise nicht-biologischen Anteil aufweist. Als Limitationen der Studie werden insbesondere mögliche Problematiken im Rahmen der physiologischen Anstrengungsmessung thematisiert.

Schlagworte: Mentale Anstrengung, mentale Erschöpfung, Anstrengungs-Belohnungs-Imbalance, intrinsische Motivation

Abstract (English)

What conditions of mental effort can be expected to result in lower mental fatigue? In light of this fundamental question, this experiment investigated whether lower imbalances between mental effort and reward, as well as higher intrinsic motivation for mental effort, are associated with a lower increase in mental fatigue. In the study, psychology students (N = 186) completed a working memory task in phase 1, in which group 1 was rewarded for their mental effort, gauged via the cardiovascular measure of pre-ejection period, and group 2 was rewarded for their performance. Subsequently, in phase 2, both groups completed a reward-free mental arithmetic task. Mental fatigue was measured using a questionnaire immediately after the task phases and at the beginning as a baseline, each time divided into general and motivational fatigue. The changes in fatigue over the respective task phases represented the dependent variables. The regression analysis shows a significant main effect of group in phase 1 (with effort as additional predictor). Contrary to the hypotheses, however, there was a greater increase in general and motivational fatigue in group 1. One reason discussed is that group 1 only grasped the background of their rewards to a limited extent, which probably led to frustrating feelings of a lack of clarity and control over receiving rewards. That objectively equal efforts led to different levels of fatigue suggests that mental fatigue has a motivational / non-biological component. As limitations of the study, possible problems in the context of the physiological effort measurement are particularly discussed.

Keywords: Mental effort, mental fatigue, effort-reward imbalance, intrinsic motivation

Einleitung

Jeder kennt das Gefühl, wenn die Bearbeitung einer Aufgabe auslaugend war und viel Energie kostete. Genauso gibt es jedoch herausfordernde Aufgaben, aus denen wir energetisiert hervorgehen. Dies können beispielsweise Aufgaben sein, die uns sehr interessieren oder, wo wir unsere Stärken einbringen können. Die gegenwärtige Studie soll die Hintergründe dieser Erlebensdiskrepanzen beleuchten und untersuchen, ob zwei spezifische Arbeits-/Aufgabencharakteristika uns investierte mentale Anstrengungen als weniger belastend empfinden lassen. Bei den hier untersuchten Aufgabencharakteristika handelt es sich um die Anstrengungs-Belohnungs-Imbalance sowie die intrinsische Anstrengungsmotivation. Die Frage der Untersuchung ist, ob eine bessere Passung von erhaltenen Belohnungen zur investierten Anstrengung sowie eine höhere zugrundeliegende intrinsische Anstrengungsmotivation dazu führen, dass die resultierende mentale Erschöpfung niedriger ausfällt. Die Untersuchung soll Aufschlüsse darüber liefern, wie beim Investieren von mentaler Anstrengung sein vermeintlicher Gegenspieler, die mentale Erschöpfung, weniger ins Spiel kommt und Anstrengungen demnach eher investiert beziehungsweise aufrechterhalten werden. Die beiden Gruppen des Experiments werden hierzu bei einer Gedächtnisaufgabe entweder für ihre Anstrengung oder ihre Leistung belohnt. Es wird erwartet, dass größere Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen in der Gruppe der leistungsgebundenen Belohnung zu einem stärkeren Erschöpfungsanstieg führen. Zudem soll in der Gruppe der anstrengungsgebundenen Belohnung eine höhere intrinsische Anstrengungsmotivation aufgebaut werden, sodass Anstrengungen in einer nachfolgenden, belohnungsfreien Kopfrechenaufgabe als weniger belastend empfunden werden und demnach abermals mit einem niedrigeren Erschöpfungsanstieg einhergehen.

Mentale Anstrengung

Obwohl der Begriff der Anstrengung im alltäglichen Leben gängig verwendet wird und ein geteiltes Verständnis darüber zu existieren scheint, gehen die Begriffsdefinitionen in der Wissenschaft teils stark auseinander (Cooman et al., 2009). Dem Laienverständnis nach kann Anstrengung wohl als etwas wie Bemühung, Kraftaufwand oder Einsatz charakterisiert werden ([Duden-Definition von Anstrengung], o. D.). In Forscherkreisen jedoch variieren die Meinungen, was unter Anstrengung zu verstehen beziehungsweise wie diese am besten zu definieren sei. Westbrook und Braver (2015) umschreiben Anstrengung grob als das Ausmaß an Engagement bei einer herausfordernden Aufgabe. Aus einer funktionalen Perspektive definieren Shenhav et al. (2017) Anstrengung als Mediator zwischen gegebenen Aufgabencharakteristiken, dem individuellen Leistungsvermögen der Person und der resultierenden Leistung. Szekeli und Michael (2021) sehen einen engen Zusammenhang von mentaler Anstrengung und kognitiver Kontrolle. Dabei verstehen sie mentale Anstrengung als den Grad an eingesetzter kognitiver Kontrolle, um Ruheprozesse zu inhibieren oder modifizieren, um die Leistung bei einer Aktivität zu erhöhen. Mit dem Anspruch einer möglichst basalen und selbstständigen Definition wird (mentale) Anstrengung in der gegenwärtigen Studie wie folgt aufgefasst: (Mentale) Anstrengung ist die Mobilisierung von Ressourcen zum Initiieren, Aufrechterhalten und/oder Intensivieren von (mental) Aktivitäten (Brehm & Self, 1989; Gaillard, 2001). Zumal ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchung eine erhoffte Steigerung der intrinsischen Anstrengungsmotivation ist, soll im Folgenden zunächst die grundsätzliche menschliche Haltung zu Anstrengung dargelegt werden.

Anstrengungsaversion

In weiten Kreisen der Wissenschaft besteht die Ansicht, dass Menschen sich nur so stark anstrengen wie sie es müssen, also nur so viele Ressourcen mobilisieren, wie für die Erreichung eines Verhaltenszieles nötig sind (unter anderem Brehm & Self, 1989). Zusammengefasst wird dies unter dem Begriff der Anstrengungsaversion. Zurückgehend bis hin zum *Gesetz der minimalen Anstrengung* von Hull (1943) hat sich in verschiedenen Disziplinen wie den Neurowissenschaften, der Psychologie oder den Wirtschaftswissenschaften zunehmend die Idee ausgebreitet, dass Anstrengung etwas ist, was Menschen zu vermeiden suchen (Kool et al., 2010; Shenhav et al., 2017, Westbrook & Braver, 2015). Unterstützung für die Existenz einer Anstrengungsaversion kommt unter anderem von Forschern wie David et al. (2024), welche in ihrer Meta-Analyse einen starken positiven Zusammenhang von mentaler Anstrengung und negativem Affekt berichten. Sie zogen hierzu Studien mit verschiedensten Bevölkerungsgruppen (unter anderem Personal aus dem Gesundheitswesen, Studenten, Sportler) sowie verschiedensten Aufgaben heran, welche jedoch stets (auch) mentale Anstrengung erforderten. Gemein hatten alle diese Studien zudem, dass sie Anstrengung und Affekt sowohl direkt nach der Bearbeitung einer einzelnen Aufgabe als auch mit derselben Skala maßen, dem NASA Task Load Index (Hart, 2006). Dieser besteht aus 6 Items, wobei David et al. für ihre Meta-Analyse die beiden Items für Anstrengung (“How hard did you have to work to accomplish your level of performance?” = „Wie sehr mussten Sie sich anstrengen, um Ihre Leistungen zu erreichen?“) und Frustration (“How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?” = „Wie unsicher, entmutigt, gereizt, gestresst und verärgert waren Sie?“) heranzogen. Die Antworten wurden zumeist auf einer visuell-analogen Skala mit 20 gleichbreiten Intervallen und den Skalenendpunkten *sehr wenig* bis *sehr viel* gegeben (David et al., 2024; Hart, 2006).

Neben dem Gefühl, welches mit dem Investieren von Anstrengung einhergeht, lieferten insbesondere Untersuchungen hinsichtlich anstrengungsbasierter Entscheidungsprozesse Evidenz für das Phänomen der Anstrengungsaversion. In diesem Kontext sind vor allem die Studien von Kool et al. (2010), bestehend aus sechs Verhaltensexperimenten, anzuführen. Kool et al. verwendeten Aufgaben, bei denen Personen wiederholt zwischen zwei Handlungsmöglichkeiten unterschiedlicher kognitiver Anforderung wählen mussten. Die Versuchspersonen präferierten hierbei klar jene Optionen, die mit dem geringeren kognitiven Aufwand einhergingen. Wichtig ist anzuführen, dass die gezeigte Tendenz nicht vollständig auf andere Ursachen wie zum Beispiel das Versuchen zur Minimierung der Bearbeitungszeit zurückgeführt werden konnte.

Auch einflussreiche Theorien gehen davon aus, dass der Mensch eine Aversion gegenüber Anstrengung besitzt, wie zum Beispiel die Motivational Intensity Theory von Brehm und Self (1989). Richter et al. (2016) beschreiben in ihrem umfangreichen Review Studienergebnisse aus 30 Jahren Forschung zur Theorie von Brehm und Self und zeigen, dass der Großteil der Studien im Einklang mit den zentralen Prämissen der Theorie steht. Die Motivational Intensity Theory besagt, dass wir nur so viel Anstrengung für eine Aufgabe investieren wie zur Zielerreichung nötig. Bei steigender Aufgabenschwierigkeit strengen wir uns somit mehr an, jedoch nur, wenn a) wir die Überzeugung haben, die Aufgabe erfolgreich bewältigen zu können und b) das Ergebnis beziehungsweise die Belohnung die Anstrengung rechtfertigt. Sind a) oder b) nicht gegeben, so stellen wir jegliche Anstrengung ein. Die Motivational Intensity Theory macht daher Aussagen darüber, wie sehr sich Menschen in unterschiedlichen Situationen anstrengen und unter welchen Bedingungen wir Anstrengung unterlassen. Gesamt betrachtet wurde das Phänomen der Anstrengungsaversion somit bereits aus vielfältigen Perspektiven beleuchtet, und es kann berechtigterweise von einer Existenz dessen ausgegangen werden.

Eine zentrale, noch offene Frage ist, woher die scheinbare Anstrengungsaversion stammt? Hierbei gibt es zwei Perspektiven. Die eine geht von einer natürlichen, also einer dem Menschen inhärenten Anstrengungsaversion aus. Vertreter dieser Ansicht begründen ihren Standpunkt insbesondere mit der evolutionären Perspektive, wonach das Investieren von Anstrengung aversiv sein *solle*. So sei es sinnvoll, wenn wir auf natürliche Weise dazu angehalten werden, unsere begrenzten Ressourcen zu schonen und nur so viel als nötig an Anstrengung für unsere Ziele zu investieren (David et al., 2024; Szekeli und Michael, 2021).

Die zweite Perspektive in Bezug auf die Hintergründe der Anstrengungsaversion geht davon aus, dass sich die Aversion (zumindest zu einem Teil) durch Lernerfahrungen herausgebildet hat. Dies hängt mit der Tatsache zusammen, dass schwierige Aufgaben, welche von uns höhere Anstrengungen verlangen, auch mit einer höheren Misserfolgswahrscheinlichkeit einhergehen und daher in vielen Fällen zu keiner beziehungsweise einer niedrigeren Belohnung führen (Atkinson, 1957; Brehm & Self, 1989). Die ausbleibenden beziehungsweise niedrigeren Belohnungen sind darauf zurückzuführen, dass wir in der Regel für unsere Leistung und nicht unsere Anstrengung belohnt werden. Dies ist unter anderem in der Bildungslaufbahn der Fall, wo verbale Belohnungen in Form von Lob von Eltern und Lehrern in der Regel auf Basis der erzielten Note gegeben werden. Aber auch im Berufsleben orientieren sich Belohnungen wie Beförderungen oder Bonuszahlungen meist an gezeigten Leistungen. Inwiefern Anstrengung und Leistung als zwei getrennte Konzepte zu betrachten sind, wird im Abschnitt *Anstrengung und Leistung* näher erläutert. Zusammenfassend geht die lerntheoretische Perspektive somit davon aus, dass wir in unserem Leben vielfältige Erfahrungen machen, in denen wir hohe Anstrengungen mit einer höheren Misserfolgswahrscheinlichkeit und damit niedrigeren Belohnungen assoziieren und deshalb eine Anstrengungsaversion entwickeln (Clay et al., 2022).

Der lerntheoretischen Perspektive folgend stellt sich nun die Frage, ob wir die Anstrengungsaversion auch wieder „zurücklernen“ können. Dass das Investieren von Anstrengung also als weniger aversiv beziehungsweise womöglich sogar als positiv erlebt wird. Darum wird es im nächsten Abschnitt gehen.

Veränderbarkeit der Anstrengungsbereitschaft

Ein zentraler Review im Kontext der Veränderbarkeit der Anstrengungsbereitschaft stammt von Eisenberger (1992). In diesem beschreibt er eine Vielzahl an Studien, welche seine Theorie der Learned Industriousness (= erlernter Fleiß) stützen, wonach das Belohnen von hoher Anstrengung gegenüber dem Belohnen von niedrigerer Anstrengung zu einer generell höheren Anstrengungsbereitschaft führt. In seinem Review, welcher großteils auf Tierexperimenten und Untersuchungen mit Kindern basiert, thematisiert Eisenberger, wie Tiere beziehungsweise Kinder bei Aufgaben mehr Anstrengung investieren, wenn sie sich bei einer vorherigen, belohnungsverknüpften Aufgabe mehr anstrengen mussten. Beispielsweise zeigte sich in einer Untersuchung von Eisenberger et al. (1979), dass Ratten, welche eine Belohnung für das fünfmalige Hin- und Herrennen eines Weges erhielten, sich in einer darauffolgenden Aufgabe mehr anstrebten (einen Hebel mit mehr Kraft drückten) als Ratten, die für das einmalige Hin- und Herrennen des Weges belohnt wurden. Gesamt betrachtet liefert Eisenberger (1992) wichtige Indizien, dass die grundlegende Anstrengungsbereitschaft moduliert werden kann. Hinsichtlich des Großteils der Studien in seinem Review kann jedoch angeführt werden, dass die Wirkungsursache eine aufgebaute Assoziation wie „Ich werde nur dann belohnt, wenn ich mich sehr anstrengte“ sein könnte. Dies lässt wiederum offen, ob größere Anstrengungen nur deshalb investiert wurden, um die Wahrscheinlichkeit einer möglichen Belohnung zu erhöhen, oder, ob unabhängig von einer möglichen Belohnung mehr Anstrengung investiert werden *wollte*. Rückschlüsse auf die Wurzeln der Anstrengungsaversion sind somit kaum möglich, zumal sich die Ergebnisse mit der

Perspektive einer inhärenten Anstrengungsaversion vereinbaren lassen. Die gesteigerte Anstrengungsbereitschaft wäre demnach lediglich ein sinnvoller Anpassungsmechanismus, da gelernt wurde, dass höhere Anstrengungen Vorteile mit sich bringen (extrinsische Motivation). Die Untersuchung der Frage, inwiefern die intrinsische Motivation zu Anstrengung moduliert werden kann, rückte insbesondere in den letzten Jahren in den wissenschaftlichen Fokus.

Ein wesentliches Experiment mit Blick auf die Veränderbarkeit der intrinsischen Motivation zu Anstrengung stammt von Clay et al. (2022). Unter intrinsisch motiviertem Verhalten wird allgemein das Ausführen eines Verhaltens um seiner selbst willen beziehungsweise aufgrund der dem Verhalten immanenten Befriedigung verstanden. Demgegenüber erfolgt die Ausführung extrinsisch motivierten Verhaltens in dem Bestreben bestimmte Ergebnisse zu erreichen wie beispielsweise dem Erhalt von Belohnungen oder dem Entgehen von Bestrafungen (Deci & Ryan, 1985; Ryan & Deci, 2000). Die erste Phase des Experiments von Clay et al. bestand aus einem Gedächtnistest, bei welchem die Versuchspersonen wiederholt entweder für ihre investierte Anstrengung oder nach Zufall monetär belohnt wurden. Die mentale Anstrengung wurde hierbei über kardiovaskuläre Maße erfasst. Anschließend wurde die Anstrengungsbereitschaft der Personen in der zweiten Phase (Kopfrechenaufgaben) mittels der von ihnen ausgewählten Aufgabenschwierigkeiten erhoben. Den Personen wurde vor der zweiten Phase mitgeteilt, dass sie keinerlei Belohnungen mehr erhalten werden. Trotz des fehlenden Anreizes sich anzustrengen, zeigte sich, dass die Gruppe der Personen, welche in der ersten Phase für ihre investierte Anstrengung belohnt wurden, höhere Aufgabenschwierigkeiten auswählte als die Kontrollgruppe. Als Begründung für diesen Effekt führen Clay et al. an, dass sie in der Gruppe der anstrengungsgebundenen Belohnung die Präferenz beziehungsweise die intrinsische Motivation zu Anstrengung erhöhten, indem sie Anstrengung in der ersten Phase

mit etwas Positivem assoziierten. Entscheidend in Abgrenzung zu Eisenberger (1992) ist, dass die Anstrengungsbereitschaft in einer Situation gemessen wurde, in der es den Versuchspersonen klar war, dass es keinerlei Vorteil für sie haben wird, wenn sie sich mehr anstrengen. Dass sie dennoch bereit waren mehr Anstrengung zu investieren, deutet bei fehlender extrinsischer Motivation darauf hin, dass die intrinsische Motivation zu Anstrengung erhöht wurde. Die Ergebnisse von Clay et al. zeigen, dass auch die intrinsische, uns innewohnende Bereitschaft zur Anstrengung moduliert werden kann und schüren somit Zweifel hinsichtlich der verbreiteten Annahme einer natürlich gegebenen, inhärenten Anstrengungsaversion des Menschen. Vielmehr deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Anstrengungsaversion zumindest teilweise eine erlernte ist.

Wie in der Einleitung bereits beschrieben, wird zur Modulierung der generellen Anstrengungsbereitschaft im Rahmen dieser Untersuchung mit Belohnungen gearbeitet, ähnlich der Studie von Clay et al. (2022). In Abgrenzung zu Clay et al. wird diesmal jedoch die eine Gruppe des Experiments für ihre Anstrengung belohnt und die andere für ihre *Leistung*. Inwiefern diese Differenzierung sinnvoll ist und demnach gerechtfertigt ein unterschiedlicher Einfluss auf die generelle Anstrengungsbereitschaft erwartet werden kann, wird im folgenden Abschnitt behandelt.

Anstrengung und Leistung

In vielen Bereichen menschlichen Lebens erwarten wir einen starken Zusammenhang von Anstrengung und Leistung. Dieser Abschnitt dient dazu, das tatsächliche Ausmaß des Zusammenhangs von mentaler Anstrengung und Leistung in zwei zentralen Lebensbereichen, Arbeit und Bildung, zu quantifizieren.

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass Anstrengung und Arbeitsleistung positiv miteinander korrelieren, allerdings nicht so stark wie möglicherweise erwartet. In ihrer

kürzlich durchgeführten Meta-Analyse bezogen Van Iddekinge et al. (2023) 62 Studien mit insgesamt 12.219 Personen ein, um den Zusammenhang zwischen Anstrengung am Arbeitsplatz und der Arbeitsleistung zu berechnen. Sie fanden hierbei einen Zusammenhang von $\rho = .34$. In allen 62 Studien wurde die Leistung von einer anderen Person (Vorgesetzter, Mitarbeiter oder Kunde) bewertet, und die Anstrengung wurde entweder selbst oder von einer anderen Person eingeschätzt. Da die Korrelation bei Bewertung von sowohl Anstrengung als auch Leistung durch dieselbe Person ungewöhnlich hoch war, stammen in allen 62 Studien die Bewertungen von Anstrengung und Leistung von zwei verschiedenen Personen. Der gefundene Zusammenhang zeigt, dass die geleistete Anstrengung nur etwa 10 % der Leistungsvarianz erklärt. Dies harmoniert mit einer weiteren Meta-Analyse von Van Iddekinge et al. (2018), wonach der Großteil (etwa 60%) der Arbeitsleistung durch kognitive Fähigkeiten erklärt wird. Der Begriff der kognitiven Fähigkeit wurde von den Autoren hierbei angesehen als die Fähigkeit, Informationen mental zu verarbeiten, zu verstehen und zu lernen. Insgesamt scheint es somit, dass der Großteil der Arbeitsleistung durch kognitive Fähigkeiten erklärt werden kann, während Anstrengung nur einen geringen Anteil ausmacht.

Ein quantitativ ähnlicher Zusammenhang zwischen Anstrengung und Leistung wurde im Bildungsbereich festgestellt. In einer Studie von Goodman et al. (2011) mit 260 Wirtschaftsstudenten korrelierte die selbstberichtete Anstrengung für das Studium mit dem Notendurchschnitt zu einem Grad von $r = .28$. Ähnliche Ergebnisse liefern Pu et al. (2020). In ihrer Studie mit 1893 Studenten verschiedener Fachrichtungen fanden sie einen Zusammenhang von .317 zwischen der Lernanstrengung (operationalisiert als die Aktivität im Kursverwaltungssystem wie z. B. die Anzahl der angesehenen Kursvideos oder die Gesamtzahl der heruntergeladenen Kursmaterialien) und der Note in der Abschlussprüfung des Kurses. Auch für den Zusammenhang zwischen der Anstrengung während eines Tests und dem erzielten Testergebnis liefern Silm et al. (2020) in ihrer Meta-Analyse ähnliche

Ergebnisse. Sie zogen hierbei 28 Studien mit Schülern und Studenten heran, wobei die Anstrengung auf Selbsteinschätzungen beruhte. Die Personen erhielten weder Noten auf die Tests noch hatten sie einen anderweitigen extrinsischen Anreiz für gute Leistungen, weshalb auch keine umfangreiche Vorbereitung auf die Tests erwartet wurde. Bei den Tests handelte es sich zumeist um standardisierte Tests (zum Beispiel Tests zum logischen Denken, Lese- und Rechtschreibtests oder der PISA-Test). Die schlussendlich resultierende Korrelation zwischen der investierten Anstrengung während des Tests und dem erzielten Testergebnis betrug $r = .33$. Somit deuten also auch die Forschungsergebnisse im Bildungskontext darauf hin, dass Anstrengung nur einen begrenzten Teil der Leistung erklärt. Jedoch muss erwähnt werden, dass bei den hier angeführten Studien mit subjektiv berichteter Anstrengung stets Verzerrungen möglich sind. Dass beispielsweise die Anstrengung für das eigene Kohärenzgefühl im Gleichklang mit der gezeigten beziehungsweise eingeschätzten Leistung angegeben wird oder auch bewusst niedriger deklariert wird, um auf ein höheres persönliches Leistungspotenzial hinzudeuten.

Abschließend kann festgehalten werden, dass basierend auf der bisherigen Forschung der Zusammenhang von mentaler Anstrengung und Leistung überschaubar ausfällt. Doch wie gestaltet sich nun die Beziehung von Anstrengung und Leistung? Der Zusammenhang lässt sich gut aus der Perspektive der Effizienz formulieren. Demnach ist Anstrengung eine notwendige, aber unzureichende Bedingung für Leistung, zumal Anstrengung nicht die Effizienz von Verhalten widerspiegelt. Dementsprechend erhöht nur ein zweckmäßiger, auf die erforderlichen Verhaltensweisen fokussierender Einsatz von Anstrengung die Leistung (Van Iddekinge et al., 2023). Zur Einordnung der in diesem Abschnitt beschriebenen Ergebnisse ist es zudem wichtig zu verstehen, dass diese den Zusammenhang von Anstrengung und Leistung in Menschengruppen, also interindividuell analysiert haben (Fragehintergrund: Welche Faktoren erklären Leistung?). Betrachtet man den Zusammenhang

intraindividuell (Fragehintergrund: Welche Faktoren erklären, inwiefern ein Individuum sein gegebenes, persönliches Leistungspotenzial ausschöpft?), erscheint eine größere Bedeutung von Anstrengung als wahrscheinlich. Zumal zum Beispiel kognitive Fähigkeiten einen maßgeblichen Einfluss auf das theoretische individuelle Leistungspotenzial haben dürften, jedoch in geringerem Umfang auf die Ausschöpfung dieses Potenzials.

Die beschriebene Diskrepanz von Anstrengung und Leistung hat unmittelbare Folgen. Im Abschnitt *Anstrengungsaversion* wurde bereits erläutert, dass wir in vielen Lebensbereichen vor allem für gezeigte Leistungen belohnt werden. Demnach kann es vorkommen, dass wir sehr viel Anstrengung in etwas investieren, aber keine Belohnungen erhalten, weil unsere letztendliche Leistung nicht ausreichend war. Wie sich eine derartige Imbalance aus Anstrengung und Belohnung auf uns auswirkt, ist Gegenstand des im nächsten Abschnitt behandelten Effort-Reward Imbalance Model von Siegrist (1996).

Effort-Reward Imbalance Model

Das von Siegrist (1996) entwickelte Modell thematisiert Diskrepanzen zwischen investierten Anstrengungen und resultierenden Belohnungen am Arbeitsplatz. Laut dem Modell wird bei einer anhaltenden Arbeitssituation mit hoher Anstrengung aber gleichzeitig niedriger Belohnung spürbar das Prinzip der Reziprozität verletzt, welches als essenzielles, evolutionär stabiles Prinzip menschlichen Austausches angesehen werden kann (Gouldner, 1960). Die Wahrnehmung dieser Reziprozitätsverletzung führt gemäß dem Modell wiederum zu Spannungszuständen, Unzufriedenheit und dem Auftreten von negativen Emotionen (zum Beispiel Wut), was langfristig mit gesundheitsschädlichen körperlichen Prozessen einhergeht. Bei der Modellentwicklung lag der Fokus speziell auf kardiovaskulären Erkrankungen, welche nachweislich häufiger auftraten, wenn eine beschriebene Reziprozitätsverletzung bestand (Kornitzer et al., 1982; Siegrist, 1996). Siegrist unterscheidet in seinem Modell, dass

eine von hoher Anstrengung gekennzeichnete Arbeitssituation sowohl durch extrinsische Faktoren (zum Beispiel mehr Aufgaben, heraufgesetzte Standards / höhere Erwartungshaltungen) als auch durch intrinsische Faktoren (zum Beispiel ein starkes Kontrollbedürfnis, ein Hang zum Perfektionismus, ein ausgeprägtes Bedürfnis nach Bestätigung) resultieren kann. Die intrinsischen Bedingungsfaktoren für hohe Anstrengung wurden nach einer explorativen und einer konfirmatorischen Faktorenanalyse von Hanson et al. (2000) unter der Bezeichnung der übermäßigen Hingabe (*overcommitment*) zusammengefasst. Unter dem Begriff der Belohnungen (*rewards*) subsumiert Siegrist das Gehalt, die Wertschätzung, die Jobsicherheit und die Karrieremöglichkeiten. Bei *low reward* ordnet Siegrist demnach beispielsweise Arbeitsplätze ein, welche als sehr unsicher empfunden werden. In Abbildung 1 sind die Zusammenhänge der zentralen Komponenten des Modells veranschaulicht:

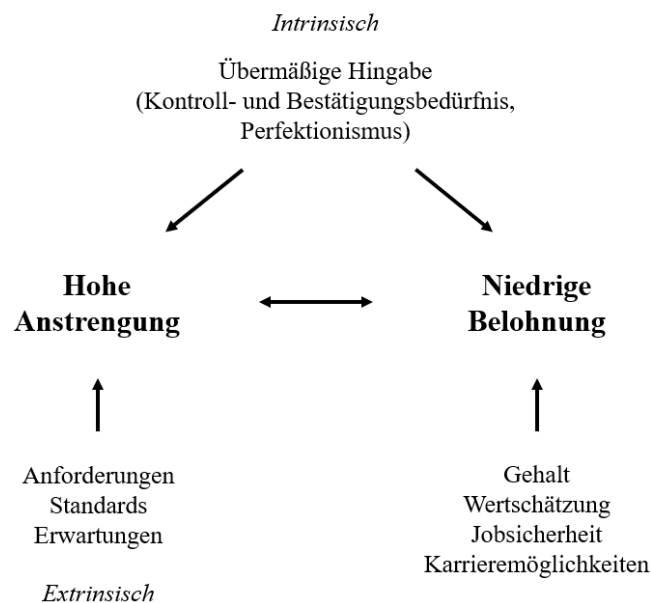


Abbildung 1. Effort-Reward Imbalance Model (Siegrist, 1999).

Das Modell der Effort-Reward Imbalance wird durch eine Vielzahl an Studien untermauert. Zur Beurteilung des Ausprägungsgrads von Anstrengung und Belohnung greifen die nachfolgend aufgeführten Studien dabei zumeist auf den von Siegrist et al. (2004) entwickelten Fragebogen zur Messung von Effort-Reward Imbalance beziehungsweise (in die Landessprache übersetzte) Versionen davon zurück. Der Fragebogen enthält fünf Items zur Erhebung der Anstrengung (zum Beispiel „I have constant time pressure due to a heavy work load“ = „Ich habe aufgrund einer hohen Arbeitslast konstanten Zeitdruck“), elf Items zur Erfragung der Belohnungssituation, wobei diese in die Belohnungskomponenten Wertschätzung (zum Beispiel „I receive the respect I deserve from my colleagues“ = „Ich bekomme den Respekt von meinen Kollegen, den ich verdiene“), Jobsicherheit (zum Beispiel „My job security is poor“ = „Meine Jobsicherheit ist niedrig“) und Karrieremöglichkeiten (zum Beispiel „My current occupational position adequately reflects my education and training“ = „Meine aktuelle berufliche Position spiegelt meine Ausbildung und Qualifikationen adäquat wider“) aufgeteilt sind, sowie sechs Items zur Evaluierung der übermäßigen Hingabe (zum Beispiel „I get easily overwhelmed by time pressures at work“ = „Zeitdruck in der Arbeit überfordert mich schnell“). Die Items für Anstrengung und Belohnung haben eine Antwortskala von 1 (trifft nicht zu), 2 (trifft zu, aber ich fühle mich dadurch nicht gestresst), 3 (trifft zu und ich fühle mich dadurch etwas gestresst), 4 (trifft zu und ich fühle mich dadurch gestresst) bis 5 (trifft zu und ich fühle mich dadurch sehr gestresst), wobei diese je nach Valenz des Items gegebenenfalls invers kodiert sind. Die Punktzahlen werden sowohl auf der Anstrengungs- als auch der Belohnungsdimension zu einer Summe addiert. Auf der Anstrengungsdimension entspricht eine Summe von 5 dem niedrigsten und eine Summe von 25 dem höchsten Stresslevel, wohingegen auf der Belohnungsdimension eine Summe von 11 den niedrigsten Belohnungen und damit dem höchsten Stresslevel entspricht sowie eine Summe von 55 den höchsten Belohnungen und

damit dem niedrigsten Stresslevel. Zur Ermittlung der Balance beziehungsweise Imbalance aus Anstrengung und Belohnung wird anschließend folgende Formel verwendet: $e/(r*c)$, wobei e der Summe auf der Anstrengungsskala entspricht, r der Summe auf der Belohnungsskala und c ein Korrekturfaktor für die unterschiedliche Anzahl an Items in den beiden Skalen ist. Bei fünf zugrundeliegenden Items im Zähler und elf im Nenner liegt der Korrekturfaktor c bei $5/11 = 0.454545$. Resultiert aus der Formel ein Wert gegen null, so spricht dies für ein günstiges Verhältnis von Anstrengung zu Belohnung (für die angegebene Anstrengung verhältnismäßig hohe Belohnungen = wenn überhaupt, eine sehr geringe Imbalance). Werte über eins sprechen hingegen für das Vorliegen einer (relevanteren) Anstrengungs-Belohnungs-Imbalance (für die angegebene Anstrengung verhältnismäßig niedrige Belohnungen). Die Werte auf dem Faktor der übermäßigen Hingabe (*overcommitment*) sind für die reine Berechnung der Anstrengungs-Belohnungs-Imbalance nicht notwendig, sondern werden als interagierender Faktor in weiterführende Analysen miteinbezogen (Siegrist et al., 2004).

Insbesondere die zentrale Hypothese, dass Mitarbeiter, bei denen eine Imbalance aus Anstrengungen und Belohnungen besteht, einem Gesundheitsrisiko ausgesetzt sind, wird durch mehrere Reviews und Meta-Analysen gestützt (Dragano et al., 2017; Rugulies et al., 2017; Van Vegchel et al., 2005). Dabei zeigte sich, dass derartige Imbalancen sowohl mit physischen Gesundheitsfaktoren (insbesondere kardiovaskuläre Erkrankungen und deren Symptome) als auch mit psychischen Gesundheitsfaktoren (beispielsweise Depressionen, psychosomatische Erkrankungen, Wohlbefinden am Arbeitsplatz) zusammenhängen. Siegrist selbst sieht eine bestehende Imbalance aus Anstrengung und Belohnung letztendlich als Arbeitsstressor an und begründet die gefundenen, negativen Gesundheitsauswirkungen unter anderem mit den Effekten von chronischem Stress (Siegrist und Li, 2016).

Auch bezüglich des für diese Studie relevanten Zusammenhangs von Anstrengung und Erschöpfung deuten Studien in verschiedensten Kontexten darauf hin, dass ein höheres Verhältnis von Anstrengung zu Belohnung erschöpfungsverstärkend wirkt. Einen wichtigen Anhaltspunkt liefert eine großangelegte Studie mit über 20.000 Mitarbeitern eines französischen Elektrizitäts- und Gasversorgers. Aus dieser wird ersichtlich, dass höhere Belohnungen mit niedrigerer mentaler als auch körperlicher Erschöpfung assoziiert sind (Sembajwe et al., 2012). In dieselbe Richtung geht das Ergebnis einer Studie von Fahlen et al. (2006) mit Angestellten aus verschiedensten Branchen. Die Analyse ergab eine Odds Ratio für Erschöpfung von 2,5 für die Personen im vierten Quartil der Anstrengungs-Belohnungs-Imbalance (höchstes Verhältnis von Anstrengung zu Belohnung) gegenüber den Personen im ersten Quartil. Fukuda et al. (2010) knüpfen hieran mit ihrer Studie im Schulkontext an und stellten fest, dass eine Anstrengungs-Belohnungs-Imbalance in Bezug auf Lernen bei Schülern beider Geschlechter im Altersbereich von 9-15 Jahren mit höherer Erschöpfung assoziiert ist. Den Begriff der Belohnung im Rahmen des Lernens fassten Fukuda et al. hierbei nicht als die erzielten Noten, sondern als die empfundene Belohnung durch das Lernen selbst auf. Weitere Unterstützung liefern eine Untersuchung von Montoro et al. (2022) mit Frachtfahrern sowie eine Studie von Liu et al. (2020) mit Krankenschwestern, welche beide zeigten, dass die Erschöpfung durch Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen vorhergesagt werden konnte. Neben Querschnittsstudien wurde auch in einer Längsschnittstudie der Zusammenhang von Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen und Erschöpfung verdeutlicht. So untersuchten Leineweber et al. (2021) über einen Zeitraum von vier Jahren hinweg (2014 bis 2018) an drei Messzeitpunkten die Imbalance-Ausprägung sowie die Erschöpfung von 7375 Personen in einem bezahlten Angestelltenverhältnis. Leineweber et al. konnten nachweisen, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausprägungsgrad der Imbalance sowie der Erschöpfung zwei Jahre später besteht (die erste

Messung erfolgte 2014, die zweite 2016 und die dritte 2018). Höhere Imbalancen gingen demnach mit höheren Erschöpfungswerten zwei Jahre später einher. Insgesamt sprechen somit eine Reihe von Studien, sowohl quer- als auch längsschnittlicher Natur, für einen Zusammenhang von Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen und Erschöpfung.

Mentale Erschöpfung

Das zweite Kernkonstrukt des Experiments neben der mentalen Anstrengung stellt die mentale Erschöpfung dar. Doch was genau ist mentale Erschöpfung? Hierbei ist sich die Wissenschaftsgemeinde nach über 100 Jahren der Forschung immer noch uneinig, und die Definitionen gehen teilweise weit auseinander (Hassan et al., 2024; Hockey, 2011). An welchen Punkten die Ansichten der Forscher zu mentaler Erschöpfung divergieren, wird in Teilen in den nächsten Abschnitten diskutiert. Im Rahmen dieser Studie wird mentale Erschöpfung als ein Zustand begriffen, welcher durch anhaltende, herausfordernde kognitive Aktivität entsteht und insbesondere von subjektiven Gefühlen der Energielosigkeit und Müdigkeit gekennzeichnet ist (Marcora et al., 2009). Dieser Auffassung folgend kann das im ersten Teil behandelte Konstrukt der mentalen Anstrengung als Antezedent mentaler Erschöpfung angesehen werden (siehe auch Earle, 2004; Hockey, 2011; Lorist et al., 2000), wobei die Auswirkungen auf die mentale Erschöpfung, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, unter anderem durch Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen moduliert werden können. Für eine Auseinandersetzung mit dem Phänomen der mentalen Erschöpfung ist zunächst ein Verständnis für die Entstehungshintergründe von Bedeutung.

Ein motivationales oder biologisches Phänomen?

In der Wissenschaftsgemeinde herrscht Uneinigkeit darüber, inwiefern mentale Erschöpfung motivational oder biologisch begründet ist. Der biologischen Perspektive nach verbrauchen wir bei mentaler Aktivität Ressourcen unseres Gehirns, was zu (tatsächlicher)

Erschöpfung und zunehmenden Leistungseinbußen führt (Gergelyfi et al., 2015; Müller & Apps, 2019). Der motivationalen Perspektive nach entsteht lediglich ein Gefühl von Erschöpfung, welches uns zum Aufsuchen anderer, potenziell belohnungsreicherer Verhaltensweisen motivieren soll, gleichwohl wir weiterhin zur Aufrechterhaltung unserer Leistung im bisherigen Verhaltenskontext in der Lage wären (Botvinick & Braver, 2014; Hockey, 2011).

Zumal mentale Erschöpfung kaum direkt und objektiv gemessen werden kann, greifen Forscher zur Beurteilung dieser häufig auf gezeigte Leistungsveränderungen zurück und schlussfolgern aus diesen den Grad an Erschöpfung (Gergelyfi et al., 2015). Dieses indirekte Maß besitzt auf Grundlage diverser Studienerkenntnisse Legitimität. So kann die Erkenntnis, dass eine zunehmende mentale Erschöpfung zu Leistungsver schlechterungen bei kognitiven Aufgaben führt, als etabliert angesehen werden (Kurzban et al., 2013; Pattyn et al., 2018). Ein oftmals verwendeter Aufgabentyp, welcher zur Untersuchung mentaler Erschöpfung herangezogen wird, sind Reaktionszeitaufgaben, zumal diese ein hohes Maß an Objektivität bieten (Buck, 1966; Canisius & Penzel, 2007). In diesen wurde wiederholt festgestellt, dass mentale Erschöpfung mit verlangsamten Reaktionszeiten einhergeht (Boksem et al., 2005; Fard et al., 2019). Als Erklärungsansätze für den Zusammenhang von mentaler Erschöpfung und Leistung werden unter anderem die für erschöpfte Personen typischen Schwierigkeiten bezüglich Konzentration und Aufmerksamkeitsfokussierung vorgebracht (Boksem et al., 2005). Zudem zeigten Lorist et al. (2005) in ihrer Studie, dass erschöpfte Personen schlechtere Fähigkeiten hinsichtlich der eigenen Leistungskontrolle besitzen, was zu inadäquaten Verhaltensanpassungen nach Fehlern führt. Basierend auf den bisherigen Forschungen scheint es somit gerechtfertigt, die Erschöpfung einer Person unter anderem auch indirekt aus gezeigten Leistungsveränderungen abzuleiten.

Zur Untersuchung der Hintergründe von mentaler Erschöpfung wird vor allem mit monetären Anreizen als Motivator gearbeitet und analysiert, inwiefern diese Anreize erschöpfungsbedingten Leistungseinbußen bei kognitiven Aufgaben entgegenwirken beziehungsweise diese umkehren können. So berichten Herlambang et al. (2019), dass ihre Studienteilnehmer ihre Leistung während 2,5-stündiger Gedächtnisaufgaben mit alternierenden Belohnungen lediglich in den Belohnungsblöcken aufrechterhielten, während sie bei den belohnungsfreien Blöcken zurückging. Dies sei nur schwer mit einer biologischen Grundlage von Erschöpfung im Sinne des Aufbrauchens von Ressourcen vereinbar und deute vielmehr auf eine starke motivationale Bedingung von mentaler Erschöpfung hin (Herlambang et al., 2021). Hierbei kann jedoch entgegenhalten werden, dass sich die Teilnehmer in den belohnungsfreien Blöcken auch nachweislich weniger anstengten und die Zeit womöglich zur Erholung für die kommenden, belohnten Blöcke nutzten und so die verbrauchten Ressourcen regenerierten. Andernfalls würde ihr Ergebnis diversen Studien widersprechen (Boksem et al., 2006; Gergelyfi et al., 2015; Lorist et al., 2009), in welchen die Einführung monetärer Anreize nicht dazu führte, dass Personen den erschöpfungsbedingten Leistungsrückgang gänzlich umkehren konnten und wieder auf ihr ursprüngliches Leistungsniveau zurückkehrten. Laut Gergelyfi et al. (2015) zeige dies, dass mentale Erschöpfung insbesondere die Folge einer reduzierten Effizienz oder Verfügbarkeit von kognitiven Ressourcen sei, zumal eine hohe Motivation die Leistungseinbußen nicht kompensieren konnte. Wenngleich in den Studien (Boksem et al., 2006; Gergelyfi et al., 2015; Lorist et al., 2009) keine Rückkehr zum ursprünglichen Leistungsniveau stattfand, ist jedoch wichtig anzumerken, dass es nach dem Einführen von Belohnungen zu einer Leistungssteigerung kam. Demnach scheint zumindest ein Teil des erschöpfungsbedingten beziehungsweise durch ein Gefühl von Erschöpfung bedingten Leistungsrückgangs durch motivationale Ursachen hervorgerufen worden zu sein.

Auch die im Rahmen des Effort-Reward Imbalance Model beschriebenen Studien bezüglich des Zusammenhangs von Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen mit der Erschöpfung deuten auf einen motivationalen Anteil mentaler Erschöpfung hin. Die Untersuchungen zeigen eine klare Tendenz, dass ausgeprägtere Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen mit mehr Erschöpfung einhergehen. Aus rein biologischer Perspektive sollten jedoch keine Erschöpfungsunterschiede auftreten, wenn das Gehirn in gleicher Weise beansprucht wird beziehungsweise die mentale Anstrengung äquivalent ist. Wenngleich die angeführten Studien zum Zusammenhang von Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen und Erschöpfung korrelativer Natur sind, erscheint es als unwahrscheinlich, dass anders gestaltete Wirkmechanismen hinter den Ergebnissen liegen.

Für die biologische Perspektive auf mentale Erschöpfung sprechen wiederum Studien, welche Carry-Over-Effekte von mentaler Erschöpfung nach einem Wechsel der Aufgabe feststellen konnten (Massar et al., 2010; Van Cutsem et al., 2022). Der sogenannte Carry-Over-Effekt im Rahmen mentaler Erschöpfung besagt, dass sich die Bearbeitung einer längerfristigen kognitiven Aufgabe unter bestimmten Umständen negativ auf die Leistung bei einer darauffolgenden, neuen kognitiven Aufgabe auswirkt (Van Cutsem et al., 2022). Als Erklärung für den Effekt wird angeführt, dass dieser bei aufeinanderfolgenden Aufgaben auftritt, welche in Bezug auf die beanspruchten Exekutivsysteme überlappen, sodass die bereits erschöpften Systeme daher bei der zweiten Aufgabe nur noch eine reduzierte Leistungsfähigkeit besitzen (Müller & Apps, 2019; Van Cutsem et al., 2022). Das Auftreten des Carry-Over-Effektes spricht insofern für eine biologische Komponente mentaler Erschöpfung, als dass die Leistung bei Beginn einer neuen Aufgabe nicht beeinträchtigt sein sollte, wenn mentale Erschöpfung rein motivational bedingt wäre.

Weitere Unterstützung für die biologische Perspektive liefern insbesondere diverse neurowissenschaftliche Untersuchungen. So fanden Tran et al. (2020) in ihrem

systematischen Metaanalysen-Review, dass mentale Erschöpfung mit einer höheren Gesamt-EEG-Aktivität einhergeht. Insbesondere die nachweislich höhere Gehirnaktivität in den Theta-Bändern (eine Art der EEG-Spektralbänder) des frontalen, zentralen und posterioren Kortex sehen sie als robusten Marker für mentale Erschöpfung an. Dabei kam es unabhängig von der Aufgabenart (zum Beispiel simulierte Fahraufgaben oder kognitive Tests) zu einer erhöhten Aktivität in den Theta-Bändern, insofern es sich um langanhaltende, anspruchsvolle Aufgaben handelte.

Die bisherigen Forschungsergebnisse liefern somit Unterstützung für beide Perspektiven auf mentale Erschöpfung, die motivationale sowie die biologische. Demnach scheint es gerechtfertigt im Folgenden davon auszugehen, dass die Ursache für mentale Erschöpfung keine Entweder-oder-Frage ist, sondern sowohl durch einen biologischen als auch einen motivationalen Anteil begründet wird. Ausgehend von einem bilateralen Entstehungsweg sollte die empfundene Erschöpfung somit durch ein Einwirken auf die motivationale Komponente beeinflusst werden können. Genau dies soll im gegenwärtigen Experiment durch unterschiedliche Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen sowie eine unterschiedliche, der Anstrengung zugrundeliegende intrinsische Motivation erreicht werden. Inwiefern die intrinsische Motivation ein relevanter Faktor zur Beeinflussung von mentaler Erschöpfung sein kann, soll im nächsten Abschnitt thematisiert werden.

Intrinsische Motivation und Erschöpfung

Einen weiteren Ansatzpunkt neben Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen, um die motivationale Komponente von Erschöpfung zu beeinflussen, stellt die intrinsische Motivation für eine Aktivität dar. Der Gedanke, dass dasselbe quantitative Arbeitspensum bei höherer intrinsischer Motivation zu niedrigerer Erschöpfung führt, reicht bis zur Self-Determination-Theory von Deci und Ryan (1985) zurück. Die diesbezüglichen empirischen

Untersuchungen sind jedoch überschaubar, und insbesondere der Zusammenhang von intrinsischer Motivation und *mentaler* Erschöpfung scheint zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht untersucht worden zu sein. Dem soll die gegenwärtige Studie begegnen.

Mit dem Zusammenhang von intrinsischer Motivation und allgemeiner Erschöpfung (ein Mix aus physischer und mentaler Erschöpfung) setzten sich bisher nur eine Handvoll Studien auseinander. So ergab eine Untersuchung von Liu et al. (2018), dass die intrinsische Motivation ein Mediator in der Beziehung zwischen dem quantitativen Arbeitspensum und der arbeitsbezogenen Erschöpfung von Arbeitern an Produktlinien der Eisen- und Stahlindustrie ist. Eine höhere intrinsische Motivation wirkte demnach als Puffer gegen die mit einem höheren Arbeitspensum einhergehende, ausgeprägtere Erschöpfung beziehungsweise als Puffer im Rahmen des positiven Zusammenhangs von Arbeitspensum und Erschöpfung. Wichtig anzumerken ist, dass die Studienteilnehmer körperliche Arbeiten verrichteten und die verwendete Occupational Fatigue Exhaustion/Recovery Scale von Winwood et al. (2005) eine Mischung aus physischer und mentaler Erschöpfung erfasst (Items wurden von den Studienautoren teilweise leicht abgewandelt). Demgegenüber steht ein Ergebnis von Kumalasari und Elgeka (2024) in einer ähnlichen Untersuchung, wobei die Teilnehmer ihrer Studie größtenteils Schreibtischarbeit (= kognitive Arbeit) verrichteten. Im Zuge der Studie wurde ebenfalls die Occupational Fatigue Exhaustion/Recovery Scale von Winwood et al. verwendet. Die Autoren konnten hierbei keine Mediation des Zusammenhangs von quantitativem Arbeitspensum und Erschöpfung durch die intrinsische Motivation feststellen. Allerdings sollte angemerkt werden, dass die Korrelation von intrinsischer Motivation und arbeitsbezogener Erschöpfung nur sehr knapp nicht-signifikant ausfiel (t -Wert von 1.907, Signifikanz ab 1.96). Einen Anhaltspunkt für das Bestehen eines Zusammenhangs liefern Van Yperen und Hagedoorn (2003), in deren Studie mit Krankenschwestern als Nebenbefund eine signifikant negative Korrelation von -0.14 zwischen

der intrinsischen Motivation und der Erschöpfung am Ende des Arbeitstages resultierte. Insgesamt zeichnet sich somit noch kein eindeutiges Bild, inwiefern ein Zusammenhang zwischen der intrinsischen Motivation und der allgemeinen Erschöpfung existiert, wenngleich einige Ergebnisse für das Bestehen eines negativen Zusammenhangs sprechen (unter anderem auch Fernet et al. (2012)).

Forschungsfrage

Auf der Grundlage der bisherigen Ausführungen hat das gegenwärtige Experiment zum Ziel, die Beeinflussbarkeit der aus Anstrengung resultierenden Erschöpfung anhand zweier Faktoren aufzuzeigen. Es wird die Hypothese getestet, dass dieselbe mentale Anstrengung in Abhängigkeit von vorherrschenden Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen sowie der intrinsischen Motivation zu Anstrengung zu unterschiedlicher Erschöpfung führt. Die Untersuchung besteht aus zwei Aufgaben, welche von den Teilnehmern mentale Anstrengung erfordern. Während der ersten Aufgabe (Gedächtnisaufgabe N-Back-Task) wird Gruppe 1 für ihre objektive, mentale Anstrengung (physiologisch gemessen) belohnt, Gruppe 2 für ihre Leistung. Die Belohnungssystematik wird den Gruppen dabei nicht mitgeteilt. Bei der zweiten Aufgabe (Kopfrechenaufgabe Math-Effort-Task (MET)) wird dann keinerlei extrinsische Motivation mehr geliefert, sich anzustrengen beziehungsweise gut abzuschneiden. Unter anderem gibt es keine Belohnungen mehr, was den Teilnehmern auch mitgeteilt wird.

Das Experiment soll Forschungslücken auf zwei Gebieten adressieren. Zum einen soll der Zusammenhang von Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen mit der Erschöpfung aus neuen Perspektiven beleuchtet werden. In den bisherigen Studien wurde die Erhebung der Anstrengung mittels Selbsteinschätzungen durchgeführt, in diesem Experiment wird die mentale Anstrengung jedoch über objektive, physiologische Maße erfasst, was mögliche

Verzerrungen reduzieren soll. Zudem handelte es sich bei den bisherigen Studien um nicht-experimentelle Designs, weshalb die Frage der Wirkungsrichtung beziehungsweise der Kausalität noch nicht abschließend geklärt ist. Die bisherigen korrelativen Studien schließen unter anderem nicht aus, dass die Wirkungsrichtung derart gestaltet ist, dass erschöpfte Mitarbeiter dieselbe Arbeit als anstrengender empfinden, zumal sie diese in ihrem erschöpften Zustand mehr Energie / Kraft / Überwindung kostet. Dass also die Erschöpfung die Ursache für ausgeprägtere Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen ist. Im Kontext des Effort-Reward Imbalance Model lautet die aufgestellte Hypothese der gegenwärtigen Studie wie folgt: Anstrengungen bei Aufgabe 1 führen in Gruppe 1 zu einem niedrigeren Erschöpfungsanstieg gegenüber Gruppe 2. In Abbildung 2 ist die Hypothese veranschaulicht, wobei für die Abbildung keine Erschöpfungsveränderung bei nicht-vorhandener Anstrengung angenommen wird und deshalb beide Linien vom Ursprung aus beginnen (dies ist jedoch kein Teil der Hypothese). Ein Zutreffen der Hypothese würde aufgrund des experimentellen Studiendesigns erstmals Schlüsse über die kausale Wirkung von Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen auf die Erschöpfung zulassen. Dies ist möglich, zumal bei einer leistungsabhängigen Belohnung Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen auftreten, welche bei einer anstrengungsabhängigen Belohnung entfallen.

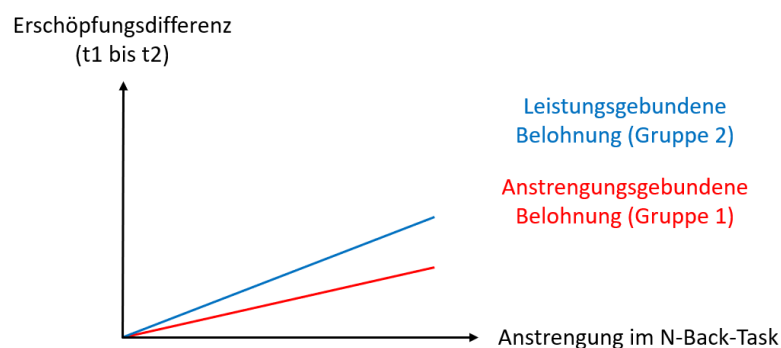


Abbildung 2. Hypothese im Kontext des Effort-Reward Imbalance Model.

Als zweites wesentliches Ziel der Studie soll erstmalig der Zusammenhang von der intrinsischen Motivation bei der Ausübung mentaler Tätigkeiten mit der mentalen Erschöpfung untersucht werden. In der bisherigen Forschung lag der Fokus auf dem Zusammenhang von intrinsischer Motivation und allgemeiner Erschöpfung (ein Mix aus physischer und mentaler Erschöpfung), wobei auch hier nur eine Handvoll Studien vorliegen (wie auch von Liu et al. (2018) festgestellt), welche zudem rein korrelativer Natur sind. Im Rahmen der Studie soll durch die anstrengungsgebundene Belohnung bei Gruppe 1 in Aufgabe 1 eine höhere intrinsische Motivation zu Anstrengung in Aufgabe 2 gegenüber Gruppe 2 erreicht werden (wie ähnlich bereits gelungen bei Clay et al. (2022)). Anknüpfend an die Ausführungen von Deci und Ryan (1985) sowie die Studien aus der Arbeitswelt (siehe Abschnitt *Intrinsische Motivation und Erschöpfung*), welche tendenziell für einen negativen Zusammenhang von intrinsischer Motivation und allgemeiner Erschöpfung sprechen, erscheint es plausibel, dass intrinsisch motiviertere Tätigkeiten als weniger belastend empfunden werden und uns daher weniger erschöpfen. Demnach lautet die zweite zentrale Hypothese folgendermaßen: Anstrengungen bei Aufgabe 2 führen in Gruppe 1 zu einem niedrigeren Erschöpfungsanstieg gegenüber Gruppe 2 (siehe Abbildung 3, wobei dieselbe Logik wie bei Abbildung 2 gilt). Die Studie greift hiermit eine Forschungslücke auf und würde bei einem Bestätigen der Hypothese zugleich eine kausale Wirkung der intrinsischen Motivation auf die Erschöpfung belegen (dass mehr intrinsische Motivation bei gleicher mentaler Anstrengung zu weniger mentaler Erschöpfung führt).

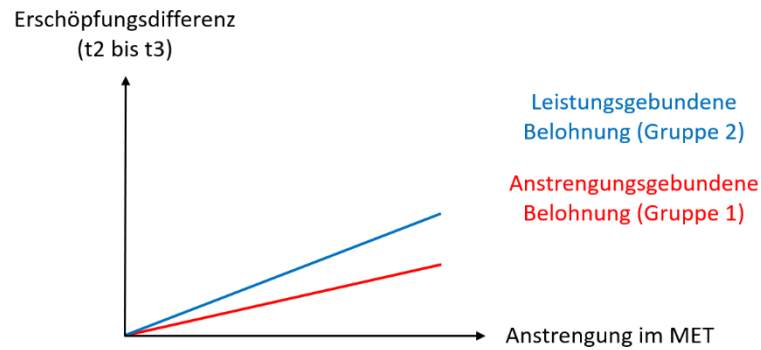


Abbildung 3. Hypothese im Kontext der intrinsischen Motivation.

Um ein breiteres Bild zu erhalten, wird die mentale Erschöpfung in der Studie in zwei Facetten aufgeteilt, die generelle und die motivationale Erschöpfung. Die Wirkung der Manipulation (Belohnungsbedingung) auf die Erschöpfung wird daher getrennt analysiert, einmal für die generelle und einmal für die motivationale Erschöpfung. Insgesamt resultieren somit vier Hypothesen:

H1: Anstrengungen bei Aufgabe 1 führen in Gruppe 1 zu einem niedrigeren generellen Erschöpfungsanstieg gegenüber Gruppe 2.

H2: Anstrengungen bei Aufgabe 1 führen in Gruppe 1 zu einem niedrigeren motivationalen Erschöpfungsanstieg gegenüber Gruppe 2.

H3: Anstrengungen bei Aufgabe 2 führen in Gruppe 1 zu einem niedrigeren generellen Erschöpfungsanstieg gegenüber Gruppe 2.

H4: Anstrengungen bei Aufgabe 2 führen in Gruppe 1 zu einem niedrigeren motivationalen Erschöpfungsanstieg gegenüber Gruppe 2.

Gesamt betrachtet trägt das Experiment zu einem besseren Verständnis der Einflussfaktoren auf mentale Erschöpfung bei und folgt den Forderungen nach einer stärkeren Integration der zu großen Teilen getrennt beforschten Gebiete von Erschöpfung und

Anstrengung (Massar et al., 2018). Zudem werden weitere Erkenntnisse in die Debatte eingebracht, inwiefern es sich bei mentaler Erschöpfung um ein biologisch oder ein motivational bedingtes Phänomen handelt. Wenn mentale Anstrengungen zwischen den Gruppen unterschiedliche Erschöpfungsveränderungen bewirken, dann spricht dies dafür, dass mentale Erschöpfung einen motivationalen Anteil aufweist.

Methoden

Stichprobe

Bei den Studienteilnehmern handelte es sich um 196 Bachelorstudenten der Psychologie der Universität Wien, welche im Rahmen ihres Studiums eine vorgeschriebene Anzahl an Versuchsstunden absolvieren müssen und sich für Studien über ein Portal anmelden. Die Teilnehmerzahl wurde hierbei durch das universitäre Forschungsprojekt determiniert, an welches die Untersuchung angebunden war. Zehn Personen wurden aufgrund von Problemen oder Fehlern während der Datenerhebung exkludiert. Der Exklusion zugrunde lagen unvollständig aufgezeichnete Datensätze sowie falsch übermittelte Belohnungen während des N-Back-Task. Insgesamt resultiert somit eine Stichprobe von $N = 186$ mit einem Durchschnittsalter von 22.1 Jahren ($SD = 3.32$) sowie einer Geschlechterverteilung von 70% weiblich, 26% männlich und 4% divers. In den beiden Gruppen des Experiments sind die Geschlechter dabei basierend auf einem Fisher's Exact Test (sehr) gleichmäßig verteilt, $p = 1$.

Eine a-priori Poweranalyse mit einem β -Wert von 0.2, einem α -Niveau von 0.05 sowie einem f^2 von 0.02 (gemäß Cohen (1988) ein kleiner Effekt) ergab, dass eigentlich eine Mindeststichprobengröße von 311 Teilnehmern erforderlich gewesen wäre. Zumal die tatsächliche Stichprobengröße mit 186 inkludierten Personen deutlich unter der a-priori berechneten liegt, sank die Power des Experiments auf Basis einer Post-hoc-Analyse auf 0.61. Gemäß einer Post-hoc-Sensitivitätsanalyse konnte mit der tatsächlichen

Stichprobengröße sowie den ursprünglich angestrebten Parametern ($\beta = 0.2$, $\alpha = 0.05$) ein Effekt von $f^2 = 0.033$ (laut Cohen immer noch ein kleiner Effekt) gefunden werden.

Bezüglich der Einschlusskriterien zur Teilnahme galt ein Mindestalter von 18 Jahren. Die Teilnehmer mussten frei von kardiovaskulären und psychischen Störungen sein, um sicherzustellen, dass die physiologischen Messungen die aufgabenbezogene Anstrengung und nicht tiefer liegende Gesundheitszustände widerspiegeln. Zu den Ausschlusskriterien gehörte auch die Einnahme von Medikamenten, welche die kardiovaskuläre Funktionsweise verändern, und die derzeitige Teilnahme an weiteren Motivationsstudien. Des Weiteren wurden die Teilnehmer vor der Studie darauf hingewiesen, keinen Kaffee zu trinken und keiner hochintensiven sportlichen Betätigung nachzugehen, um einer starken Beeinflussung ihres Erschöpfungszustandes sowie ihrer regulären kardiovaskulären Funktionsweise vorzubeugen.

Design

Die Studie wurde als Randomized Controlled Trial (RCT) auf der Grundlage eines Between-Subjects-Design mit zwei Gruppen und zwei Phasen durchgeführt. Die manipulierte, unabhängige Variable war die Belohnungsbedingung während dem N-Back-Task (Phase 1), mit den beiden Levels anstrengungsabhängige Belohnung und leistungsabhängige Belohnung. Die Teilnehmer wurden nach dem Zufallsprinzip einer der beiden Gruppen / Belohnungsbedingungen zugewiesen. Die abhängigen Variablen waren die Veränderung der generellen Erschöpfung sowie die Veränderung der motivationalen Erschöpfung. Bezüglich der Erschöpfungsveränderung wurden zwei Zeitperioden betrachtet, Baseline (t1) bis nach dem N-Back-Task (t2), sowie t2 bis nach Phase 2 des MET (t3).

Ablauf

Die Aufgaben wurden am Computer durchgeführt. Für die kardiovaskulären Messungen wurden den Teilnehmern hierbei zuerst Elektroden angebracht. Anschließend erfolgte eine zehnminütige Entspannungsphase, in welcher die Teilnehmer aus einer vorgegebenen Playlist entspannende Musik hörten. In Phase 1 durchliefen die Teilnehmer dann einen standardisierten N-Back-Task. Die Gruppe mit anstrengungsgebundener Belohnung erhielt dabei Belohnungen auf der Grundlage der kardiovaskulär gemessenen, mentalen Anstrengung, die sie in die Aufgabe investierten (siehe *Maß 1 - Pre-Ejection-Period*). Die Gruppe mit leistungsabhängiger Belohnung erhielt Belohnungen auf Basis ihrer gezeigten Leistung (nähere Erläuterung bei *Aufgabe 1 – N-Back-Task*). Die Belohnungssystematik wurde jedoch keiner der Gruppen kommuniziert.

In Phase 2 bearbeiteten beide Gruppen den MET, der eine Reihe von Mathematikaufgaben unterschiedlichen Schwierigkeitsgrads enthält. In Gegensatz zu Phase 1 erhielten die Teilnehmer in Phase 2 keine Belohnungen, was beiden Gruppen auch mitgeteilt wurde. Ziel dieser Phase war es, die intrinsische Motivation zu Anstrengung zu messen, zumal keine Grundlage für eine extrinsische Motivation geschaffen wurde. Auch während Phase 2 wurde die mentale Anstrengung wieder über kardiovaskuläre Messungen erfasst.

Die Erschöpfung wurde mittels Fragebogen am Computer zu drei Zeitpunkten erhoben. Nach dem Musikhören, aber vor dem N-Back-Task, wurde zunächst die Baseline ermittelt (t1). Die zwei weiteren Messungen erfolgten dann jeweils nach dem N-Back-Task (t2) sowie nach dem MET (t3). Der wesentliche Studienablauf ist nachfolgend noch einmal zusammengefasst (siehe Abbildung 4):

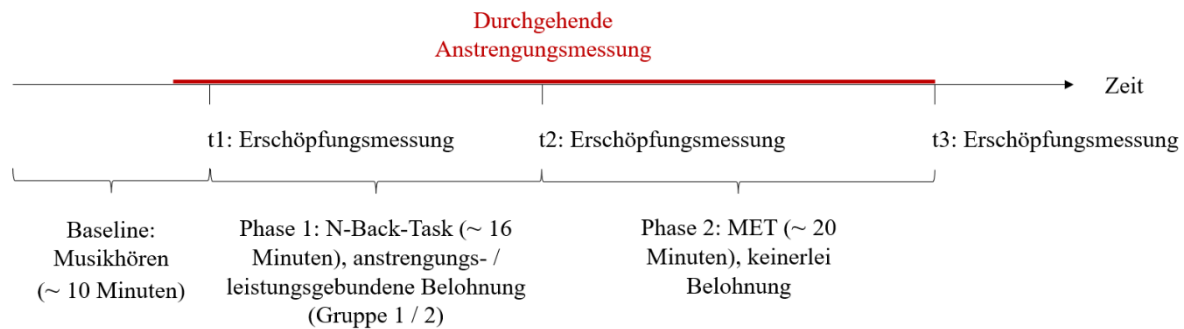


Abbildung 4. Ablauf der Studie.

Wie bereits beschrieben, war die Untersuchung an ein Forschungsprojekt der Universität Wien gekoppelt. Dieses wurde von Veronika Job und Christopher Mlynski geleitet und verfolgte die Fragestellung, ob eine anstrengungsgebundene gegenüber einer leistungsgebundenen Belohnung im N-Back-Task zu mehr Anstrengung im MET führt. In dieses Projekt waren neben der hier befindlichen noch weitere Fragestellungen von anderen Masteranden eingebettet. So waren ebenfalls Fragen zur Erhebung von Flow, dem Growth-Mindset, der Bereitschaft zu verzögerten Gratifikationen, Prokrastinationstendenzen und einer Mischung aus Willenskraft, Beharrlichkeit und Leidenschaft (zu Englisch *Grit*) enthalten. Die Durchführung des Experiments wurde von insgesamt elf Personen bewerkstelligt, wobei es sich neben meiner Person um die Psychologie-Masteranden Anna Makeeva, Gabriel Scorza, Giulia Weil, Lara Drakos, Lena van Rutte, Leonard Birmili und Simone Oberhollenzer sowie die Lehrstuhlmitarbeiter Christopher Mlynski, Paula Reisinger und Dominik Meindl handelte.

Maße und Materialien

Aufgabe 1 - N-Back-Task

Um verschiedene Stufen der mentalen Anstrengung zu induzieren, absolvierten die Teilnehmer in Phase 1 des Experiments den N-Back-Task, einen anerkannten Test, bei

welchem es um ein kontinuierliches Aktualisieren des Arbeitsgedächtnisses geht (Kane & Conway, 2016). Der Test beinhaltet die Präsentation von langen Abfolgen an Stimuli, wobei im Rahmen der gegenwärtigen Untersuchung Buchstaben als Stimuli verwendet wurden. Die Teilnehmer sollten dabei angeben, ob der aktuelle, in der Mitte des Bildschirms präsentierte Buchstabe mit dem n Buchstaben zuvor präsentierten übereinstimmt, wobei n zwischen den Blöcken angepasst wurde. In dieser Studie wurden vier verschiedene n als Schwierigkeitsstufen verwendet, welche von 1-Back bis 4-Back reichten. Beispielsweise wäre bei einem 1-Back bei einer Sequenz von B-D-B-A-A das zweite A eine Übereinstimmung, bei einem 2-Back wäre es bei derselben Buchstabenfolge das zweite B. Vor dem eigentlichen Beginn des N-Back-Task absolvierten die Teilnehmer zunächst Übungsversuche. Sie durchliefen jeweils einen Block auf jeder Schwierigkeitsstufe und erhielten dabei eine Rückmeldung zu ihrer Leistung (nur in der Übungsphase der Fall). Die Teilnehmer hatten immer 2,5 Sekunden Zeit, um die Taste „A“ zu drücken, wenn der Buchstabe ein „Treffer“ war und mit dem n Buchstaben zuvor präsentierten übereinstimmte. Bei keiner Übereinstimmung der Buchstaben war keine Reaktion erforderlich. Nach jedem Block wurde den Teilnehmern auf dem Bildschirm ihre erreichte monetäre Belohnung angezeigt, die sich nach ihrer Gruppenzuordnung richtete (anstrengungsabhängige / leistungsabhängige Belohnung). In der anstrengungsabhängigen Belohnungsbedingung erhielten sie 1 Cent für jede Veränderung von 0,10 in der Pre-Ejection-Period (PEP; siehe *Maß 1 – Pre-Ejection-Period*). Bei leistungsabhängiger Belohnung wurden 35 Cent vergeben, wenn der Block zu 100 % richtig bearbeitet wurde. Für jede prozentuale Verschlechterung wurden 0,35 Cent abgezogen. Insgesamt wurden 16 Blöcke durchlaufen (jeweils vier Blöcke für die Stufen 1-Back bis 4-Back), welche in randomisierter Reihenfolge präsentiert wurden. In Summe nahm der N-Back-Task in etwa 16 Minuten in Anspruch.

Aufgabe 2 – Math-Effort-Task (MET)

In Phase 2 des Experiments wurde eine angepasste Version des validierten MET (Engle-Friedman et al., 2003) verwendet. Im Rahmen des MET wurde die Anstrengung beim Lösen mathematischer Probleme unterschiedlicher Schwierigkeit evaluiert, ohne dass hierbei Belohnungen vergeben wurden (weder für Anstrengung noch für Leistung). Zudem erhielten die Personen keine Rückmeldung zur Korrektheit ihrer gegebenen Antworten. Der MET umfasste 40 Durchgänge/Additionsaufgaben mit jeweils vier Zahlen, die nacheinander auf dem Bildschirm angezeigt wurden. Es gab zwei Schwierigkeitsstufen, Stufe 1 und Stufe 2. Stufe 1 enthielt Zahlen von 1 bis 9, während Stufe 2 Zahlen von 7 bis 35 enthielt. Die Zahlen in jedem Durchgang wurden zufällig ausgewählt, wobei der Zahlenbereich durch die Schwierigkeitsstufe festgelegt wurde. Die 40 Durchgänge waren aufgeteilt in acht 5er-Blöcke mit randomisiert ausgewählter Schwierigkeitsstufe, wobei jeweils 20 Durchgänge beziehungsweise vier Blöcke auf der jeweiligen Schwierigkeitsstufe absolviert wurden. Der Schwierigkeitsgrad innerhalb jeder Stufe wurde auf Basis der bisherigen Leistung des Teilnehmers gegebenenfalls angepasst, um interpersonell ähnlich herausfordernde Aufgaben vorzugeben. Wenn der Teilnehmer auf Stufe 1, welche mit Zahlen zwischen 3 und 9 startete, sehr schlechte Leistungen erbrachte, wurden in den kommenden Durchgängen dieser Stufe Additionsaufgaben mit niedrigeren Zahlen aus dem Zahlenbereich vorgegeben. Bei sehr guten Leistungen auf Stufe 2, welche mit Zahlen zwischen 7 und 15 startete, wurde die Schwierigkeit erhöht, indem in den kommenden Durchgängen dieser Stufe Additionsaufgaben mit höheren Zahlen aus dem Zahlenbereich vorgegeben wurden.

Jeder Block begann mit einer 5-sekündigen Ankündigung der Schwierigkeitsstufe. Die in dem Block enthaltenen fünf Durchgänge begannen jeweils mit einem 3-sekündigen Fixationskreuz. Danach gaben die Teilnehmer mit einem Schieberegler an, wie sehr sie die Rechenaufgabe lösen wollten. Bei der anschließend startenden Rechenaufgabe wurde jede

Zahl 800 Millisekunden lang in der Mitte des Bildschirms angezeigt, mit einem Interstimulus-Intervall von 500 Millisekunden mit leerem Bildschirm. Die Teilnehmer hatten 10 Sekunden Zeit, um ihre Antwort einzutippen, danach wurde für 7 Sekunden ein leerer Bildschirm angezeigt. Daraufhin bewerteten die Teilnehmer mit einem Schieberegler, wie gut ihnen das Lösen der mathematischen Aufgabe gefallen hat, bevor im Anschluss die nächste Aufgabe startete. Zwischen den acht Bearbeitungsblöcken wurde jeweils eine 15-sekündige Pause eingelegt, damit die anstrengungsbezogene kardiovaskuläre Aktivität auf den Ausgangswert zurückkehren konnte (siehe *Maß 1 - Pre-Ejection-Period*). Der gesamte MET nahm in etwa 20 Minuten in Anspruch.

Maß 1 - Pre-Ejection-Period (PEP)

Um die mentale Anstrengung der Teilnehmer zu messen, wurde ein etablierter physiologischer Marker sympathischer Aktivität verwendet, die Kontraktionsstärke des Herzens (auch myokardiale Kontraktilität genannt; Kelsey, 2012). Im Rahmen dieser Studie wurde die Kontraktionsstärke über die PEP operationalisiert. Die PEP ist das Zeitintervall vom Beginn der ventrikulären Depolarisation des Herzens über die Kontraktion des Herzens bis hin zur Öffnung der Aortenklappe, die den Auswurf des Blutes aus dem Herzen ermöglicht. Bei größerer mentaler Anstrengung ist die Kontraktionsstärke des Herzens höher, um mehr Blut mit einem Herzschlag herauszupumpen. Da eine höhere Kontraktionsstärke mit einer kürzeren PEP einhergeht, kann aus den Veränderungen der PEP abgeleitet werden, wie viel mentale Anstrengung eine Person aufbringt. So weist zum Beispiel eine kürzere PEP auf eine höhere mentale Anstrengung hin (Kelsey, 2012; Richter et al., 2016). Da die PEP im Ruhezustand zwischen Personen variiert, wurden zur Beurteilung der Anstrengung während der Aufgabenbearbeitung im Rahmen dieser Studie die PEP-Veränderungswerte (in Millisekunden) bezogen auf die Baseline herangezogen. Die Baseline-Erhebung der PEP

sollte im entspannten Ruhezustand der Person erfolgen und geschah daher während den letzten zwei Minuten des Musikhörens.

Die Sinnhaftigkeit einer Messung der mentalen Anstrengung anhand kardiovaskulärer Werte wird durch eine Vielzahl an Untersuchungen gestützt, wobei die PEP als das wahrscheinlich reliabelste, nicht-invasive Maß zur Messung der anstrengungsassoziierten myokardialen Aktivität angesehen werden kann (Richter et al., 2016). In dieser Studie wurde neben der PEP als zusätzlicher Indikator für die mentale Anstrengung die Herzfrequenz der Teilnehmer erfasst. Alle kardiovaskulären Messungen erfolgten kontinuierlich über die Aufgabenbearbeitungen hinweg, sowohl während des N-Back-Task als auch des MET. Zur Einstufung der Anstrengung in den beiden Aufgabenphasen wurde jeweils der durchschnittliche PEP-Veränderungswert der Person herangezogen.

Maß 2 - Erschöpfungsfragebogen

Zur Messung der generellen Erschöpfung wurden acht Items des multidimensionalen Befindlichkeitsfragebogens (MDBF) von Steyer et al. (1997) verwendet (siehe Tabelle 1). Die herangezogenen Items sind innerhalb des MDBF dem Konstrukt *Wachheit-Müdigkeit* zugeordnet, wobei die Personen ihre Antworten auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (sehr) gaben. Mit einem Cronbachs Alpha zu den drei Erhebungszeitpunkten von .91 (t1), .92 (t2) sowie .90 (t3) ist die Reliabilität des Fragebogenteils als hoch anzusehen.

Tabelle 1.

Verwendete Items aus dem multidimensionalen Befindlichkeitsfragebogen (Steyer et al., 1997) zur Erhebung der generellen Erschöpfung

Item	<i>M</i>	<i>SD</i>
Gesamt	25.7	7.8
Im Moment fühle ich mich		
Ausgeruht	3.01	1.14
Schlapp	3.50	1.29
Müde	3.26	1.28
Munter	2.95	1.12
Schläfrig	3.53	1.30
Wach	3.16	1.17
Frisch	2.79	1.09
Ermattet	3.48	1.26

Anmerkung. Antwortskala von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (sehr); Mittelwerte und Standardabweichungen aus Steyer et al. (1997).

Im zweiten Teil des Erschöpfungsfragebogens liegt der Fokus auf der motivationalen Erschöpfung. Der neu zusammengestellte Fragebogen besteht aus fünf Items (siehe Tabelle 2), welche aus dem Multidimensional Fatigue Inventory von Smets et al. (1995), der Zoom Exhaustion and Fatigue Scale von Fauville et al. (2021), der PROMIS Fatigue Scale von Kratz et al. (2016) und der Checklist Individual Strength von Vercoulen et al. (1994) stammen. Bisher existierte scheinbar kein umfassenderer Fragebogen zur expliziten Messung der motivationalen Dimension von Erschöpfung, weshalb hierzu Items zusammengeführt wurden, welche in den jeweiligen Fragebögen der motivationalen Dimension von Erschöpfung zugeordnet sind. Für diese Studie wurden die Items sprachlich (aber nicht inhaltlich) teilweise leicht abgewandelt, um eine bessere Passung zur gegenwärtigen Untersuchung zu erreichen. Mithilfe der Items wurde, subsumiert unter dem Konstrukt der motivationalen Erschöpfung, erfasst, wie sich die beiden Belohnungssystematiken auf den

Tatendrang der Personen (Wie groß ist aktuell die Lust, aktiv zu sein beziehungsweise sich Herausforderungen zu stellen?) sowie ihr momentanes Selbstwirksamkeitsgefühl auswirkten. Die Indikation erfolgte ebenfalls auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (sehr). Für diesen Fragebogenteil ergab sich zu den drei Erhebungszeitpunkten mit .82 (t1), .88 (t2) und .88 (t3) ein Cronbachs Alpha im hohen Bereich.

Tabelle 2.

Verwendete Items zur Erhebung der motivationalen Erschöpfung (angepasst übernommen aus Fauville et al. (2021), Kratz et al. (2016), Smets et al. (1995) und Vercoulen et al. (1994))

Inwiefern treffen folgende Aussagen auf Sie zu?
Ich möchte gerade einfach gar nichts tun
Ich glaube, dass ich jetzt bei der Bearbeitung einer Aufgabe weniger effizient wäre
Ich habe Lust, mich jetzt einer Aufgabe/Herausforderung zu widmen
Ich fühle mich zu erschöpft, mich jetzt einer neuen Aufgabe zu widmen
Es würde mich gerade viel Überwindung kosten, Dinge gemacht zu bekommen
<i>Anmerkung.</i> Antwortskala von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (sehr); Mittelwerte und Standardabweichungen sind aufgrund teilweise leicht abgeänderter Itemformulierungen sowie andersartiger Antwortskalierungen in den ursprünglichen Fragebögen nicht angeführt.

Maß 3 – Fragebogen zum mathematischen Selbstkonzept

Das mathematische Selbstkonzept wurde im Zuge der Online-Registrierung für die Studie mittels eines aus vier Items bestehenden Fragebogens basierend auf Benson (1989) erfasst („Ich bin gut in Mathematik.“, „Ich habe Verständnisschwierigkeiten bei allem, für das man Mathematik braucht.“, „Ich war in Mathematik immer gut.“, „Ich bin bei Aufgaben, die mathematisches Denken erfordern, nie gut.“). Die Antworten wurden auf einer sechsstufigen Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 6 (Stimme sehr zu) gegeben und dienen

der Erfassung der Selbsteinstufung der mathematischen Fähigkeiten der Person. Zumal davon ausgegangen wird, dass Personen mit hoch eingestuften mathematischen Fähigkeiten für die Lösungsfindung bei Kopfrechenaufgaben im MET in relevantem Ausmaß weniger Anstrengung investieren müssen, wurde das mathematische Selbstkonzept für die diesbezüglichen Analysen als Kovariate mitaufgenommen. Für den Fragebogen zur Erfassung des mathematischen Selbstkonzepts resultierte mit einem Cronbachs Alpha von .90 eine hohe Reliabilität.

Datenanalyse

Für die Analyse der vier Hypothesen wurde jeweils eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt mit Gruppe und Anstrengung als Prädiktoren für die Veränderung der Erschöpfung. Alle statistischen Analysen erfolgten dabei mit dem Programm R (Version 4.4.1; R Core Team, 2024) in RStudio (Version 2024.09.0; Posit Team, 2024).

Alternative Analysestrategien aufgrund der kleiner als a-priori berechneten Stichprobengröße wie etwa Bayes-Analysen wurden nicht angewandt, da aufgrund der Neuheit von Untersuchungsgegenstand und -methodik keine informierten Prior angenommen werden konnten.

Im Zuge der Analysen wurden alle Datenpunkte der 186 Personen verwendet und identifizierte Ausreißer hinsichtlich der Erschöpfungsdifferenz oder der Anstrengung behalten. Folgende Überlegungen liegen dem zugrunde, wobei der Logik von Leys et al. (2019) gefolgt wird, wonach die Entscheidung zum Umgang mit Ausreißern nicht rein mathematisch, sondern vielmehr durch Überlegungen zur Natur der Ausreißer begründet sein sollte. Zum einen wird generell davon ausgegangen, dass die subjektive Erhebung der Erschöpfung mittels Fragebogen das empfundene Erschöpfungslevel zu den jeweiligen Zeitpunkten adäquat erfasst (dass also die Personen ihren verspürten Erschöpfungszustand

korrekt einschätzen). Bezüglich der Anstrengung ergaben sich zudem nur Ausreißer in Richtung einer hohen Anstrengung (sieben in Phase 1; drei in Phase 2). Die Verteilung der Anstrengung entspricht jedoch in beiden Phasen den Erwartungen, zumal die Anzahl der Personen zu den Anstrengungsrändern hin abnimmt und deutlich niedrigere PEP-Werte (= hohe Anstrengungen) während Phase 1 oder Phase 2 gegenüber der Startphase des Musikhörens plausibel erscheinen. Hinzu kommt, dass sowohl hinsichtlich der Erschöpfungsdifferenz als auch der Anstrengung in Phase 1 und Phase 2 jeweils lediglich „normale“ Ausreißer (1.5 Interquartilsabstände unter dem 25ten oder über dem 75ten Perzentil) existieren, nicht aber extreme Ausreißer (3 Interquartilsabstände unter dem 25ten oder über dem 75ten Perzentil). Auch die Homoskedastizität und die Normalverteilung der Residuen sind bei allen vier Analysen gegeben. Zusammengenommen wird deshalb, insbesondere auch in Kombination mit einer robusten Datensatzgröße von $N = 186$, davon ausgegangen, dass vorhandene Ausreißer keinen verzerrenden Einfluss auf die Ergebnisse ausüben. Vielmehr werden die Ausreißer als natürlicherweise vorkommende Randpunkte der jeweiligen Verteilung betrachtet (Leys et al., 2019).

Ergebnisse

Voraussetzungen

Zunächst werden die Ergebnisse zu den Prüfungen der Voraussetzungen dargestellt. Für eine sinnvolle Testung der Hypothesen besteht eine Voraussetzung darin, dass die Teilnehmer beider Gruppen durchschnittlich dieselbe Belohnung erhielten. Andernfalls würden die Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen zwischen den Gruppen durch den absolut erhaltenen Geldbetrag verzerrt werden. Die in den Hypothesen erwarteten Effekte der Imbalancen beziehen sich nicht auf die absoluten Belohnungen, sondern auf die relative Veränderung der Belohnungen in Abhängigkeit zur investierten Anstrengung. Auch die

Anstrengungsmotivation könnte ungewünscht beeinflusst und damit die Ergebnisse der auf Phase 2 bezogenen Hypothesen verzerrt werden, wenn die beiden Gruppen in Phase 1 durchschnittlich nicht dieselben Belohnungen erhielten. Eine im Schnitt ausreichend ähnliche Belohnung in Phase 1 in beiden Gruppen ist erfüllt, $t(184) = 0.31, p = .75$. Der Belohnungsmittelwert in der anstrengungsgebundenen Belohnungsgruppe liegt bei $M = 431$ Cent ($SD = 470$ Cent), derjenige der leistungsgebundenen Belohnungsgruppe bei $M = 415$ Cent ($SD = 87$ Cent), wobei sich die Varianzen in den Gruppen auf Basis eines Levene-Tests signifikant unterscheiden, $F(1,184) = 97.18, p < .001$ (siehe auch Abbildung 5).

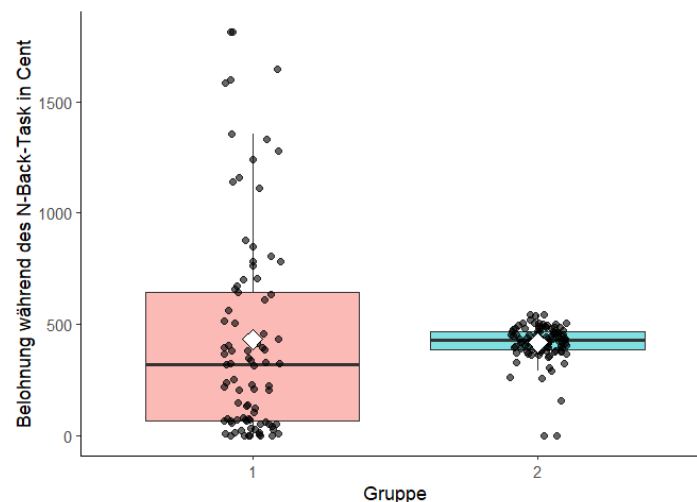


Abbildung 5. Erhaltene Belohnungen nach Gruppe (Gruppe 1 = Anstrengungsgebundene Belohnung, Gruppe 2 = Leistungsgebundene Belohnung)

Um davon ausgehen zu können, dass eine mögliche gesteigerte intrinsische Anstrengungsmotivation in Gruppe 1 nicht bereits während Phase 1 zum Tragen kam, sondern gefundene Effekte nach Phase 1 rein auf Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen basieren, wurde eine weitere Voraussetzung analysiert. Zuma eine größere intrinsische Anstrengungsmotivation auch mit erhöhten Anstrengungen einhergehen sollte, bestand die dementsprechende Voraussetzung in gleichen Anstrengungsniveaus der beiden Gruppen in

Phase 1. Im Zuge dieser Analyse wurde die generelle Erschöpfung zu t1 als Kovariate mitaufgenommen. Nach aktuellem Stand der Wissenschaft ist es wahrscheinlich, dass Menschen in einem ausgeprägteren Erschöpfungszustand eine stärkere Anstrengungsaversion aufweisen (Massar et al., 2018). Demnach ist der Ausgangspunkt der Erschöpfung von Belang, um gezeigte Anstrengungen sinnvoll einzuordnen. Die Voraussetzung eines gleichen Anstrengungslevels der beiden Gruppen während Phase 1 ist erfüllt. Unter Einbezug der generellen Erschöpfung zu t1 als Kovariate unterscheidet sich die Anstrengung der Gruppen nicht signifikant voneinander, $b = -0.90$, $SE = 1.16$, $t(183) = -0.77$, $p = .44$. Die Mittelwerte der PEP-Veränderungswerte von der Baseline zu Phase 1 liegen bei Gruppe 1 bei $M = -3.92$ ms ($SD = 7.42$ ms) und bei Gruppe 2 bei $M = -4.76$ ms ($SD = 8.37$ ms), $t(184) = 0.73$, $p = .47$ (siehe auch Abbildung 6).

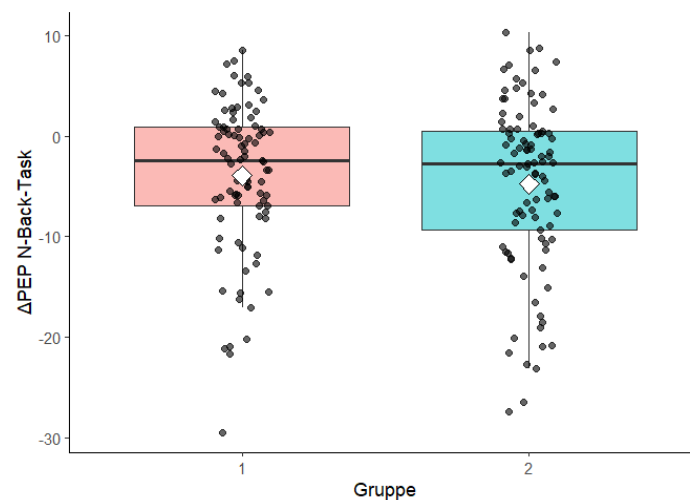


Abbildung 6. Anstrengung im N-Back-Task (Niedrigere PEP-Veränderungswerte stehen für eine höhere Anstrengung; Gruppe 1 = Anstrengungsgebundene Belohnung, Gruppe 2 = Leistungsgebundene Belohnung)

Zudem wurde die investierte Anstrengung der beiden Gruppen während dem MET analysiert. Von einer höheren intrinsischen Anstrengungsmotivation von Gruppe 1 kann ausgegangen werden, insofern diese im MET mehr Anstrengung als Gruppe 2 investierte

(zumal beiden Gruppen keine extrinsische Motivation vermittelt wurde, sich anzustrengen).

Aus denselben Gründen wie im vorherigen Abschnitt wurde auch bei dieser Analyse die Ausgangserschöpfung (generelle Erschöpfung zu t2) als Kovariate miteinbezogen. Neben der Erschöpfung zu t2 wurde auch das mathematische Selbstkonzept als Kovariate verwendet. Im MET wurde unter Einbezug der beschriebenen Kovariaten keine signifikant unterschiedliche Anstrengung (durchschnittlicher PEP-Veränderungswert von der Baseline zum MET) zwischen den Gruppen festgestellt, $b = -1.13$, $SE = 1.10$, $t(182) = -1.03$, $p = .31$. Auch absolut betrachtet strengten sich im MET Gruppe 1 ($M = 1.10$ ms, $SD = 6.91$ ms) und Gruppe 2 ($M = -0.32$ ms, $SD = 7.64$ ms) nicht signifikant unterschiedlich an, $t(184) = 1.33$, $p = .19$ (siehe auch Abbildung 7). Demnach kann im MET nicht von einer erhöhten intrinsischen Motivation zu Anstrengung in Gruppe 1 ausgegangen werden.

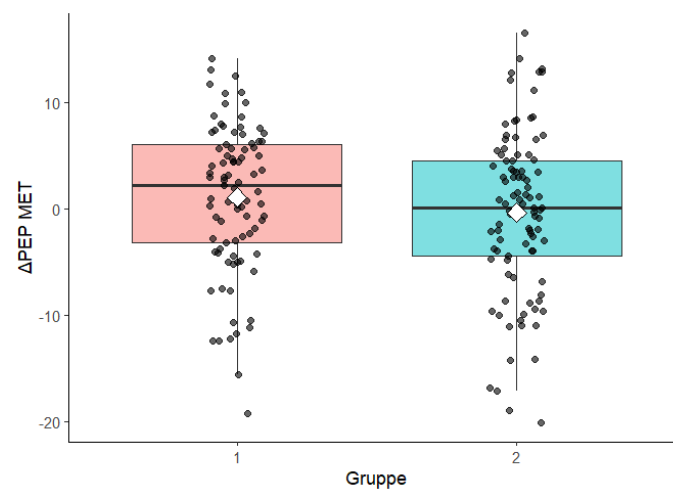


Abbildung 7. Anstrengung im MET (Niedrigere PEP-Veränderungswerte stehen für eine höhere Anstrengung; Gruppe 1 = Anstrengungsgebundene Belohnung, Gruppe 2 = Leistungsgebundene Belohnung)

Phase 1 (N-Back-Task)

Zur Analyse der vier Hypothesen (siehe *Forschungsfrage*) wurde jeweils eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Die abhängige Variable für Phase 1 war die

generelle / motivationale Erschöpfungsdifferenz von t1 bis t2, für Phase 2 die generelle / motivationale Erschöpfungsdifferenz von t2 bis t3. Die vier Hypothesen wurden auf identische Weise untersucht. Als Prädiktoren für die Erschöpfungsdifferenz wurden die Gruppenbedingung sowie die durchschnittliche Anstrengung (Δ PEP) während Phase 1 / Phase 2 in das Modell gegeben und geprüft, ob ein Haupteffekt von Gruppe besteht.

Die Analysen ergaben einen signifikanten Haupteffekt von Gruppe in Bezug auf die Entwicklung der generellen Erschöpfung während des N-Back-Task, allerdings in die andere Richtung wie erwartet, $b = -0.29$, $SE = 0.09$, $t(183) = -3.11$, $p < .01$ (siehe Tabelle 3). Der Effekt von Gruppe ist mit einem Cohen's $f^2 = 0.053$ dabei eher schwach (Cohen, 1988). Gegenteilig Hypothese 1 kam es in Gruppe 1 zu einem stärkeren Anstieg der generellen Erschöpfung gegenüber Gruppe 2 (siehe auch Abbildung 8). Während der generelle Erschöpfungsanstieg in Gruppe 1 bei $M = 0.38$ ($SD = 0.59$) liegt, weist dieser in Gruppe 2 einen Mittelwert von $M = 0.09$ ($SD = 0.68$) auf, $t(184) = 3.15$, $p < .01$. Auch auf den Vergleich der absoluten, generellen Erschöpfungswerte wirkt sich dies aus. Während sich die Mittelwerte der generellen Erschöpfung zu t1 zwischen den Gruppen nicht unterscheiden ($M = 2.67$ ($SD = 0.73$) in Gruppe 1, $M = 2.72$ ($SD = 0.79$) in Gruppe 2, $t(184) = -0.47$, $p = .64$), weist Gruppe 1 zu t2 einen signifikant höheren Wert auf ($M = 3.05$ ($SD = 0.79$) in Gruppe 1, $M = 2.81$ ($SD = 0.82$) in Gruppe 2, $t(184) = 2.05$, $p = .04$). Insgesamt fällt das Regressionsmodell signifikant aus, $F(2,183) = 4.89$, $p < .01$, und besitzt laut Cohen (1988) eine geringe Varianzaufklärung von $R^2 = .051$ (korrigiertes $R^2 = .040$).

Tabelle 3.*Generelle Erschöpfungsentwicklung über den N-Back-Task (von t1 zu t2)*

Prädiktoren	<i>b</i>	<i>SE</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	95% <i>CI</i>
Intercept	0.38	0.07	0.23	5.36	<0.001	[0.24, 0.53]
Gruppe	-0.29	0.09	-0.45	-3.11	0.002	[-0.48, -0.11]
Δ PEP	0.00	0.01	0.01	0.15	0.882	[-0.01, 0.01]
Beobachtungen	186					
R^2 / R^2 korrigiert	0.051 / 0.040					

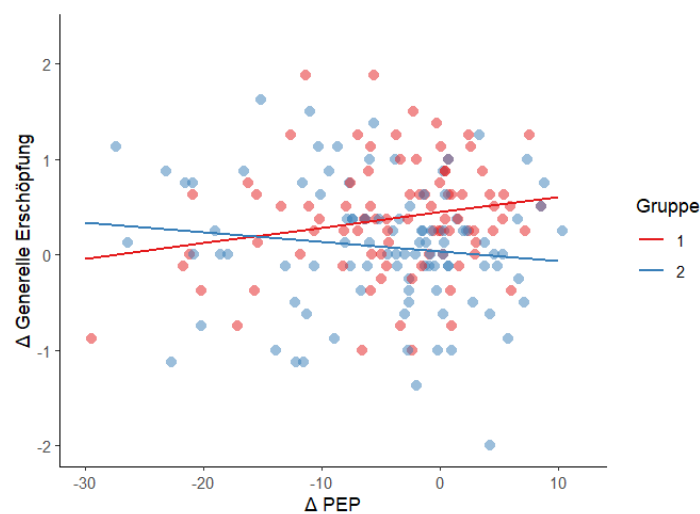
Anmerkung. Gruppencodierung: 0 = Gruppe 1, 1 = Gruppe 2.

Abbildung 8. Veränderung der generellen Erschöpfung von t1 zu t2 nach Anstrengungslevel (Signifikanter Haupteffekt von Gruppe, $p < .01$; Gruppe 1 = Anstrengungsgebundene Belohnung, Gruppe 2 = Leistungsgebundene Belohnung; Höhere Werte auf der y-Achse bedeuten einen stärkeren Erschöpfungsanstieg; Niedrigere Werte auf der x-Achse bedeuten eine höhere Anstrengung).

Der Haupteffekt von Gruppe hinsichtlich der Veränderung der motivationalen Erschöpfung während des N-Back-Task erwies sich als signifikant, jedoch abermals in die entgegengesetzte Richtung wie erwartet, $b = -0.26$, $SE = 0.10$, $t(183) = -2.75$, $p < .01$ (siehe Tabelle 4). Mit einem Cohen's $f^2 = 0.041$ fällt der Effekt tendenziell schwach aus (Cohen, 1988). Gegenteilig den Erwartungen in Hypothese 2 kam es in Gruppe 1 zu einem stärkeren Anstieg der motivationalen Erschöpfung gegenüber Gruppe 2 (siehe auch Abbildung 9). Während der motivationale Erschöpfungsanstieg in Gruppe 1 bei $M = 0.53$ ($SD = 0.62$) liegt,

weist dieser in Gruppe 2 einen Mittelwert von $M = 0.27$ ($SD = 0.69$) auf, $t(184) = 2.75, p < .01$. Absolut betrachtet unterscheiden sich jedoch die Mittelwerte der motivationalen Erschöpfung weder zu t1 ($M = 2.28$ ($SD = 0.75$) in Gruppe 1, $M = 2.30$ ($SD = 0.76$) in Gruppe 2, $t(183) = -0.20, p = .84$) noch zu t2 ($M = 2.82$ ($SD = 0.93$) in Gruppe 1, $M = 2.58$ ($SD = 0.92$) in Gruppe 2, $t(182) = 1.78, p = .08$), wenngleich der Vergleich zu t2 nur knapp nicht-signifikant ausfällt und in Richtung einer höheren motivationalen Erschöpfung von Gruppe 1 deutet. Nach Cohen (1988) liegt die Varianzaufklärung des Regressionsmodells mit $R^2 = .040$ (korrigiertes $R^2 = .030$) im geringen Bereich, wobei das Modell signifikant ausfällt, $F(2,183) = 3.82, p = .02$.

Tabelle 4.

Motivationale Erschöpfungsentwicklung über den N-Back-Task (von t1 zu t2)

<i>Prädiktoren</i>	<i>b</i>	<i>SE</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>95% CI</i>
Intercept	0.53	0.07	0.21	7.16	<0.001	[0.38, 0.67]
Gruppe	-0.26	0.10	-0.40	-2.75	0.007	[-0.45, -0.07]
Δ PEP	-0.00	0.01	-0.03	-0.39	0.694	[-0.01, 0.01]
Beobachtungen	186					
R^2 / R^2 korrigiert	0.040 / 0.030					

Anmerkung. Gruppencodierung: 0 = Gruppe 1, 1 = Gruppe 2.

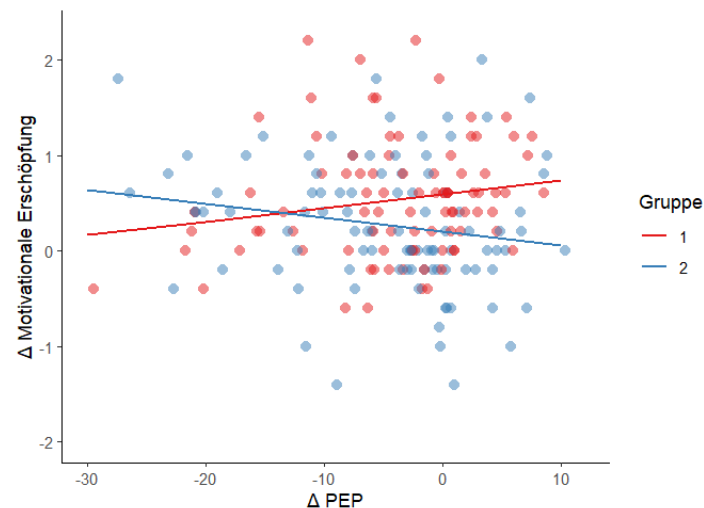


Abbildung 9. Veränderung der motivationalen Erschöpfung von t1 zu t2 nach Anstrengungslevel (Signifikanter Haupteffekt von Gruppe, $p < .01$; Gruppe 1 = Anstrengungsgebundene Belohnung, Gruppe 2 = Leistungsgebundene Belohnung; Höhere Werte auf der y-Achse bedeuten einen stärkeren Erschöpfungsanstieg; Niedrigere Werte auf der x-Achse bedeuten eine höhere Anstrengung).

Explorative Analysen

Basierend auf den Ausführungen im Abschnitt *Effort-Reward Imbalance Model* kann bereits die Höhe von Belohnungen an sich einen Einfluss auf die Erschöpfung ausüben. Um dies im Rahmen der Studie zu untersuchen, wurden Regressionsanalysen durchgeführt. Die Veränderung der generellen Erschöpfung während des N-Back-Task kann dabei durch die erhaltene Gesamtbelohnung nicht vorhergesagt werden, $b = -0.00$, $SE = 0.00$, $t(184) = -1.48$, $p = .14$. Selbiges gilt für die Veränderung der motivationalen Erschöpfung während des N-Back-Task, $b = -0.00$, $SE = 0.00$, $t(184) = -1.54$, $p = .13$. Wenngleich keine Signifikanzlevel erreicht wurden, so zeichnet sich für beide Erschöpfungsdimensionen (generell und motivational) doch eine gewisse Tendenz einer erschöpfungspuffernden Wirkung von höheren Belohnungen ab (am Beispiel der motivationalen Erschöpfung in Abbildung 10 illustriert).

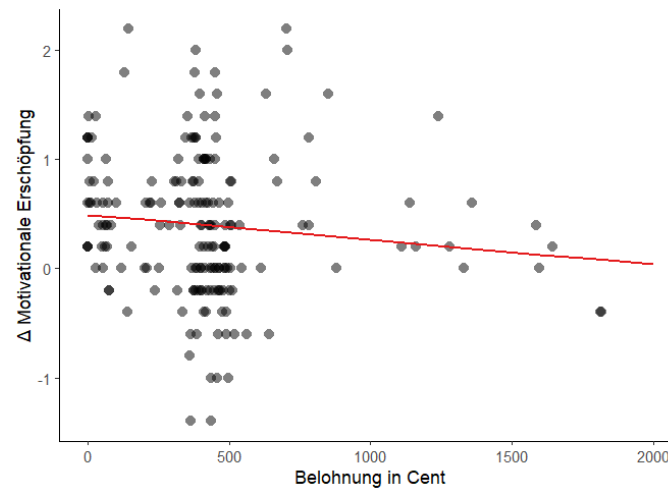


Abbildung 10. Zusammenhang der Belohnung und der Veränderung der motivationalen Erschöpfung von t1 zu t2 (Nicht-signifikant, $p = .13$; Höhere Werte auf der y-Achse bedeuten einen stärkeren Erschöpfungsanstieg)

Den gerade beschriebenen Analysegegenstand fortführend wurde ebenfalls untersucht, ob die Interaktion aus Gesamtbelohnung und durchschnittlicher Anstrengung die Veränderung des Erschöpfungszustandes über den N-Back-Task vorhersagen kann. Für die Veränderung der generellen Erschöpfung ist die Interaktion aus Gesamtbelohnung und Anstrengung dabei kein signifikanter Prädiktor, $b = 0.00$, $SE = 0.00$, $t(182) = 0.07$, $p = .95$. Auch die Entwicklung der motivationalen Erschöpfung lässt sich durch die Interaktion nicht vorhersagen, $b = -0.00$, $SE = 0.00$, $t(182) = -0.42$, $p = .67$.

In einer weiteren Analyse wurde untersucht, ob zwischen Personen mit durchschnittlich negativem PEP-Veränderungswert während des N-Back-Task gegenüber jenen Personen mit durchschnittlich positivem PEP-Veränderungswert Leistungsunterschiede bestehen. Die Leistung im N-Back-Task wurde basierend auf folgender Formel berechnet: $(\text{Anzahl korrekter Antworten} - \text{Anzahl falscher Antworten}) / 16$. 16 ist dabei die Anzahl an Blöcken im N-Back-Task. Wenngleich lediglich negative PEP-Veränderungswerte auf investierte Anstrengungen deuten, zeigt sich zwischen den beiden Personengruppen kein signifikanter Leistungsunterschied ($M = 4.56$ ($SD = 0.64$) in der Personengruppe mit

negativem PEP-Veränderungswert, $M = 4.38$ ($SD = 0.83$) in der Personengruppe mit positivem PEP-Veränderungswert, $t(99) = 1.57, p = .12$.

Zu Übersichts- und Zusammenfassungszwecken sind am Ende des Abschnitts *Phase 2 (MET)* zudem deskriptive Kennzahlen und Korrelationen der zentralen Variablen über das gesamte Experiment aufgeführt, aufgeteilt nach Gruppe 1 (Tabelle 7) und Gruppe 2 (siehe Tabelle 8).

Phase 2 (MET)

Der Haupteffekt von Gruppe bezüglich der Entwicklung der generellen Erschöpfung während des MET fiel nicht signifikant aus, $b = 0.16, SE = 0.11, t(183) = 1.47, p = .14$ (siehe Tabelle 5 und Abbildung 11). Hypothese 3, dass Anstrengungen im MET in Gruppe 1 zu einem niedrigeren Anstieg der generellen Erschöpfung führen, konnte somit nicht gestützt werden. Absolut betrachtet liegt der generelle Erschöpfungsanstieg in Gruppe 1 bei $M = 0.54$ ($SD = 0.74$) und in Gruppe 2 bei $M = 0.70$ ($SD = 0.74$), $t(182) = -1.53, p = .13$. Die generelle Erschöpfung nach dem MET weist in Gruppe 1 einen Mittelwert von $M = 3.58$ ($SD = 0.79$) auf und in Gruppe 2 von $M = 3.51$ ($SD = 0.79$), wobei der Unterschied nicht signifikant ist, $t(182) = 0.65, p = .52$. Insgesamt erklärt das Modell mit $R^2 = .014$ (korrigiertes $R^2 = .003$) kein relevantes Ausmaß an Varianz (Cohen, 1988) und fällt auch nicht signifikant aus, $F(2,183) = 1.27, p = .28$.

Tabelle 5.*Generelle Erschöpfungsentwicklung über den MET (von t2 zu t3)*

Prädiktoren	<i>b</i>	<i>SE</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	95% <i>CI</i>
Intercept	0.54	0.08	-0.11	6.87	<0.001	[0.39, 0.70]
Gruppe	0.16	0.11	0.22	1.47	0.142	[-0.05, 0.38]
Δ PEP	-0.00	0.01	-0.03	-0.46	0.647	[-0.02, 0.01]
Beobachtungen	186					
R^2 / R^2 korrigiert	0.014 / 0.003					

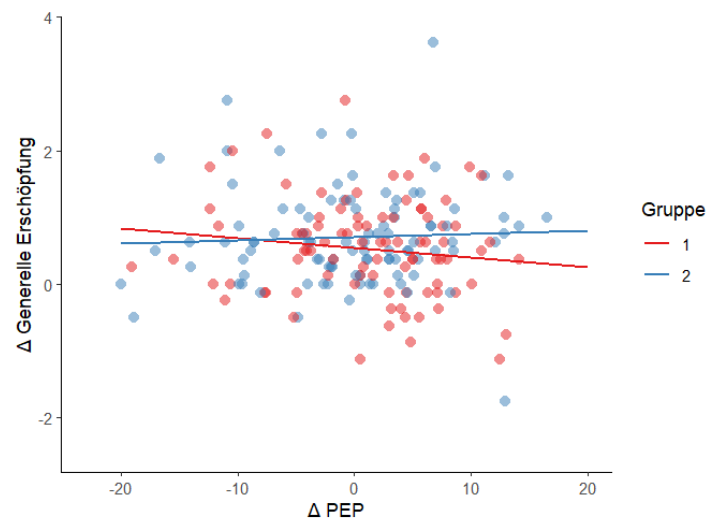
Anmerkung. Gruppencodierung: 0 = Gruppe 1, 1 = Gruppe 2.

Abbildung 11. Veränderung der generellen Erschöpfung von t2 zu t3 nach Anstrengungslevel (Nicht-signifikanter Haupteffekt von Gruppe, $p = .14$; Gruppe 1 = Anstrengungsgebundene Belohnung, Gruppe 2 = Leistungsgebundene Belohnung; Höhere Werte auf der y-Achse bedeuten einen stärkeren Erschöpfungsanstieg; Niedrigere Werte auf der x-Achse bedeuten eine höhere Anstrengung).

Der Haupteffekt von Gruppe mit Blick auf die Entwicklung der motivationalen Erschöpfung während des MET fiel signifikant aus, $b = 0.34$, $SE = 0.13$, $t(183) = 2.68$, $p < .01$ (siehe Tabelle 6 und Abbildung 12). Hypothese 4, dass Anstrengungen im MET in Gruppe 1 zu einem niedrigeren Anstieg der motivationalen Erschöpfung führen, wird somit durch die Ergebnisse gestützt. Der Effekt ist dabei mit einem Cohen's $f^2 = 0.039$ eher schwach (Cohen, 1988). Absoluter Natur liegt der motivationale Erschöpfungsanstieg in Gruppe 1 bei $M = 0.61$

($SD = 0.88$) und in Gruppe 2 bei $M = 0.95$ ($SD = 0.85$), $t(181) = -2.71, p < .01$. Die motivationale Erschöpfung nach dem MET (Zeitpunkt t3) liegt in Gruppe 1 bei $M = 3.42$ ($SD = 0.89$) und in Gruppe 2 bei $M = 3.53$ ($SD = 0.98$), wobei der Unterschied nicht signifikant ist, $t(184) = -0.75, p = .45$. Insgesamt fällt das Regressionsmodell signifikant aus, $F(2,183) = 3.69, p = .03$, und erklärt mit $R^2 = .039$ (korrigiertes $R^2 = .028$) ein geringes Ausmaß an Varianz (Cohen, 1988).

Tabelle 6.

Motivationale Erschöpfungsentwicklung über den MET (von t2 zu t3)

Prädiktoren	<i>b</i>	<i>SE</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	95% <i>CI</i>
Intercept	0.61	0.09	-0.20	6.63	<0.001	[0.43, 0.79]
Gruppe	0.34	0.13	0.39	2.68	0.008	[0.09, 0.59]
Δ PEP	-0.00	0.01	-0.01	-0.18	0.856	[-0.02, 0.02]
Beobachtungen	186					
R^2 / R^2 korrigiert	0.039 / 0.028					

Anmerkung. Gruppencodierung: 0 = Gruppe 1, 1 = Gruppe 2.

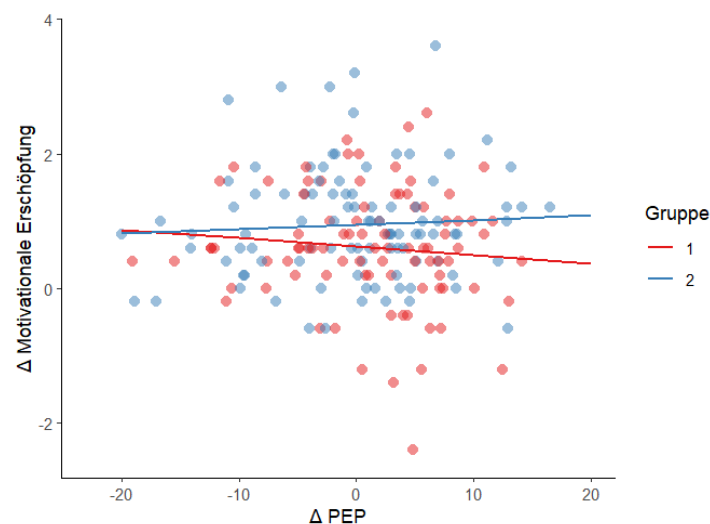


Abbildung 12. Veränderung der motivationalen Erschöpfung von t2 zu t3 nach Anstrengungslevel (Signifikanter Haupteffekt von Gruppe, $p < .01$; Gruppe 1 = Anstrengungsgebundene Belohnung, Gruppe 2 = Leistungsgebundene Belohnung; Höhere Werte auf der y-Achse bedeuten einen stärkeren Erschöpfungsanstieg; Niedrigere Werte auf der x-Achse bedeuten eine höhere Anstrengung).

Nachfolgend sind abschließend deskriptive Kennzahlen und Korrelationen der zentralen Studienvariablen abgebildet, getrennt nach Gruppe 1 (siehe Tabelle 7) und Gruppe 2 (siehe Tabelle 8), um die Auswirkungen der Manipulation nicht zu vermischen. Auffallend ist, dass in beiden Gruppen keine signifikante Korrelation der Anstrengung in Phase 1 mit der Erschöpfungsveränderung über Phase 1 (t1 zu t2) besteht. Selbiges gilt für die Korrelation der Anstrengung in Phase 2 mit der Erschöpfungsveränderung über Phase 2 (t2 zu t3).

Tabelle 7.

Deskriptive Kennzahlen und Korrelationen der zentralen Studienvariablen von Gruppe 1 (Anstrengungsgebundene Belohnung)

Variable	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6
1. Δ PEP (Baseline zu Phase 1; in ms)	-3.92	7.42						
2. Δ PEP (Baseline zu Phase 2; in ms)	1.10	6.91	.74**					
3. Belohnung (Phase 1; in Cent)	431.19	469.80	-.87**	-.62**				
4. Δ Generelle Erschöpfung (t1 zu t2)	0.38	0.59	.20	.11	-.15			
5. Δ Motivationale Erschöpfung (t1 zu t2)	0.53	0.62	.17	.11	-.14	.55**		
6. Δ Generelle Erschöpfung (t2 zu t3)	0.54	0.74	-.28**	-.13	.23*	-.33**	-.03	
7. Δ Motivationale Erschöpfung (t2 zu t3)	0.61	0.88	-.19	-.10	.13	-.21	-.20	.71**

Anmerkung. *p*-Werte sind unkorrigiert. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tabelle 8.

Deskriptive Kennzahlen und Korrelationen der zentralen Studienvariablen von Gruppe 2 (Leistungsgebundene Belohnung)

Variable	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6
1. Δ PEP (Baseline zu Phase 1; in ms)	-4.76	8.37						
2. Δ PEP (Baseline zu Phase 2; in ms)	-0.32	7.64	.75**					
3. Belohnung (Phase 1; in Cent)	415.34	87.36	.00	-.07				
4. Δ Generelle Erschöpfung (t1 zu t2)	0.09	0.68	-.12	-.08	-.16			
5. Δ Motivationale Erschöpfung (t1 zu t2)	0.27	0.69	-.18	-.12	-.19	.68**		
6. Δ Generelle Erschöpfung (t2 zu t3)	0.70	0.74	-.03	.05	-.09	-.32**	-.11	
7. Δ Motivationale Erschöpfung (t2 zu t3)	0.95	0.85	.01	.06	-.02	-.18	-.15	.65**

Anmerkung. *p*-Werte sind unkorrigiert. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Explorative Analysen

Mit Blick auf den Abschnitt *Anstrengung und Leistung* wurden explorativ die Zusammenhänge von investierten Anstrengungen und gezeigten Leistungen in den beiden Phasen analysiert. Hierzu erschien eine Aufteilung der Analyse nach Gruppen nicht notwendig beziehungsweise sinnvoll, weshalb die in Tabelle 9 quantifizierten Korrelationen auf der gesamt verwendeten Stichprobe fußen. Im MET wurde die Leistung für die beiden Schwierigkeitsstufen, Stufe 1 und Stufe 2, separat berechnet. Der Leistungswert entspricht dabei den Prozent an richtigen Antworten. In Tabelle 9 ist ersichtlich, dass sowohl in Phase 1 als auch in Phase 2 eine nicht-signifikante Korrelation von investierter Anstrengung und erzielter Leistung besteht.

Tabelle 9.*Deskriptive Kennzahlen und Korrelationen von gemessener Anstrengung und Leistung*

Variable	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4
1. Δ PEP (Baseline zu Phase 1)	-4.36	7.92				
2. Δ PEP (Baseline zu Phase 2)	0.36	7.31	.74**			
3. Leistung Phase 1	4.50	0.71	-.11	-.15*		
4. Leistung Phase 2 (Stufe 1)	0.95	0.06	.07	.07	.14	
5. Leistung Phase 2 (Stufe 2)	0.40	0.21	.09	-.01	.22**	.28**

Anmerkung. *p*-Werte sind unkorrigiert. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Wie beim N-Back-Task wurde ebenfalls eine Analyse durchgeführt, ob zwischen Personen mit durchschnittlich negativem PEP-Veränderungswert während des MET gegenüber jenen Personen mit durchschnittlich positivem PEP-Veränderungswert Leistungsunterschiede bestehen. Auch im MET zeigt sich dabei zwischen den beiden Personengruppen kein signifikanter Leistungsunterschied, weder bei Aufgaben der Stufe 1 ($M = 0.94$ ($SD = 0.06$) in der Personengruppe mit negativem PEP-Veränderungswert, $M = 0.95$ ($SD = 0.06$) in der Personengruppe mit positivem PEP-Veränderungswert, $t(160) = -0.26$, $p = .79$) noch bei Aufgaben der Stufe 2 ($M = 0.41$ ($SD = 0.22$) in der Personengruppe mit negativem PEP-Veränderungswert, $M = 0.40$ ($SD = 0.21$) in der Personengruppe mit positivem PEP-Veränderungswert, $t(165) = 0.40$, $p = .69$).

Diskussion

Die Frage, welche Rahmenbedingungen mentaler Anstrengung eine geringere mentale Erschöpfung erwarten lassen, ist eine sehr grundlegende. Die gegenwärtige Studie sollte in diesem Kontext zum einen untersuchen, ob geringere Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen

zu einem geringeren Erschöpfungsanstieg führen. Zum anderen sollte sich die Studie der Fragestellung widmen, ob Anstrengung in einem geringeren Erschöpfungsanstieg resultiert, wenn ihr eine stärkere intrinsische Motivation zugrundeliegt.

Die Ergebnisse zeigen, dass es wider den Hypothesen 1 und 2 im N-Back-Task in Gruppe 1 gegenüber Gruppe 2 zu einem stärkeren Anstieg sowohl der generellen als auch der motivationalen Erschöpfung kam (bei kontrollierter Anstrengung sowie als gleichwertig anzusehender Ausgangserschöpfung zu t1). Visuell wird dies durch einen Blick auf die Regressionsgeraden ersichtlich (siehe Abbildungen 8 und 9), welche bei Gruppe 1 größtenteils über jenen von Gruppe 2 liegen. Ein stärkerer genereller sowie motivationaler Erschöpfungsanstieg in Gruppe 1 resultierte demnach vor allem bei mittleren bis niedrigen Anstrengungen. Lediglich bei sehr hohen Anstrengungen scheint tendenziell ein stärkerer Erschöpfungsanstieg in Gruppe 2 vorzuliegen. Dies fällt jedoch wenig ins Gewicht, da in diesem Anstrengungsbereich vergleichsweise wenige Personen liegen. Zumal die Hypothesen 1 und 2 keinen Anstrengungsbereich spezifizieren und es gesamt betrachtet im N-Back-Task in Gruppe 1 zu einem stärkeren Anstieg sowohl der generellen als auch der motivationalen Erschöpfung kam, stützen die Ergebnisse diese Hypothesen nicht.

Mit Blick auf den MET ist es nicht gelungen, in Gruppe 1 eine höhere intrinsische Motivation zu Anstrengung herbeizuführen, da beide Gruppen in dieser belohnungsfreien Phase ein vergleichbares Maß an Anstrengung investierten. Im Einklang damit wurde auch kein Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt bezüglich des Ausmaßes, in dem Anstrengungen im MET zu einem Anstieg der generellen Erschöpfung führten (Hypothese 3 wird somit nicht gestützt). Jedoch stützen die Ergebnisse Hypothese 4, wonach im MET in Gruppe 1 gegenüber Gruppe 2 ein schwächerer Anstieg der motivationalen Erschöpfung besteht.

Interpretation und Einordnung

Eine Interpretation für den stärkeren generellen sowie motivationalen Erschöpfungsanstieg in der anstrengungsgebundenen Belohnungsgruppe während Phase 1 liegt im Gefühl von Beeinflussbarkeit und Kontrolle über die erhaltenen Belohnungen. In einem Treffen fast aller eingesetzten Versuchsleiter der Studie wurde ersichtlich, dass auf die Fragen in den Debriefings hin keine Person die Vermutung äußerte, für ihre Anstrengung belohnt worden zu sein. Des Öfteren teilten Teilnehmer aus Gruppe 1 jedoch mit, dass sie glaubten die Aufgabenstellung falsch verstanden zu haben, zumal sie die Belohnungssystematik nicht nachvollziehen konnten oder dass es in der Studie darum gegangen sei, Frustration zu induzieren. Keine Person schien jedoch den Gedanken zu haben, dass sie für ihre Anstrengung belohnt wurde. Aufgrund dieses Austausches über die Debriefing-Gespräche wird davon ausgegangen, dass Personen in Gruppe 1 den Hintergrund ihrer Belohnungssystematik großteils nicht spürten beziehungsweise erfassten. Vielmehr herrschte bei diesen Personen wahrscheinlich ein frustrierendes Gefühl von Unklarheit und fehlender Kontrolle, was sie für den Erhalt von Belohnungen tun müssen. Dieses Empfinden könnte eine Ursache für den stärkeren Erschöpfungsanstieg von Gruppe 1 gegenüber Gruppe 2 in Phase 1 sein. Eine derartige Interpretation harmoniert mit Forschungen, welche für einen negativen Zusammenhang des Gefühls von Kontrolle bei der Aufgabenbearbeitung mit der resultierenden Erschöpfung sprechen (Hockey, 2013; Hockey & Earle, 2006; Shoman et al., 2022; Zhang et al., 2014). Je höher die Anstrengung in Gruppe 1 (= höhere Belohnung) desto weniger kamen wahrscheinlich die thematisierten negativen Empfindungen auf, zumal diese durch die Freude über die höheren Belohnungen zunehmend überdeckt und die Hintergründe der Belohnungssystematik weitaus weniger hinterfragt wurden. Dies könnte den Anstieg der Regressionsgeraden für Gruppe 1 in Phase 1 erklären (siehe Abbildungen 8 und 9), wonach

mit abnehmender Anstrengung die generelle sowie motivationale Erschöpfung stärker zunimmt.

Die Ergebnisse können, wenngleich anders ausgefallen als erwartet, unter Umständen auch als passend zu bisherigen korrelativen Studien interpretiert werden, welche darauf hindeuten, dass eine höhere Anstrengungs-Belohnungs-Imbalance erschöpfungsverstärkend wirkt (unter anderem Fahlen et al., 2006; Sembajwe et al., 2012; Montoro et al., 2022). Interessanterweise steigen die Regressionsgeraden in Phase 1 in Gruppe 1 an, sodass mit abnehmender Anstrengung die generelle sowie motivationale Erschöpfung tendenziell stärker zunimmt. Zumal diese Gruppe für ihre Anstrengung belohnt wurde, sinkt mit abnehmender Anstrengung zugleich die erhaltene Belohnung. Eine Interpretationsmöglichkeit dieser Ergebnisse ist, dass in Gruppe 1 die subjektive Imbalance aus Anstrengung und Belohnung mit abnehmender Anstrengung zunahm. Dass Personen aus dieser Gruppe also immer weniger das Gefühl hatten, eine adäquate Belohnung für ihre Anstrengung zu erhalten, je niedriger die gemessene Anstrengung war, und infolgedessen zunehmende generelle sowie motivationale Erschöpfungszustände auftraten. Zumal in Gruppe 2 die Belohnungen ausschließlich von der Leistung abhingen, konnten Personen hier mit niedriger Anstrengung deutlich höhere Belohnungsbeträge erreichen. Wenngleich die subjektive Passung von Anstrengung und Belohnung nicht direkt erfasst wurde, bestehen Indizien für eine mögliche Problematik im Zuge der Anstrengungserfassung, welche Anhaltspunkte für die in diesem Abschnitt beschriebene Interpretation liefern. Es erscheint plausibel, dass die tatsächliche Anstrengung eines bedeutenden Teils der Versuchspersonen über der anhand der PEP-Werte eingestuften Anstrengung gelegen haben könnte (siehe folgender Abschnitt *Limitationen*).

Unabhängig von den Erklärungsansätzen für die Ergebnisse zeigt das Experiment, dass objektiv gleiche Anstrengungen je nach Gruppe zu unterschiedlichen Veränderungen der Erschöpfung führen können. Im Rahmen der wissenschaftlichen Diskussion, inwiefern

mentale Erschöpfung biologisch oder motivational begründet ist (unter anderem Botvinick & Braver, 2014; Gergelyfi et al., 2015; Hockey, 2011; Müller & Apps, 2019), liefert die Studie somit klare Anhaltspunkte für eine motivationale Komponente mentaler Erschöpfung.

Zur Einordnung der Ergebnisse von Phase 2 ist insbesondere die Studie von Clay et al. (2022) relevant. In dieser konnte die intrinsische Anstrengungsbereitschaft mittels anstrengungsgebundener Belohnungen (PEP-basiert) gegenüber zufälligen Belohnungen gesteigert werden (Wahl höherer Aufgabenschwierigkeiten in einer nachfolgenden, belohnungsfreien Aufgabe). Dies deutet darauf hin, dass die Teilnehmer aus der Gruppe der anstrengungsgebundenen Belohnung (unbewusst) zumindest ein gewisses Muster in ihren Belohnungen spürten. Das Ergebnis ist insofern von Relevanz für das Verständnis der gegenwärtigen Resultate, zumal die Personen dieselben Aufgaben durchliefen (N-Back-Task und MET) und ebenfalls lediglich während des N-Back-Task belohnt wurden. Basierend auf den hier befindlichen Ergebnissen scheint sich die leistungsgebundene Belohnungssystematik von der anstrengungsgebundenen Belohnungssystematik bezüglich des Einflusses auf die intrinsische Motivation zu Anstrengung nicht zu unterscheiden, zumal beide Gruppen in Phase 2 ein vergleichbares Maß an Anstrengung investierten. Als zentraler Hintergrund hierfür wird eingeschätzt, dass es für Gruppe 2 gegenüber Gruppe 1 wesentlich klarer schien, wovon ihre Belohnungen abhingen beziehungsweise was sie für deren Erwerb tun mussten (darauf deuten die Debriefing-Gespräche hin). So könnte das höhere Kontrollgefühl beziehungsweise die höhere Klarheit die grundsätzliche Motivation zur engagierten Durchführung des restlichen Experiments nach dem N-Back-Task beeinflusst haben. In jedem Fall scheint der Einfluss der leistungsgebundenen Belohnung auf die Anstrengung in Phase 2 auf einem der anstrengungsgebundenen Belohnung ähnlichen Niveau zu sein. Dass Anstrengung in der zweiten Phase zwischen den Gruppen zu keinem unterschiedlichen Anstieg der generellen Erschöpfung führte (= Verwurf von Hypothese 3), entspricht insofern

den Erwartungen, da von keiner unterschiedlichen zugrundeliegenden intrinsischen Anstrengungsmotivation ausgegangen werden kann. Hypothese 4 wiederum wird jedoch gestützt, zumal Anstrengungen im MET in Gruppe 1 gegenüber Gruppe 2 zu einem niedrigeren Anstieg der motivationalen Erschöpfung führten. Weil eine höhere intrinsische Anstrengungsmotivation nicht vorzuliegen scheint, kommen andere Ursachen infrage. Es könnte sich beispielsweise um einen Annäherungseffekt der Erschöpfung handeln. Zu t2 liegt der Mittelwert der motivationalen Erschöpfung in Gruppe 1 tendenziell über jenem von Gruppe 2 (wenngleich knapp nicht signifikant). Von einem niedrigeren Erschöpfungsniveau beginnend, könnte dieselbe Anstrengung schlichtweg einen stärkeren Erschöpfungsanstieg ausgelöst haben. Auch für die generelle Erschöpfung zeichnet sich eine derartige Annäherungstendenz hinsichtlich eines geringeren Mittelwertunterschieds zwischen den Gruppen zu t3 gegenüber t2 ab.

Limitationen

In engem Zusammenhang mit dem Interpretationsansatz, dass in Phase 1 in Gruppe 1 subjektiv ausgeprägtere Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen gegenüber Gruppe 2 für die stärkeren Erschöpfungsanstiege verantwortlich sind, steht eine mögliche Problematik im Rahmen der Anstrengungserfassung. Ausgehend davon, dass das Hören von entspannender Musik in jedem Fall weniger Anstrengung als das Bearbeiten von Gedächtnis- oder Kopfrechenaufgaben mit sich bringen sollte, sollte der durchschnittliche PEP-Veränderungswert von der Baseline zu Phase 1 / 2 stets im negativen Bereich liegen. Allerdings liegt dieser bei 62 Personen in Phase 1 sowie bei 106 Personen in Phase 2 im positiven Bereich. In Bezug auf die mögliche Argumentation, dass die positiven PEP-Veränderungswerte ein Aufgeben beziehungsweise Nicht-Versuchen widerspiegeln, wie es beispielsweise bei Richter et al. (2008) in Zusammenhang mit unlösbaren Aufgaben der Fall war, besteht aus mehreren Gründen Skepsis. Erstens schreiben Albinet et al. (2024) in ihrem

narrativen Review zum Thema der Verwendung der PEP als Indikator für mentale Anstrengung, dass die Datenlage bisher zu uneindeutig und spärlich ist, um davon ausgehen zu können, dass PEP-Veränderungswerte im Falle eines eingestellten Engagements nicht gegen 0 gehen (= zurück auf Baseline-Niveau), sondern darüber hinweg ins Positive.

Zweitens berichten Albinet et al. mehrere Studien, in welchen ein Habituationseffekt der PEP festgestellt wurde (im Sinne eines Abflachens des PEP-Ausschlags über die Bearbeitungsdauer von kognitiven Aufgaben hinweg; unter anderem Brenner et al. (2005); Kelsey et al. (2000); Kelsey et al. (2004)). Diesem möglichen, reinen Zeiteffekt (Albinet et al. wollen dies aufgrund teilweise widersprüchlicher Ergebnisse noch nicht endgültig beurteilen) wurde in der hier befindlichen Studie keine Rechnung getragen. Drittens sei hinsichtlich der natürlichen Entwicklung der PEP-Werte laut Albinet et al. noch ungeklärt, inwiefern die Ruhezustands-PEP über die Bearbeitungsdauer von Aufgaben hinweg fluktuiert. So könnte es sein, dass die Ruhezustands-PEP nach 15 Minuten der Aufgabenbearbeitung eine andere ist als zu Beginn des Experiments und demnach die ursprüngliche PEP-Baseline keine valide Ausgangsbasis zur Beurteilung der nachfolgenden Anstrengung mehr ist. Viertens resultierte eine nicht-signifikante Korrelation von Anstrengung und Leistung (siehe Tabelle 9), mit zudem ungewöhnlich niedrigen Werten zwischen -0.11 und 0.07. In der im Abschnitt *Anstrengung und Leistung* beschriebenen Forschung lag die Korrelation oft bei ungefähr 0.3, was deutlich von dem hier gefundenen Zusammenhang abweicht. Auch dies kann ein Indikator dafür sein, dass die Anstrengungsmessung mit Problemen behaftet war. Fünftens zeigte sich bei einem Vergleich der Leistungen kein signifikanter Unterschied zwischen den Personen mit durchschnittlich negativem PEP-Veränderungswert und jenen mit durchschnittlich positivem PEP-Veränderungswert. Dies ergaben sowohl die Analysen für Phase 1 als auch für Phase 2 (siehe respektive Abschnitte *Explorative Analysen*), was darauf hindeutet, dass auch die 62 Personen in Phase 1 und die 106 Personen in Phase 2 mit

durchschnittlich positivem PEP-Veränderungswert Anstrengungen investierten. Zumal die Auffassung vertreten wird, dass es sich bei Anstrengung um eine notwendige, wenngleich unzureichende Bedingung für Leistung handelt (siehe Abschnitt *Anstrengung und Leistung*). Als sechster Punkt kann schließlich angeführt werden, dass es als äußerst unwahrscheinlich erscheint, dass ungefähr ein Drittel der Teilnehmer während einer belohnten Aufgabe mit variierendem Schwierigkeitsgrad, noch dazu der Aufgabenstart des Experiments, im Schnitt keine Anstrengung investierte. Insgesamt erscheint es somit plausibel, dass die tatsächliche Anstrengung bei einem bedeutenden Teil der Versuchspersonen über der durch die PEP-Werte eingestuften Anstrengung gelegen haben könnte, insbesondere mit Blick auf die Vielzahl an Personen mit durchschnittlich positivem PEP-Veränderungswert. Dieser Argumentationslinie folgend hätten viele Personen aus Gruppe 1 mit durchschnittlich positivem PEP-Veränderungswert in Phase 1 eine besonders starke Anstrengungs-Belohnungs-Imbalance empfunden, zumal sie für ihre Anstrengung kaum oder gar keine Belohnungen erhielten. Schlussendlich könnten diese starken Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen für die in Gruppe 1 in Phase 1 ansteigenden Regressionsgeraden (zunehmender Erschöpfungsanstieg mit abnehmender Anstrengung; siehe Abbildungen 8 und 9) verantwortlich sein und auch den Unterschied zwischen den Gruppen in der Erschöpfungsveränderung über Phase 1 erklären.

Eine mögliche Konfundierung der Anstrengungsmessung könnte ebenfalls aus der PEP-Baseline-Messung während des Musikhörens stammen. Im Rahmen der Versuchsvorbereitungen vor dem Musikhören bewegte sich der jeweilige Versuchsleiter über circa 15 Minuten hinweg für die Verkabelung mit Körper- und Gesichtselektroden sehr nah an den Personen und berührte diese wiederholt mittels der Elektroden. Diese ungewohnte Situation kann für Teilnehmer aufwühlend beziehungsweise stressbehaftet gewesen sein, sodass sie sich womöglich erst im Laufe des Experiments entspannten, zumal sie dann durch die Aufgabenbearbeitung auch eine stärkere Ablenkung erfuhren. Albinet et al. (2024)

beschreiben in ihrem Review genau diese Problematik, dass ein hohes Stresserleben zu Beginn des Experiments kardiovaskuläre Indikatoren wie die Herzfrequenz oder den Blutdruck verändern kann (zum Beispiel eine Steigerung der Herzfrequenz), welche ihrerseits die PEP beeinflussen können. Eine stressbedingt verzerrte PEP-Baseline (im Sinne von niedrigeren PEP-Werten als im eigentlichen, entspannten Ruhezustand) konterkariert die Anstrengungsmessung insofern, als dass die tatsächlichen Anstrengungen während der Aufgabenbearbeitungen dann nicht korrekt erfasst worden wären. Mit dem zunehmenden Abebben des anfänglichen Stresses könnten die gemessenen PEP-Veränderungswerte in den Aufgabenphasen dann laut Albinet et al. eine Mischung aus Anstrengungs- und Entspannungsprozessen abbilden.

Eine weitere Limitation besteht im Unterschied der Belohnungsvarianz beim N-Back-Task in den beiden Gruppen. Wenngleich die Mittelwerte sich nicht signifikant unterscheiden, so sind in der Gruppe der anstrengungsgebundenen Belohnung deutlich mehr Personen mit niedriger oder gar keiner Belohnung vorhanden. Es ist unklar, ob die höhere Belohnungsvarianz in dieser Gruppe einen Einfluss auf die Motivation beziehungsweise Bereitschaft zur engagierten Durchführung des weiteren Studienverlaufs hatte. Es erscheint plausibel, dass insbesondere bei den Personen mit sehr niedriger beziehungsweise gar keiner Belohnung eine gewisse Demotivation aufkam, zumal ihnen vor dem N-Back-Task mitgeteilt wurde, dass sie sich in dieser Phase Geld erspielen können. Ob derartige, mögliche Demotivationseffekte durch eine gesteigerte Motivation der Personen mit sehr hoher Belohnung ausgeglichen wurden und somit die unterschiedliche Belohnungsvarianz in den Gruppen keine Auswirkungen hatte, bleibt fraglich.

Zukünftige Forschung

Im Zuge der Ergebnisse wird eine genauere Analyse erschöpfungstreibender sowie erschöpfungsdämpfender Rahmenbedingungen von mentaler Anstrengung als erstrebenswert angesehen. In den vorangegangenen Abschnitten wurden hierzu bereits zwei mögliche Wirkmechanismen diskutiert (Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen sowie das Gefühl von Kontrolle), welche sich als Analysegegenstand für zukünftige Untersuchungen eignen. Bei der Wiederholung eines derartigen Experiments könnte zum Beispiel ein Fragebogen nach dem N-Back-Task eingefügt werden, welcher das Gefühl von Kontrolle über den Erhalt der Belohnungen abfragt. Ein derartiges Design würde Klarheit darüber bringen, ob das Kontrollgefühl tatsächlich als Moderator für den Zusammenhang von Anstrengung und Erschöpfung fungiert. Für eine eindeutigere Differenzierung der Gruppen hinsichtlich des Kontrollgefühls über den Belohnungserhalt ließe sich das Experiment auch abwandeln, sodass die eine Gruppe für ihre Leistung und die andere zufällig belohnt wird. Des Weiteren könnte ebenfalls die subjektive Passung von investierten Anstrengungen zu den erhaltenen Belohnungen mittels eines Fragebogens nach dem N-Back-Task erhoben werden, um auch diesen potenziellen Hintergrund für die Ergebnisse abzu prüfen. Hierzu bietet sich beispielsweise eine auf die Studie angepasste Version des von Siegrist et al. (2004) entwickelten Fragebogens zur Messung von Anstrengungs-Belohnungs-Imbalancen an. Bezüglich etwaiger Wiederholungen der Studie in abgewandelter Form ist zudem positiv anzumerken, dass der neu erstellte Fragebogen zur Erhebung der motivationalen Erschöpfung eine hohe Reliabilität aufweist (siehe *Methoden*) und damit Potenzial für den Einsatz in weiteren Studien im Erschöpfungskontext zeigt.

Um der Limitation zu begegnen, dass womöglich bei einem wesentlichen Teil der Teilnehmer nicht die tatsächliche PEP im Ruhezustand gemessen wurde, kommen für künftige Forschungen mehrere Ansätze infrage. Eine Überlegung ist die Vorabinformation der

Teilnehmer zur Verkabelung mit Elektroden bereits bei der Anmeldung zur Studie, damit sich diese darauf einstellen können und der Prozess weniger Stress beziehungsweise Aktivierung hervorruft. Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, für die Baseline-Phase des Musikhörens einen expliziten Entspannungshinweis zu geben, damit die Teilnehmer diese Zeit beispielsweise nicht dazu verwenden, um über Themen aus ihrem Leben nachzudenken. Auch eine andere Form der Baseline könnte geprüft werden, beispielsweise eine Kombination aus einer vor allem ablenkenden sowie einer primär entspannenden Phase. Hierfür könnte der reiz- und intensitätsarmen Phase des Hörens von entspannender Musik eine wenig anspruchsvolle, ablenkende Phase vorgelagert werden, welche einen gewissen Fokus vom Teilnehmer verlangt, sodass die aktivierende Phase der Elektrodenverkabelung wieder stärker in den Hintergrund rückt. Dazu könnte sich zum Beispiel ein einfaches Hörbuch eignen.

Mit Blick auf die Möglichkeit natürlicher Schwankungen der Ruhezustands-PEP über die Bearbeitung von Aufgaben hinweg, könnten in zukünftigen Forschungen über die Untersuchungsdauer mehrere Aktualisierungsmessungen der PEP im Ruhezustand erfolgen (Albinet et al., 2024). Durch derartige, aktualisierte PEP-Ausgangswerte erscheint eine validere Interpretation der nachfolgenden PEP-Veränderungswerte als Anstrengungsindikator möglich.

Praktische Implikationen

Die Untersuchung zeigt, dass der Kontext von mentaler Anstrengung einen Einfluss auf die resultierende mentale Erschöpfung hat. Sie stützt damit den Zugang, dass Erschöpfung nicht nur durch das reine Ausmaß an Anstrengung festgelegt wird. In dem Bestreben, menschliche Lebens- und Funktionsräume so auszugestalten, dass sie belastungsarm und wenig erschöpfungstreibend sind, weist die Studie auf die Bedeutung der Rahmenbedingungen von Anstrengung hin. Auch wenn es für die Spezifikation der

erschöpfungsdämpfenden Kontextfaktoren von Anstrengung noch weiterer Forschung bedarf (siehe Abschnitt *Zukünftige Forschung*), halten die Ergebnisse bereits zur Reflexion an, wie Anstrengungskontexte in den verschiedensten Situationen ausgestaltet werden könnten, sodass eine geringere Erschöpfung resultiert. Dies betrifft sowohl eigene Anstrengungen als auch Anstrengungen von anderen Personen, beispielsweise als Führungskraft bei der Konzeption von Projekten und der Vergabe von Aufgaben oder als Lehrer beim Entwurf von Schulstunden und der Planung von Hausaufgaben. Auch Eltern, welche das Anstrengungserleben ihrer Kinder positiv konnotieren möchten, regt die Studie zur Reflexion an, wie sie die Anstrengungskontexte ihrer Kinder wenig erschöpfungstreibend gestalten können.

Insgesamt konnte das Experiment vor allem zeigen, dass gleiche mentale Anstrengung kontextabhängig zu unterschiedlicher mentaler Erschöpfung führen kann. Dies spricht im Rahmen der Diskussion über die Natur von mentaler Erschöpfung für eine motivationale beziehungsweise nicht-biologische Komponente. Zur Erörterung der genauen Hintergründe der Studienergebnisse bedarf es jedoch weiterer Forschung. Zwei mögliche Erklärungsansätze wurden hierbei mit der subjektiven Anstrengungs-Belohnungs-Imbalance sowie dem Kontrollgefühl der Teilnehmer geliefert, deren Einfluss in zukünftigen Forschungen näher analysiert werden sollte.

Literaturverzeichnis

- Albinet, C. T., De Faria, C., & Causse, M. (2024). Cardiac Pre-Ejection Period to Index Motivation and Effort Mobilization in Cognitive Studies. *Journal of Psychophysiology*, 38(2), 81–101. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000332>
- Atkinson, J. W. (1957). Motivational determinants of risk-taking behavior. *Psychological Review*, 64(6p1), 359–372. <https://doi.org/10.1037/h0043445>
- Benson, J. (1989). Structural Components of Statistical Test Anxiety in Adults: An Exploratory Model. *The Journal of Experimental Education*, 57(3), 247–261. <https://doi.org/10.1080/00220973.1989.10806509>
- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 25(1), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011>
- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological Psychology*, 72(2), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.08.007>
- Botvinick, M., & Braver, T. (2015). Motivation and cognitive control: from behavior to neural mechanism. *Annual Review of Psychology*, 66, 83–113. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015044>
- Brehm, J. W., & Self, E. A. (1989). The intensity of motivation. *Annual Review of Psychology*, 40, 109–131. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ps.40.020189.000545>
- Brenner, S. L., Beauchaine, T. P., & Sylvers, P. D. (2005). A comparison of psychophysiological and self-report measures of BAS and BIS activation. *Psychophysiology*, 42(1), 108–115. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00261.x>

- Buck, L. (1966). Reaction time as a measure of perceptual vigilance. *Psychological Bulletin*, 65(5), 291–304. <https://doi.org/10.1037/h0023207>
- Canisius, S., & Penzel, T. (2007). Vigilance monitoring-review and practical aspects. *Biomedical Engineering*, 52(1), 77–82. <https://doi.org/10.1515/BMT.2007.015>
- Clay, G., Mlynski, C., Korb, F. M., Goschke, T., & Job, V. (2022). Rewarding cognitive effort increases the intrinsic value of mental labor. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(5), Artikel e2111785119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2111785119>
- Cooman, R. de, Gieter, S. de, Pepermans, R., Jegers, M., & Van Acker, F. (2009). Development and Validation of the Work Effort Scale. *European Journal of Psychological Assessment*, 25(4), 266–273. <https://doi.org/10.1027/1015-5759.25.4.266>
- David, L., Vassena, E., & Bijleveld, E. (2024). The unpleasantness of thinking: A meta-analytic review of the association between mental effort and negative affect. *Psychological Bulletin*, 150(9), 1070–1093. <https://doi.org/10.1037/bul0000443>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Plenum Press.
- Dragano, N., Siegrist, J., Nyberg, S. T., Lunau, T., Fransson, E. I., Alfredsson, L., Bjorner, J. B., Borritz, M., Burr, H., Erbel, R., Fahlén, G., Goldberg, M., Hamer, M., Heikkilä, K., Jöckel, K.-H., Knutsson, A., Madsen, I. E. H., Nielsen, M. L., Nordin, M., . . . Kivimäki, M. (2017). Effort-Reward Imbalance at Work and Incident Coronary Heart Disease: A Multicohort Study of 90,164 Individuals. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 28(4), 619–626. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000666>

[Duden-Definition von Anstrengung]. (o.D.). Duden.

<https://www.duden.de/rechtschreibung/Anstrengung>

Earle, F. (2004). *The Construct of Psychological Fatigue: A Psychometric and Experimental Analysis*. Doctoral Thesis. Hull: The University of Hull.

Eisenberger, R. (1992). Learned industriousness. *Psychological Review*, 99(2), 248-267.

Eisenberger, R., Carlson, J., Guile, M., & Shapiro, N. (1979). Transfer of effort across behaviors. *Learning and Motivation*, 10(2), 178–197. [https://doi.org/10.1016/0023-9690\(79\)90043-2](https://doi.org/10.1016/0023-9690(79)90043-2)

Engle-Friedman, M., Riela, S., Golan, R., Ventuneac, A. M., Davis, C. M., Jefferson, A. D., & Major, D. (2003). The effect of sleep loss on next day effort. *Journal of Sleep Research*, 12(2), 113–124. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2003.00351.x>

Fahlen, G., Knutsson, A., Peter, R., Akerstedt, T., Nordin, M., Alfredsson, L., & Westerholm, P. (2006). Effort-reward imbalance, sleep disturbances and fatigue. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 79(5), 371–378. <https://doi.org/10.1007/s00420-005-0063-6>

Fard, S. J., Tahmasebi Boroujeni, S., & Lavender, A. P. (2019). Mental fatigue impairs simple reaction time in non-athletes more than athletes. *Fatigue: Biomedicine, Health & Behavior*, 7(3), 117–126. <https://doi.org/10.1080/21641846.2019.1632614>

Fauville, G., Luo, M., Queiroz, A., Bailenson, J. N., & Hancock, J. (2021). Zoom Exhaustion & Fatigue Scale. *Computers in Human Behavior Reports*, 4, Artikel 100119. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100119>

Fernet, C., Austin, S., & Vallerand, R. J. (2012). The effects of work motivation on employee exhaustion and commitment: An extension of the JD-R model. *Work & Stress*, 26(3), 213–229. <https://doi.org/10.1080/02678373.2012.713202>

- Fukuda, S., Yamano, E., Joudoi, T., Mizuno, K., Tanaka, M., Kawatani, J., Takano, M., Tomoda, A., Imai-Matsumura, K., Miike, T., & Watanabe, Y. (2010). Effort-reward imbalance for learning is associated with fatigue in school children. *Behavioral Medicine*, 36(2), 53–62. <https://doi.org/10.1080/08964281003774919>
- Gaillard, A. W. K. (2001). Stress, workload, and fatigue as three biobehavioral states: A general overview. In P. A. Hancock & P. A. Desmond (Hrsg.), *Stress, workload, and fatigue* (S. 623–639). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Gergelyfi, M., Jacob, B., Olivier, E., & Zénon, A. (2015). Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, Artikel 176. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00176>
- Goodman, S., Jaffer, T., Keresztesi, M., Mamdani, F., Mokgatle, D., Musariri, M., Pires, J., & Schlechter, A. (2011). An Investigation of the Relationship between Students' Motivation and Academic Performance as Mediated by Effort. *South African Journal of Psychology*, 41(3), 373–385. <https://doi.org/10.1177/008124631104100311>
- Gouldner, A. W. (1960). The Norm of Reciprocity: A Preliminary Statement. *American Sociological Review*, 25(2), 161–178. <https://doi.org/10.2307/2092623>
- Hanson, E. K. S., Schaufeli, W., Vrijkotte, T., Plomp, N. H., & Godaert, G. L. R. (2000). The Validity and Reliability of the Dutch Effort-Reward Imbalance Questionnaire. *Journal of Occupational Health Psychology*, 5(1), 142–155. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.5.1.142>
- Hassan, E. K., Jones, A. M., & Buckingham, G. (2024). A novel protocol to induce mental fatigue. *Behavior Research Methods*, 56(4), 3995–4008. <https://doi.org/10.3758/s13428-023-02191-5>

- Herlambang, M. B., Cnossen, F., & Taatgen, N. A. (2021). The effects of intrinsic motivation on mental fatigue. *PLOS ONE*, *16*(1), Artikel e0243754.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243754>
- Herlambang, M. B., Taatgen, N. A., & Cnossen, F. (2019). The Role of Motivation as a Factor in Mental Fatigue. *Human Factors*, *61*(7), 1171–1185.
<https://doi.org/10.1177/0018720819828569>
- Hockey, G. R. J. (2011). A motivational control theory of cognitive fatigue. In P. L. Ackerman (Hrsg.), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future applications* (S. 167–187). American Psychological Association.
<https://doi.org/10.1037/12343-008>
- Hockey, G. R. J. (2013). *The psychology of fatigue: Work, effort, and control*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139015394>
- Hockey, G. R. J., & Earle, F. (2006). Control over the scheduling of simulated office work reduces the impact of workload on mental fatigue and task performance. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *12*(1), 50–65. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.12.1.50>
- Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Kane, M., & Conway, A. (2016). The invention of n-back: An extremely brief history. In *The Winnower*. <https://doi.org/10.15200/winn.146722.26397>
- Kelsey, R. M. (2012). Beta-adrenergic cardiovascular reactivity and adaptation to stress: The cardiac pre-ejection period as an index of effort. In R. A. Wright & G. H. E. Gendolla (Hrsg.), *How motivation affects cardiovascular response: Mechanisms and applications* (S. 43–60). American Psychological Association.
<https://doi.org/10.1037/13090-002>

- Kelsey, R. M., Blascovich, J., Leitten, C. L., Schneider, T. R., Tomaka, J., & Wiens, S. (2000). Cardiovascular reactivity and adaptation to recurrent psychological stress: The moderating effects of evaluative observation. *Psychophysiology*, 37(6), 748–756. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3760748>
- Kelsey, R. M., Soderlund, K., & Arthur, C. M. (2004). Cardiovascular reactivity and adaptation to recurrent psychological stress: replication and extension. *Psychophysiology*, 41(6), 924–934. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2004.00245.x>
- Kool, W., McGuire, J. T., Rosen, Z. B., & Botvinick, M. M. (2010). Decision making and the avoidance of cognitive demand. *Journal of Experimental Psychology*, 139(4), 665–682. <https://doi.org/10.1037/a0020198>
- Kornitzer, M., Kettel, F., Dramaix, M., & de Backer, G. U. (1982). Job stress and coronary heart disease. *Advances in Cardiology*, 29, 56–61. <https://doi.org/10.1159/000406197>
- Kratz, A. L., Schilling, S., Goesling, J., & Williams, D. A. (2016). The PROMIS Fatigue Profile: a self-report measure of fatigue for use in fibromyalgia. *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation*, 25(7), 1803–1813. <https://doi.org/10.1007/s11136-016-1230-9>
- Kumalasari, L. D., & Elgeka, H. W. S. (2024). The Mediating Role of Intrinsic Motivation in the Relationship Between Organizational Support and Quantitative Workload and Work-Related Fatigue. *Jurnal Sains Psikologi*, 13(1), 28. <https://doi.org/10.17977/um023v13i12024p28-41>
- Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., & Myers, J. (2013). An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *The Behavioral and Brain Sciences*, 36(6), 661–679. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12003196>

- Leineweber, C., Bernhard-Oettel, C., Eib, C., Peristera, P., & Li, J. (2021). The mediating effect of exhaustion in the relationship between effort-reward imbalance and turnover intentions: A 4-year longitudinal study from Sweden. *Journal of Occupational Health*, 63(1), Artikel e12203. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12203>
- Leys, C., Delacre, M., Mora, Y. L., Lakens, D., & Ley, C. (2019). How to Classify, Detect, and Manage Univariate and Multivariate Outliers, With Emphasis on Pre-Registration. *International Review of Social Psychology*, 32(1), Artikel 5. <https://doi.org/10.5334/irsp.289>
- Liu, H., Fan, J., Fu, Y., & Liu, F. (2018). Intrinsic motivation as a mediator of the relationship between organizational support and quantitative workload and work-related fatigue. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28(3), 154–162. <https://doi.org/10.1002/hfm.20731>
- Liu, L., Wu, D., Wang, L., Qu, Y., & Wu, H. (2020). Effort-Reward Imbalance, Resilience and Perceived Organizational Support: A Moderated Mediation Model of Fatigue in Chinese Nurses. *Risk Management and Healthcare Policy*, 13, 893–901. <https://doi.org/10.2147/RMHP.S259339>
- Lorist, M. M., Bezdan, E., Caat, M. ten, Span, M. M., Roerdink, J. B. T. M., & Maurits, N. M. (2009). The influence of mental fatigue and motivation on neural network dynamics; an EEG coherence study. *Brain Research*, 1270, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.03.015>
- Lorist, M. M., Boksem, M. A. S., & Ridderinkhof, K. R. (2005). Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 24(2), 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.018>

- Lorist, M. M., Klein, M., Nieuwenhuis, S., Jong, R. de, Mulder, G., & Meijman, T. F. (2000). Mental fatigue and task control: Planning and preparation. *Psychophysiology*, 37(5), 614–625. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3750614>
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 857–864. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.91324.2008>
- Massar, S. A. A., Csathó, Á., & Van der Linden, D. (2018). Quantifying the Motivational Effects of Cognitive Fatigue Through Effort-Based Decision Making. *Frontiers in Psychology*, 9, Artikel 843. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00843>
- Massar, S. A. A., Wester, A. E., Volkerts, E. R., & Kenemans, J. L. (2010). Manipulation specific effects of mental fatigue: evidence from novelty processing and simulated driving. *Psychophysiology*, 47(6), 1119–1126. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01028.x>
- Montoro, L., Cendales, B., Alonso, F., Gonzalez-Marin, A., Lijarcio, I., Llamazares, J., & Useche, S. A. (2022). Essential...but also vulnerable? Work intensification, effort/reward imbalance, fatigue and psychological health of Spanish cargo drivers during the COVID-19 pandemic. *PeerJ*, 10, Artikel e13050. <https://doi.org/10.7717/peerj.13050>
- Müller, T., & Apps, M. A. J. (2019). Motivational fatigue: A neurocognitive framework for the impact of effortful exertion on subsequent motivation. *Neuropsychologia*, 123, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.030>

- Pattyn, N., Van Cutsem, J., Dessy, E., & Mairesse, O. (2018). Bridging Exercise Science, Cognitive Psychology, and Medical Practice: Is "Cognitive Fatigue" a Remake of "The Emperor's New Clothes"? *Frontiers in Psychology*, 9, Artikel 1246.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01246>
- Posit Team. (2024). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Posit Software, PBC, Boston, MA. <http://www.posit.co/>.
- Pu, S., Yan, Y., & Zhang, L. (2020). Peers, Study Effort, and Academic Performance in College Education: Evidence from Randomly Assigned Roommates in a Flipped Classroom. *Research in Higher Education*, 61(2), 248–269.
<https://doi.org/10.1007/s11162-019-09571-x>
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Richter, M., Friedrich, A., & Gendolla, G. H. E. (2008). Task difficulty effects on cardiac activity. *Psychophysiology*, 45(5), 869–875. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00688.x>
- Richter, M., Gendolla, G., & Wright, R. A. (2016). Three Decades of Research on Motivational Intensity Theory. In *Advances in Motivation Science* (Bd. 3, S. 149–186). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.adms.2016.02.001>
- Rugulies, R., Aust, B., & Madsen, I. E. (2017). Effort-reward imbalance at work and risk of depressive disorders. A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 43(4), 294–306.
<https://doi.org/10.5271/sjweh.3632>

- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67.
<https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- Sembajwe, G., Wahrendorf, M., Siegrist, J., Sitta, R., Zins, M., Goldberg, M., & Berkman, L. (2012). Effects of job strain on fatigue: cross-sectional and prospective views of the job content questionnaire and effort–reward imbalance in the GAZEL cohort. *Occupational and Environmental Medicine*, 69(6), 377–384.
<https://doi.org/10.1136/oem.2010.063503>
- Shenhav, A., Musslick, S., Lieder, F., Kool, W., Griffiths, T. L., Cohen, J. D., & Botvinick, M. M. (2017). Toward a Rational and Mechanistic Account of Mental Effort. *Annual Review of Neuroscience*, 40, 99–124. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-072116-031526>
- Shoman, Y., Rousson, V., Bianchi, R., & Guseva Canu, I. (2022). Holistic Assessment of Factors Associated with Exhaustion, the Main Symptom of Burnout: A Meta-Analysis of Longitudinal Studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph192013037>
- Siegrist, J. (1996). Adverse Health Effects of High-Effort/Low-Reward Conditions. *Journal of Occupational Health Psychology*, 1(1), 27–41. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.1.1.27>
- Siegrist, J. (1999). Occupational health and public health in Germany. In P. M. Le Blanc, M. C. W. Peeters, A. Büssing & W. B. Schaufeli (Hrsg.), *Organizational psychology and healthcare: European contributions* (S. 35–44). München: Rainer Hampp Verlag.

- Siegrist, J., & Li, J. (2016). Associations of Extrinsic and Intrinsic Components of Work Stress with Health: A Systematic Review of Evidence on the Effort-Reward Imbalance Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(4), Artikel 432. <https://doi.org/10.3390/ijerph13040432>
- Siegrist, J., Starke, D., Chandola, T., Godin, I., Marmot, M., Niedhammer, I., & Peter, R. (2004). The measurement of effort-reward imbalance at work: European comparisons. *Social Science & Medicine*, 58(8), 1483–1499. [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(03\)00351-4](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(03)00351-4)
- Silm, G., Pedaste, M., & Täht, K. (2020). The relationship between performance and test-taking effort when measured with self-report or time-based instruments: A meta-analytic review. *Educational Research Review*, 31, Artikel 100335. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100335>
- Smets, E. M. A., Garssen, B., Bonke, B., & De Haes, J. C. J. M. (1995). The multidimensional Fatigue Inventory (MFI) psychometric qualities of an instrument to assess fatigue. *Journal of Psychosomatic Research*, 39(3), 315–325. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(94\)00125-O](https://doi.org/10.1016/0022-3999(94)00125-O)
- Steyer, R., Schwenkmezger, P., Notz, P., & Eid, M. (1997). *Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)*. Göttingen: Hogrefe.
- Székel, M., & Michael, J. (2021). The Sense of Effort: A Cost-Benefit Theory of the Phenomenology of Mental Effort. *Review of Philosophy and Psychology*, 12(4), 889–904. <https://doi.org/10.1007/s13164-020-00512-7>
- Tran, Y., Craig, A., Craig, R., Chai, R., & Nguyen, H. (2020). The influence of mental fatigue on brain activity: Evidence from a systematic review with meta-analyses. *Psychophysiology*, 57(5), Artikel e13554. <https://doi.org/10.1111/psyp.13554>

- Van Cutsem, J., Van Schuerbeek, P., Pattyn, N., Raeymaekers, H., Mey, J. de, Meeusen, R., & Roelands, B. (2022). A drop in cognitive performance, whodunit? Subjective mental fatigue, brain deactivation or increased parasympathetic activity? It's complicated! *Cortex*, 155, 30–45. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2022.06.006>
- Van Iddekinge, C. H., Aguinis, H., Mackey, J. D., & De Ortentiis, P. S. (2018). A Meta-Analysis of the Interactive, Additive, and Relative Effects of Cognitive Ability and Motivation on Performance. *Journal of Management*, 44(1), 249–279. <https://doi.org/10.1177/0149206317702220>
- Van Iddekinge, C. H., Arnold, J. D., Aguinis, H., Lang, J. W. B., & Lievens, F. (2023). Work Effort: A Conceptual and Meta-Analytic Review. *Journal of Management*, 49(1), 125–157. <https://doi.org/10.1177/01492063221087641>
- Van Vegchel, N., Jonge, J. de, Bosma, H., & Schaufeli, W. B. (2005). Reviewing the effort-reward imbalance model: drawing up the balance of 45 empirical studies. *Social Science & Medicine*, 60(5), 1117–1131. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2004.06.043>
- Van Yperen, N., & Hagedoorn, M. (2003). Do high job demands increase intrinsic motivation or fatigue or both? The role of job control and job social support. *Academy of Management Journal*, 46(3), 339–348. <https://doi.org/10.5465/30040627>
- Vercoulen, J. H. M. M., Swanink, C. M. A., Fennis, J. F. M., Galama, J. M. D., Van der Meer, J. W. M., & Bleijenberg, G. (1994). Dimensional assessment of chronic fatigue syndrome. *Journal of Psychosomatic Research*, 38(5), 383–392. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(94\)90099-X](https://doi.org/10.1016/0022-3999(94)90099-X)

Westbrook, A., & Braver, T. S. (2015). Cognitive effort: A neuroeconomic approach.

Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience, 15(2), 395–415.

<https://doi.org/10.3758/s13415-015-0334-y>

Winwood, P. C., Winefield, A. H., Dawson, D., & Lushington, K. (2005). Development and validation of a scale to measure work-related fatigue and recovery: the Occupational

Fatigue Exhaustion/Recovery Scale (OFER). *Journal of Occupational and*

Environmental Medicine, 47(6), 594–606.

<https://doi.org/10.1097/01.jom.0000161740.71049.c4>

Zhang, C., Li, C., & Feng, F. (2014). Empirical Research on the Relationship among Sense of

Control, Control Demand and Job Burnout. *Journal of Human Resource and*

Sustainability Studies, 2(4), 201–205. <https://doi.org/10.4236/jhrss.2014.24020>