

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Zwischen Fokus und Anstrengung: Der Zusammenhang
kardiovaskulärer Reaktionen und Flow bei kognitiven
Herausforderungen

verfasst von | submitted by
Giulia Elena Weil 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

Abstract (Deutsch)

Das Flow-Erleben beschreibt einen Zustand tiefer Konzentration, der oft mit einem Gefühl von Mühelosigkeit einhergeht (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). Vergangene Studien deuten auf einen positiven Zusammenhang mit physiologischer Anstrengung hin, liefern bislang jedoch uneinheitliche Befunde (z. B. Peifer et al., 2014; De Manzano et al., 2010; Murch et al., 2020). Ziel der vorliegenden Studie war es, den Zusammenhang zwischen Anstrengung – gemessen über die Präejektionsperiode (PEP) – und Flow-Erleben bei einer kognitiv anspruchsvollen Aufgabe zu untersuchen. 110 Studierende bearbeiteten eine N-Back-Aufgabe, während die physiologische Aktivierung aufgezeichnet und das Flow-Erleben anschließend mithilfe der Flow-Kurzskala (FKS; Rheinberg et al., 2003) erhoben wurde. Entgegen der Annahme zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen Anstrengung und Flow. Explorativ ergab sich jedoch, dass ein höheres Flow-Erleben mit einer besseren Leistung in der Aufgabe einherging. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass Flow nicht zwangsläufig mit erhöhter physiologischer Aktivierung zusammenhängt, sondern vielmehr mit einer effizienten Nutzung kognitiver Ressourcen verbunden sein könnte. Zukünftige Studien sollten Flow kontinuierlich erfassen und die subjektive Bewertung von Anstrengung stärker berücksichtigen.

Abstract (English)

Flow experience describes a state of deep concentration often accompanied by a sense of effortlessness (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). Previous studies suggest a positive association with physiological effort but have yielded inconsistent findings (e.g., Peifer et al., 2014; De Manzano et al., 2010; Murch et al., 2020). The present study aimed to examine the relationship between effort—measured via the pre-ejection period (PEP)—and flow experience during a cognitively demanding task. A total of 110 students completed an N-back task while

physiological activation was recorded and flow was subsequently assessed using the Flow Short Scale (FKS; Rheinberg et al., 2003). Contrary to expectations, no significant relationship was found between effort and flow. However, exploratory analyses revealed that higher flow experience was associated with better task performance. These findings suggest that flow is not necessarily linked to increased physiological activation but may instead reflect an efficient use of cognitive resources. Future research should aim to assess flow more continuously and place greater emphasis on the subjective evaluation of effort.

Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT	2
ABSTRACT (ENGLISH)	2
INHALTSVERZEICHNIS.....	4
EINLEITUNG	7
THEORETISCHER HINTERGRUND	8
KERNASPEKTE DES FLOW-ZUSTANDS	8
<i>Voraussetzungen und Modelle des Flow-Erlebens.....</i>	<i>8</i>
<i>Subjektive Wahrnehmung des Flow-Zustands</i>	<i>11</i>
THEORIE ZU ANSTRENGUNG.....	12
BISHERIGE FORSCHUNG	13
RELEVANZ DES THEMAS FÜR FORSCHUNG UND PRAXIS	16
FRAGESTELLUNGEN.....	18
HERLEITUNG DER FRAGESTELLUNGEN.....	18
FORSCHUNGSÜBERBLICK.....	21
METHODE.....	23
UNTERSUCHUNGSDESIGN	23
STICHPROBE.....	23
PILOTIERUNGSPHASE.....	25
MESSMETHODEN.....	25
<i>Messung der Anstrengung</i>	<i>25</i>
<i>Messung des Flow-Erlebens</i>	<i>26</i>
<i>Messung der N-Back-Leistung</i>	<i>27</i>
METHODISCHES VORGEHEN	28
<i>Ausgangsphase</i>	<i>28</i>

<i>Phase 1</i>	29
<i>Phase 2</i>	29
<i>Abschlussphase</i>	29
AUFGABENBESCHREIBUNG: N-BACK-AUFGABE	30
DATENANALYSE.....	32
<i>Datenaufbereitung und Bereinigung</i>	32
<i>Prüfung der Annahmen</i>	32
<i>Statistische Analysen</i>	33
ERGEBNISSE	35
FLOW-ERLEBEN WÄHREND DER N-BACK-AUFGABE.....	35
FLOW-ERLEBEN WÄHREND DER MET	35
PHYSIOLOGISCHE ANSTRENGUNG WÄHREND DER N-BACK-AUFGABE	35
ZUSAMMENHANG ZWISCHEN PHYSIOLOGISCHER ANSTRENGUNG UND FLOW-ERLEBEN (H1)	36
ZUSAMMENHANG ZWISCHEN FLOW-ERLEBEN UND LEISTUNG (H2, EXPLORATIV)	38
WEITERE EXPLORATIVE ANALYSEN.....	40
<i>Quadratischer Zusammenhang zwischen Anstrengung und Flow</i>	40
<i>Stabilität des Flow-Erlebens auf individueller Ebene</i>	40
<i>Unterschiede im Flow-Erleben zwischen N-Back und MET</i>	40
DISKUSSION.....	41
EINORDNUNG DER ERGEBNISSE.....	41
<i>Flow und physiologische Anstrengung (H1)</i>	41
<i>Flow und Leistung in der N-Back-Aufgabe (H2)</i>	43
<i>Quadratischer Zusammenhang zwischen Anstrengung und Flow</i>	45
<i>Stabilität des Flow-Erlebens auf individueller Ebene</i>	45
<i>Unterschiede im Flow-Erleben zwischen N-Back und MET</i>	46
THEORETISCHE IMPLIKATIONEN.....	47
PRAKTISCHE RELEVANZ.....	48

LIMITATIONEN.....	49
AUSBLICK.....	51
DANKSAGUNG.....	53
LITERATURVERZEICHNIS.....	54
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	60
TABELLENVERZEICHNIS.....	60
ANHANGSVERZEICHNIS	60
ANHANG.....	61

Einleitung

In Momenten völliger Vertiefung – sei es beim Musizieren, beim Lernen oder beim Sport – können Menschen einen Zustand erreichen, in dem persönliche Probleme in den Hintergrund treten und sie vollkommen mit der Tätigkeit in Einklang sind: das Flow-Erleben (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). Dieses Phänomen wurde erstmals in den 1970er Jahren von Mihaly Csikszentmihalyi entdeckt und als die „optimale Erfahrung“ beschrieben (Ottiger et al., 2021). Es stellt ein zentrales Forschungsgebiet der Positiven Psychologie dar und fasziniert bis heute, da es mit positiven Affekten (Rogatko, 2009), Leistung (Engeser et al., 2005), Lebensqualität (Csikszentmihalyi, 1990), psychologischem Kapital und Kreativität (Zubair & Kamal, 2015) in Verbindung gebracht wird (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2002).

Während des Flow-Erlebens scheint das Anstrengungsempfinden in den Hintergrund zu treten. Unklar ist jedoch, ob diese subjektive Leichtigkeit auch mit objektiv messbaren physiologischen Parametern zusammenhängt (Peifer & Engeser, 2021). Die Untersuchung dieser Frage ist nicht nur von theoretischem Interesse, sondern auch praktisch bedeutsam. Ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen zwischen physiologischer Anstrengung und Flow könnte dazu beitragen, kognitive Belastungen nachvollziehbarer zu machen und Lern- und Arbeitsumgebungen im Hinblick auf eine Verbesserung des Wohlbefindens zu optimieren. Ziel dieser Arbeit ist es, den Zusammenhang zwischen Flow und objektiv gemessener Anstrengung bei einer kognitiv anspruchsvollen Aufgabe zu analysieren. Im Mittelpunkt steht dabei die Hypothese, dass eine erhöhte Anstrengung mit einem intensiveren Flow-Erleben einhergeht.

Im folgenden Abschnitt werden zunächst die zentralen theoretischen Grundlagen des Flow-Erlebens vorgestellt, um anschließend das Konzept der Anstrengung und deren Wechselwirkung mit Flow einordnen zu können.

Theoretischer Hintergrund

Kernaspekte des Flow-Zustands

Flow bezeichnet einen Bewusstseinszustand, den Menschen erleben können, wenn sie tief in eine Tätigkeit eintauchen und alles andere ausblenden (Pace, 2004). In diesem Zustand hat die Person das Gefühl, mit der ausgeführten Aktivität zu verschmelzen (Csikszentmihalyi, 1988). Flow-Erleben wird als ein harmonischer und optimaler Zustand beschrieben, bei dem die Selbstwahrnehmung vorübergehend in den Hintergrund tritt und die Aufgabe um ihrer selbst willen als befriedigend empfunden wird (Csikszentmihalyi, 1988).

Der Begriff Flow, geprägt von Mihaly Csikszentmihalyi (1988), lässt sich im Deutschen sinngemäß mit *Fluss* oder *Strömung* übersetzen, was den Charakter dieses Zustands verdeutlicht. Csikszentmihalyi hat sich in vielen seiner Arbeiten intensiv mit der Entstehung und den Merkmalen des Flow-Erlebens beschäftigt und spezifische Kriterien für diesen besonderen Zustand definiert (Pace, 2004).

Voraussetzungen und Modelle des Flow-Erlebens

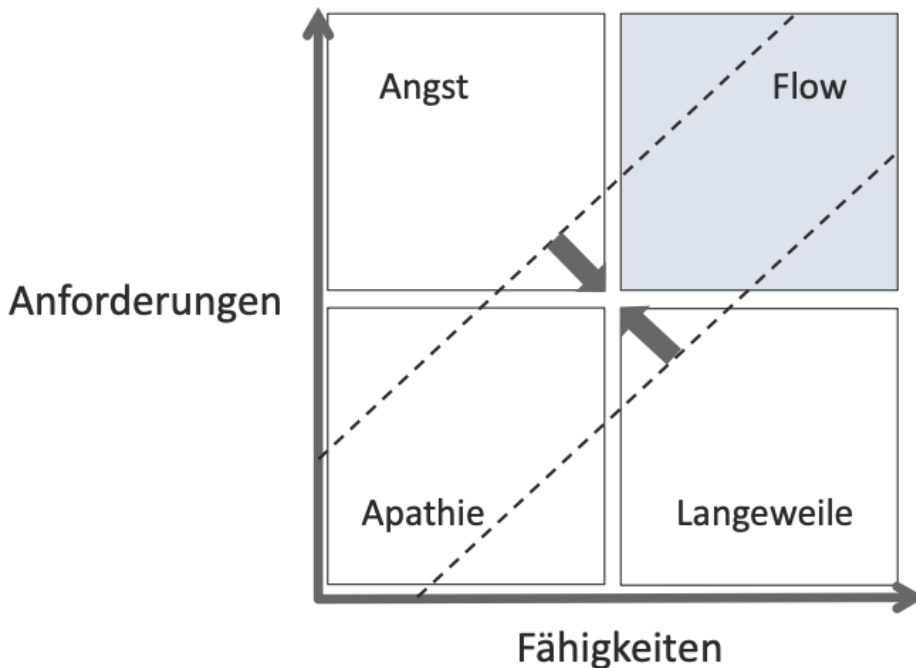
Der Flow-Zustand wurde in der Vergangenheit immer wieder mit bestimmten Komponenten in Verbindung gebracht (Ufer, 2020). Nach Csikszentmihalyi (1988) ist es wichtig, dass die Tätigkeit ein klares Ziel hat. Darüber hinaus ist ein direkter Feedbackprozess erforderlich, damit die Person einschätzen kann, wie gut sie die Aktivität ausführt (Csikszentmihalyi, 1988). Schließlich ist es wesentlich, dass die Fähigkeiten des Individuums und die Schwierigkeit der Aufgabe im Gleichgewicht sind, um eine wahrgenommene Passung zwischen diesen Aspekten zu gewährleisten (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). Sind diese drei Bedingungen gegeben, so ist es möglich, in einen Flow-Zustand zu gelangen.

Das Flow-Modell wurde im Laufe der Zeit mehrfach angepasst und weiterentwickelt. Das

ursprüngliche Modell, das von Csikszentmihalyi (1975) als *Kanalmodell* bezeichnet wurde, geht davon aus, dass Flow nur in einem schmalen Bereich auftritt, und zwar dann, wenn Anforderungen und Fähigkeiten übereinstimmen. In Abbildung 1 (Ufer, 2020, S. 19) wird dieser Bereich durch den sogenannten Kanal zwischen den strichlierten Linien dargestellt. Nach diesem Modell kann Flow unabhängig vom Fähigkeitsniveau entstehen, solange dieses den Anforderungen entspricht (Ufer, 2020).

Im späteren Quadrantenmodell (Abbildung 1) von Csikszentmihalyi und Csikszentmihalyi (1991, zitiert nach Ufer, 2020) wurde präzisiert, dass ein Flow-Erleben nur dann möglich ist, wenn Fähigkeiten und Anforderungen auf einem überdurchschnittlichen Niveau liegen. Die Pfeile in der Grafik markieren die Schwelle, ab der ein Flow-Zustand möglich ist (Ufer, 2020). Flow tritt nach diesem Modell beispielsweise nicht beim passiven Konsum einer unterhaltsamen Fernsehserie auf, da hier weder hohe Anforderungen gestellt werden noch außergewöhnliche Fähigkeiten gefragt sind (Rheinberg & Vollmeyer, 2004).

Abbildung 1: Quadrantenmodell des Flow-Erlebens



Anmerkung. Übernommen aus *Motivationspsychologische Grundlagen des Flow-Erlebens: Merkmale, Entstehung, Auswirkung von Flow im Sport, Beruf und Alltag*, von M. Ufer, 2020, S. 19. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. Copyright 2020 von Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Neben der Balance von Anforderungen und Fähigkeiten sowie der Annahme, dass beide auf einem individuell überdurchschnittlichen Niveau liegen sollten, zeigt eine Forschungsarbeit von Engeser und Rheinberg (2008), dass auch die subjektive Bedeutung eine entscheidende Rolle spielt. Die Autoren untersuchten den Einfluss der wahrgenommenen Wichtigkeit einer Aktivität auf das Flow-Erleben und fanden heraus, dass bei als wichtig empfundenen Tätigkeiten Flow auch dann hoch war, wenn die Anforderungen unter den eigenen Fähigkeiten lagen. Bei subjektiv weniger bedeutsamen Aufgaben hingegen war das Flow-Erleben am höchsten, wenn Anforderungen und Fähigkeiten im Gleichgewicht waren, und nahm ab, sobald die Anforderungen entweder zu hoch oder zu niedrig waren. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Passung von Anforderungen und Fähigkeiten – insbesondere bei als weniger relevant empfundenen Tätigkeiten

– eine zentrale Rolle spielt (Engeser & Rheinberg, 2008).

Diese theoretischen Modelle liefern wesentliche Anhaltspunkte dafür, unter welchen Bedingungen Flow typischerweise auftritt. Für ein umfassendes Verständnis des Flow-Erlebens ist es jedoch ebenso wichtig, zu verstehen, wie dieser Zustand subjektiv erlebt wird – ein Aspekt, dem sich der folgende Abschnitt widmet.

Subjektive Wahrnehmung des Flow-Zustands

Wie sich das Erleben von Flow für die betroffene Person anfühlt, wurde erstmals von Csikszentmihalyi (1975, zitiert nach Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018) erhoben, indem er Interviews mit mehreren Personen führte, die Flow erfuhren. Dabei wurde festgestellt, dass das subjektive Erleben dieses Phänomens von fünf Dimensionen geprägt ist (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018).

Während des Flows ist die Person vollständig auf die auszuführende Tätigkeit fokussiert, wobei diese Konzentration ohne bewusste Anstrengung erfolgt (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). Es steht keine Kapazität für andere Gedanken zur Verfügung, sodass alltägliche Probleme und Bedürfnisse in Vergessenheit geraten (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). Dies wird auch als Verlust der Selbstwahrnehmung oder Abschottung von der Umgebung bezeichnet und stellt einen weiteren zentralen Aspekt des Flow-Erlebens dar (Csikszentmihalyi, 1988). Darüber hinaus wird häufig von einer Verschmelzung von Bewusstsein und Handlung sowie einem ausgeprägten Gefühl der Kontrolle berichtet – zwei weitere Dimensionen des Flow-Zustands (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). Zudem erleben Personen im Flow eine Verzerrung oder einen Verlust des Zeitgefühls (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). Diese fünf Elemente vereinen sich zu einem Bewusstseinszustand, der das Flow-Erleben ausmacht (Csikszentmihalyi, 1988; Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018).

Dieses zuvor beschriebene Gefühl des völligen Eintauchens ermöglicht es, die ausgeübte Tätigkeit als solche als intrinsisch belohnend zu erleben (Csikszentmihalyi, 1988). Mihaly Csikszentmihalyi (1988) spricht in diesem Zusammenhang von *Autotelie*, was bedeutet, dass die Aufgabe an sich als bereichernd erlebt und nicht nur in Erwartung einer extrinsischen Belohnung ausgeführt wird (Pace, 2004). Zusammen mit den im vorigen Abschnitt genannten Voraussetzungen bildet dies den neunten und letzten entscheidenden Aspekt des Flow-Erlebens (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2002).

Die dargestellten Merkmale veranschaulichen, wie Flow auf subjektiver Ebene erlebt wird und welche Aspekte diesen besonderen Zustand kennzeichnen. Welche Rolle dabei die Anstrengung spielt und wie sie theoretisch eingeordnet werden kann, wird im nächsten Abschnitt näher betrachtet.

Theorie zu Anstrengung

Anstrengung ist ein essenzieller Bestandteil sowohl kognitiver als auch körperlicher Leistungsprozesse und wird oft als subjektiv empfundener oder objektiv messbarer Energieaufwand beschrieben (Kurzban et al., 2013). Während Anstrengung in vielen Kontexten als aversiv empfunden und daher häufig vermieden wird, wenn eine einfachere Alternative zur Verfügung steht, zeigen Forschungsergebnisse, dass sie auch bei intrinsisch motivierten Aktivitäten eine wichtige Rolle spielt (Kool et al., 2010). Beschäftigungen wie das Lösen von Rätseln, das Zusammensetzen von Puzzles, Sport oder künstlerische Betätigungen erfordern ein gewisses Maß an Anstrengung, werden aber nicht unbedingt als belastend empfunden (Inzlicht et al., 2018; Clay et al., 2022). Dies deutet darauf hin, dass Anstrengung nicht nur eine unangenehme Begleiterscheinung von Leistung ist, sondern auch ein wichtiger Bestandteil einer optimalen Erfahrung wie dem Flow-Zustand sein kann (Csikszentmihalyi, 1988).

Zur objektiven Messung der aufgebrauchten Anstrengung kommt im Rahmen dieser Studie die Präejektionsperiode (PEP) des Herzens zum Einsatz. Die PEP ist in der Psychologie ein etabliertes, nichtinvasives Maß, um die sympathische Aktivität und damit verbundene Anstrengungsprozesse zu bestimmen (Newlin & Levenson, 1979). Sie gibt den Zeitraum zwischen der elektrischen Aktivierung des Herzens und der Öffnung der Aortenklappe an (Clay et al., 2022). Eine Verkürzung der PEP gilt als Indikator für eine erhöhte sympathische Aktivierung und damit auch für gesteigerte Anstrengung (Richter et al., 2016). Richter et al. (2016) beschreiben die PEP als die derzeit vermutlich verlässlichste, nichtinvasive Methode sympathische Einflüsse auf das Herz zu erfassen.

Im Gegensatz zu anderen Maßen wie der Herzrate, der Herzratenvariabilität oder dem Blutdruck, die sowohl durch sympathische als auch parasympathische Einflüsse modifiziert werden, gilt die PEP als spezifischer Indikator für die Aktivität des sympathischen Nervensystems (Newlin & Levenson, 1979). Dadurch eignet sie sich besonders gut, um differenziert zwischen aktiver Anstrengung und allgemeiner Erregung zu unterscheiden – ein Aspekt, der für die vorliegende Untersuchung zentral ist.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob und in welcher Weise Flow mit physiologischer Anstrengung zusammenhängt. Die bisherigen empirischen Befunde liefern dazu widersprüchliche Ergebnisse, wie der folgende Abschnitt verdeutlicht.

Bisherige Forschung

Seit der Entdeckung des Flow-Erlebens wird dieser Zustand zunehmend und in verschiedenen Domänen erforscht (Ufer, 2020). Flow wurde bereits in Bereichen wie Sport (Jackson & Csikszentmihalyi, 1999), Kunst und Musik (MacDonald et al., 2006), Arbeit (Nielsen & Cleal, 2010), Lesen (McQuillan & Conde, 1996), Lernen (Brinthaup, 2001) und anderen

Hobbys nachgewiesen.

Da bisherige Studien widersprüchliche Ergebnisse zeigten, bleibt trotz umfangreicher Forschung bislang unklar, ob Flow mit einer objektiv erhöhten Anstrengung einhergeht oder vielmehr eine effizientere Nutzung von Ressourcen signalisiert. Peifer et al. (2014) fanden heraus, dass Flow positiv mit einer mittleren Aktivierung des sympathischen Nervensystems korreliert, welches als Indikator für Anstrengung gilt, während niedrige sowie hohe Werte negativ mit dem Flow-Erleben assoziiert waren. Die Studie umfasste 22 ausschließlich männliche Teilnehmer, die während einer komplexen Computersimulation unter stressreichen Bedingungen getestet wurden. Aufgrund der kleinen und spezifischen Stichprobe ist die Generalisierbarkeit der Ergebnisse allerdings eingeschränkt.

De Manzano et al. (2010) erforschten den Zusammenhang zwischen Flow und physiologischen Messungen während des Klavierspielens. Im Unterschied zu den Erkenntnissen von Peifer et al. (2014) wiesen die Ergebnisse dieser Studie darauf hin, dass Flow mit einer gesteigerten Aktivierung des sympathischen Nervensystems verbunden ist. Ähnliche Ergebnisse wurden auch von Nacke und Lindley (2010) erzielt, die den Zusammenhang zwischen Flow und physiologischer Aktivität bei Videospielen untersuchten. Diese Untersuchung stützt die Annahme, dass Flow-Zustände durch erhöhte Anstrengung charakterisiert sind.

Eine Studie von Keller et al. (2011), die ebenfalls physiologische Reaktionen während des Flow-Erlebens untersuchte, zeigte, dass Flow mit einer erhöhten physiologischen Beanspruchung verbunden war, die als positiver Stress (Eustress) interpretiert werden kann. Die Autoren betonten jedoch, dass dieser Zustand auch negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben könnte (Keller et al., 2011).

Ähnlich wie Nacke und Lindley (2010) untersuchte Kivikangas (2006) in einer früheren

Studie die physiologischen Werte des Flow-Zustands anhand von 32 männlichen Teilnehmern während des Spielens von Computerspielen. Das Ergebnis dieser Studie unterscheidet sich allerdings von den zuvor beschriebenen, da kein signifikanter Zusammenhang zwischen Flow und den gemessenen physiologischen Parametern beobachtet werden konnte.

Wie auch in der vorliegenden Arbeit wurde die Präejektionsperiode (PEP) bereits in früheren Studien zum Flow-Erleben als Indikator physiologischer Anstrengung herangezogen. Eine Studie von Murch et al. (2020) analysierte das selbstberichtete Flow-Erleben während der Nutzung elektronischer Glücksspielautomaten. Die Ergebnisse zeigten, dass in zwei von drei Bedingungen das Flow-Erleben mit einer signifikanten Verkürzung der PEP in den ersten fünf Minuten der Tätigkeit einherging, was auf eine erhöhte sympathische Aktivierung hinweist. In der dritten Bedingung hingegen, in der die Teilnehmenden darüber informiert wurden, dass sie das Spiel möglicherweise mit anderen Personen spielen würden, zeigte sich der gegenteilige Effekt – eine negative Korrelation zwischen Flow und der Aktivität des sympathischen Nervensystems. Diese Effekte traten ausschließlich in den ersten fünf Minuten auf. Murch et al. (2020) schlossen daraus, dass insbesondere die ersten Erfahrungen mit der Tätigkeit sowie soziale Aspekte einen entscheidenden Einfluss auf das Flow-Erleben haben.

In einer Studie von Jaque et al. (2020) wurde der Zusammenhang zwischen Flow und PEP bei Tänzerinnen und Tänzern während einer Aufführung untersucht. Es zeigte sich, dass eine erhöhte sympathische Aktivierung mit einem stärkeren Flow-Erleben sowie einer größeren Kontrolle über die Performance verbunden war.

Zusammenfassend zeigt die bisherige Forschung uneinheitliche Ergebnisse hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Flow und Anstrengung. Tabelle 1 gibt einen Überblick über zentrale Studien und ihre Ergebnisse. Vergangene Studien untersuchten Flow hauptsächlich im

Rahmen von Videospielen oder Sport. Zudem basieren viele Studien auf kleinen und rein männlichen Stichproben, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Um diese Forschungslücke zu schließen, zielt die vorliegende Arbeit darauf ab, diesen Zusammenhang anhand einer größeren und vielfältigeren Stichprobe zu untersuchen und so ein klareres Bild der physiologischen Mechanismen des Flow-Erlebens zu gewinnen.

Tabelle 1: Übersicht über bisherige Befunde zum Zusammenhang zwischen Flow und physiologischer Anstrengung

Studie	Kontext	Physiologisches Maß	Stichprobe	Hauptergebnis
De Manzano et al. (2010)	Klavierspielen	Herzrate, PEP	$N = 21$	Flow bei stärkerer sympathischer Aktivierung
Nacke & Lindley (2010)	Computerspiele	Hautleitwert, PEP	$N = 25$ (nur Männer)	Flow bei stärkerer physiologischer Aktivierung
Keller et al. (2011)	Komplexe kognitive Aufgabe	Cortisol, Herzrate	$N = 8$	Flow bei erhöhter Beanspruchung (Eustress) Flow bei erhöhter Aktivierung und wahrgenommener Kontrolle
Jaques et al. (2020)	Tanzperformance	Herzrate, PEP	$N = 60$	
Kivikangas (2006)	Computerspiele	Hautleitwert, Herzrate	$N = 32$ (nur Männer)	Kein Zusammenhang
Murch et al. (2020)	Glücksspielautomat	PEP	$N = 186$	Flow teils bei höherer, teils bei niedriger Aktivierung
Peifer et al. (2014)	Computersimulation	Herzratenvariabilität	$N = 22$ (nur Männer)	Flow bei mittlerer Aktivierung (nichtlinearer Zusammenhang)

Relevanz des Themas für Forschung und Praxis

Angesichts dieser widersprüchlichen Befunde stellt sich die Frage, welchen praktischen und wissenschaftlichen Stellenwert die Untersuchung von Flow und Anstrengung hat – ein Aspekt, der im nächsten Abschnitt beleuchtet wird.

Die bisherige Forschung zeigt nicht nur eine theoretische Relevanz, sondern legt auch nahe, dass ein besseres Verständnis von Flow und Anstrengung wertvolle Impulse für die Praxis geben kann. Diese praktische Bedeutung spiegelt sich unter anderem im gesellschaftlichen

Interesse am Flow-Zustand wider. Ein Grund dafür wird in der allgemeinen Faszination für die Positive Psychologie vermutet, die den Fokus auf Ressourcen und positive Aspekte anstatt auf Defizite legt (Ufer, 2020). Zudem ist Flow-Erleben etwas, das viele Menschen bereits aus eigener Erfahrung kennen, weshalb sie einen persönlichen Zugang dazu haben (Ufer, 2020).

Auch aus wissenschaftlicher Perspektive ist der Zusammenhang zwischen Flow und Anstrengung hochrelevant – sowohl für die Grundlagenforschung als auch für praktische Anwendungen. Während Flow häufig als Zustand maximaler Effizienz und optimaler Leistungsfähigkeit beschrieben wird (Csikszentmihalyi, 1988), ist bisher wenig über die physiologischen Prozesse bekannt, die mit Flow einhergehen. Sollte sich zeigen, dass eine erhöhte kardiovaskuläre Aktivierung mit einem intensiveren Flow-Erleben verbunden ist, würde dies darauf hindeuten, dass Flow nicht mit einer reduzierten physiologischen Beanspruchung, sondern vielmehr mit einer leistungsfördernden körperlichen Aktivierung einhergeht.

Dies würde nahelegen, dass Flow nicht nur psychologisch, sondern auch physiologisch erklärbar ist – ein Aspekt, der bisher wenig erforscht wurde, jedoch wichtige Implikationen beinhaltet. Ein besseres Verständnis dieser Mechanismen könnte beispielsweise helfen, gezielt Rahmenbedingungen zu schaffen, unter denen Flow wahrscheinlicher auftritt – etwa in Lern-, Arbeits- oder Kreativkontexten.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird daher der Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung und dem Flow-Erleben näher untersucht. Dabei stellt sich die Frage, ob Flow durch körperliche Anstrengung gezielt gefördert werden kann, oder eher auf ressourcenschonender Effizienz beruht. Aus dieser theoretischen und praktischen Relevanz ergibt sich die zentrale Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit, auf die im folgenden Abschnitt eingegangen wird.

Fragestellungen

Herleitung der Fragestellungen

Ziel der vorliegenden Studie ist es, den oben beschriebenen Forschungsbedarf aufzugreifen und einen Beitrag zur Klärung der offenen Fragen zu leisten. Dies erfolgt, indem subjektive Einschätzungen mit physiologischen Messungen der kardiovaskulären Aktivierung verknüpft werden. Durch diese Kombination soll ein differenziertes und umfassendes Verständnis darüber gewonnen werden, ob Anstrengung mit einem intensiveren oder geringeren Flow-Erleben verbunden ist. Diese Verknüpfung bildet eine solide Grundlage für zukünftige experimentelle Untersuchungen, die gezielt die Rolle der körperlichen Beanspruchung bei der Entstehung von Flow analysieren.

Frühere Studien haben gezeigt, dass Flow mit physiologischen Reaktionen, insbesondere mit der sympathischen Aktivierung des autonomen Nervensystems, assoziiert ist, wobei die bisherigen Ergebnisse in unterschiedliche Richtungen weisen. Dennoch deuten die Befunde insgesamt darauf hin, dass eine erhöhte sympathische Aktivierung mit einem intensiveren Flow-Erleben verbunden ist. Diese Effekte wurden bislang jedoch hauptsächlich in Kontexten wie Videospielen und Sport untersucht, während Flow bei der Bearbeitung kognitiv anspruchsvoller Aufgaben kaum erforscht wurde. Insbesondere fehlt bisher eine Studie, die PEP als Maß für die sympathische Aktivierung im Zusammenhang mit Flow bei einer mental herausfordernden Aufgabe einsetzt.

Die vorliegende Forschungsarbeit schließt diese Forschungslücke, indem sie untersucht, ob eine erhöhte Anstrengung während einer kognitiven Arbeitsgedächtnisaufgabe mit einem intensiveren Flow-Erleben korreliert. Um diesen Zusammenhang möglichst umfassend zu erheben, werden sowohl subjektive als auch objektive Maße herangezogen. Während Fragebögen

Aufschluss über das subjektive Flow-Erleben geben, ermöglichen physiologische Messungen eine objektive Erfassung der kardiovaskulären Aktivierung und damit der Anstrengung. Diese methodische Verknüpfung erlaubt es zu prüfen, ob eine verstärkte physiologische Beanspruchung mit der Intensität des Flow-Erlebens zusammenhängt, und bietet damit eine wertvolle Grundlage für zukünftige Untersuchungen.

Konkret wird in der vorliegenden Arbeit vermutet, dass eine erhöhte sympathische Aktivierung - gemessen durch die Präejektionsperiode (PEP) - mit einem intensiveren Flow-Erleben bei einer kognitiv anspruchsvollen Aufgabe einhergeht. Diese Annahme basiert auf früheren Forschungsergebnissen, die darauf hindeuten, dass ein gewisses Maß an Anstrengung erforderlich sein könnte, um in einen Flow-Zustand zu gelangen (Connolly & Tenenbaum, 2010; Reinhardt et al., 2006). Eine Studie von Connolly und Tenenbaum (2010) untersuchte das Flow-Erleben unter Rudernden bei einer Auslastung von 30 %, 50 % und 75 % der maximalen Arbeitsbelastung. Die Ergebnisse zeigten, dass die Steigerung der Anstrengung zu einer Verlagerung der Aufmerksamkeit von der Umgebung (Dissoziation) auf die Tätigkeit und das Individuum selbst (Assoziation) führte (Connolly & Tenenbaum, 2010). Diese Beobachtung entspricht zwei zentralen Aspekten des Flow-Erlebens: der vollständigen Konzentration auf die auszuführende Tätigkeit und dem Ausblenden äußerer Reize (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018; Csikszentmihalyi, 1988). Die Ergebnisse dieser Studie könnten demnach ein Indiz dafür sein, dass eine Erhöhung der Anstrengung das Erreichen eines Flow-Zustands begünstigt (Connolly & Tenenbaum, 2010).

Diese Vermutung basiert zudem auf dem oben beschriebenen Quadrantenmodell (Abbildung 1) von Csikszentmihalyi und Csikszentmihalyi (1991, zitiert nach Ufer, 2020). Es veranschaulicht, dass ein Flow-Zustand nur bei individuell hohen Anforderungen und Fähigkeiten

erreicht werden kann. Allein die Bedingung, sich im Bereich der eigenen überdurchschnittlichen Fähigkeiten zu befinden, spricht für die Notwendigkeit, hohe Anstrengung zu investieren. Wird man zusätzlich mit einer Tätigkeit oder Aufgabe konfrontiert, die anspruchsvolle Anforderungen stellt, so lässt sich schlussfolgern, dass das Zusammentreffen dieser beiden Faktoren zwangsläufig einen hohen Anstrengungsaufwand erfordert.

Darüber hinaus zeigt der aktuelle Stand der Wissenschaft, dass Aufmerksamkeit eng mit Anstrengung verbunden ist (Kahneman, 1973, zitiert nach Bruya & Tang, 2018). Da die fokussierte Aufmerksamkeit auf die ausgeführte Tätigkeit ein zentrales Merkmal des Flow-Zustands ist, liegt die Vermutung nahe, dass eine erhöhte Anstrengung eine entscheidende Bedingung für das Erreichen eines Flow-Erlebens im Sinne der Definition von Csikszentmihalyi sein könnte. Aus diesen theoretischen Überlegungen ergibt sich die folgende Hypothese:

H1: Eine höhere Anstrengung (niedrigere PEP-Werte) ist mit einem intensiveren Flow-Erleben während der Bearbeitung einer kognitiven Arbeitsgedächtnisaufgabe assoziiert.

Zusätzlich zur zentralen Forschungsfrage wurde explorativ untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem erlebten Flow und der tatsächlich erbrachten Leistung besteht. Mehrere Studien zeigen, dass Flow mit verbesserter Konzentration, Zielgerichtetheit und erhöhter Leistung in kognitiven Aufgaben zusammenhängt (Engeser & Rheinberg, 2008; Rogatko, 2009). Aus theoretischer Sicht sollte Flow daher die Aufgabenbearbeitung unmittelbar fördern – etwa durch intensive Aufmerksamkeitslenkung, Klarheit über die Zielsetzung und ein subjektives Gefühl der Kontrolle (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). Darüber hinaus wird Flow aufgrund seiner belohnenden Natur als motivationssteigernd beschrieben, was zu intensiverem Engagement und effektiverem Arbeiten beitragen kann (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018).

Gleichzeitig kann auch gute Leistung das Flow-Erleben begünstigen, da wahrgenommene

Kontrolle und Kompetenz zentrale Bedingungen für das Eintreten von Flow sind (Csikszentmihalyi & Nakamura, 2018). In einer Reihe von Studien wurde gezeigt, dass Flow signifikant mit besseren Leistungen in unterschiedlichen Kontexten assoziiert ist – etwa beim Lernen, bei Computerspielen oder in komplexen Teamaufgaben (Engeser et al., 2005; Aubé et al., 2014; Demerouti et al., 2014). Aufgrund dieser wechselseitigen Beziehung wird in der vorliegenden Arbeit explorativ geprüft, ob das Flow-Erleben mit der objektiven Leistung in einer Gedächtnisaufgabe korreliert.

H2 (explorativ): Ein höheres Flow-Erleben ist mit einer besseren Leistung in einer kognitiven Arbeitsgedächtnisaufgabe assoziiert.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen dazu beitragen, die bisher widersprüchlichen Befunde weiter aufzuklären und die physiologischen Mechanismen des Flow-Erlebens besser zu verstehen. Langfristig könnten diese Erkenntnisse nicht nur die wissenschaftliche Diskussion bereichern, sondern auch praktische Implikationen für die Gestaltung von Lern- und Arbeitsumgebungen bieten, um sowohl die kognitive Leistungsfähigkeit als auch das Wohlbefinden zu steigern. Darüber hinaus wird explorativ untersucht, ob das subjektive Flow-Erleben mit der tatsächlichen Leistung in der Aufgabe in Zusammenhang steht.

Forschungsüberblick

Zusammenfassend untersucht die vorliegende Studie, ob eine erhöhte Anstrengung mit einem intensiveren Flow-Erleben bei der Bearbeitung einer kognitiv anspruchsvollen Aufgabe einhergeht. Die Teilnehmenden bearbeiteten zwei aufeinanderfolgende Aufgaben: zunächst eine N-Back-Aufgabe, anschließend eine Math-Effort-Task (MET). Die N-Back-Aufgabe diente als zentrale Phase zur Erhebung der relevanten physiologischen und subjektiven Daten. Die MET wurde im Anschluss durchgeführt, wird jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht weiter

berücksichtigt, da sich die Analyse ausschließlich auf die N-Back-Daten bezieht.

Die physiologische Anstrengung wird objektiv über PEP-Werte gemessen, während das Flow-Erleben mittels Fragebögen erfasst wird. Ziel ist es, ein differenziertes Bild der physiologischen Grundlagen des Flow-Zustands zu gewinnen. Ergänzend wird explorativ untersucht, ob das erlebte Flow-Erleben mit der tatsächlich erbrachten Leistung in der N-Back-Aufgabe zusammenhängt.

Methode

Untersuchungsdesign

Die vorliegende Studie folgte einem korrelativen Querschnittsdesign, bei dem die unabhängige Variable (Anstrengung) durch physiologische Parameter und die abhängige Variable (Flow) mittels Selbstberichten gemessen wurde. Der Fokus lag auf der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Anstrengung und Flow, wobei vermutet wurde, dass eine erhöhte physiologische Anstrengung zu einem stärkeren Flow-Erleben führt.

Die Datenerhebung fand in einem experimentell kontrollierten Laborumfeld statt und bestand aus zwei Phasen: der N-Back-Aufgabe (Phase 1) und der Math-Effort-Aufgabe (MET, Phase 2). Das Flow-Erleben wurde mit der Flow-Kurzskala (FKS; Rheinberg et al., 2003) jeweils nach Abschluss der Aufgaben rückblickend erfasst. Die Anstrengung wurde ausschließlich während der N-Back-Aufgabe über die Präejektionsperiode (PEP) erfasst. Um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, durchliefen alle Versuchspersonen die gleichen Phasen, wobei die Abfolge der Aufgaben und die Messmethoden standardisiert waren.

Die Teilnehmenden wurden im Rahmen einer übergeordneten experimentellen Studie zufällig einer von zwei Versuchsbedingungen (anstrengungsabhängige oder leistungsabhängige Belohnung während der N-Back-Aufgabe) zugeordnet. Obwohl die Belohnungsart für die vorliegende Fragestellung nicht zentral war, wurde sie als Kontrollvariable in die Datenanalyse aufgenommen, um potenzielle Gruppenunterschiede zu berücksichtigen.

Stichprobe

Eine a priori Power-Analyse wurde basierend auf den Ergebnissen früherer Studien zu physiologischen Prozessen und Flow-Erleben (Jaque et al., 2020; Keller et al., 2011; Murch et al., 2020; Nacke & Lindley, 2010) durchgeführt. Dabei wurde eine Power ($1-\beta$) von 0.80, eine

erwartete Effektgröße von 0.10 und ein Alpha-Niveau (α) von 0.05 angenommen. Die Analyse ergab eine Mindeststichprobengröße von $N = 100$, um eine ausreichende statistische Aussagekraft zu gewährleisten. Unter Berücksichtigung einer erwarteten Abbruchquote von etwa 10 % (z. B. durch Datenausfälle oder Versuchsfehler) wurde eine Anzahl von 110 Teilnehmer*innen angestrebt.

Die Proband*innen dieser Studie waren Psychologie-Studierende der Universität Wien und wurden aus dem Teilnehmer*innenpool der Universität Wien rekrutiert (70 % Frauen, 30 % Männer). Die Teilnahmebedingungen umfassten Erwachsene ab 18 Jahren, die keine kardiovaskulären oder psychischen Erkrankungen aufwiesen, um sicherzustellen, dass die physiologischen Messungen ausschließlich die investierte Anstrengung und nicht mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen widerspiegeln. Um potenzielle Störvariablen zu minimieren, wurden Personen ausgeschlossen, die zum Zeitpunkt der Datenerhebung Medikamente mit Einfluss auf die kardiovaskuläre Funktion einnahmen oder an anderen Studien zur Motivation teilnahmen. Zudem wurden ausschließlich Daten von Personen berücksichtigt, die die Studie vollständig abgeschlossen hatten. Die Vergütung erfolgte in Form von Credits (Leistungspunkte nach dem European Credit Transfer and Accumulation System [ECTS], die für den Abschluss von Lehrveranstaltungen an der Universität Wien erforderlich sind).

Insgesamt nahmen 112 Personen an der Studie teil. Zwei Personen wurden aufgrund technischer Probleme bei der PEP-Erhebung ausgeschlossen, sodass die finale Stichprobe $N = 110$ umfasste. Darunter waren 72 % Frauen, 24 % Männer und 4 % divers. Das Durchschnittsalter lag bei $M = 22.17$ Jahren ($SD = 2.90$). Eine Übersicht über zentrale demografische Merkmale findet sich in Tabelle 2. Ergänzend zur geplanten Stichprobengröße wurde ein separater Testlauf im Vorfeld genutzt, um zentrale Aspekte des Studiendesigns auf ihre Praxistauglichkeit hin zu testen.

Tabelle 2: Deskriptive Merkmale der Stichprobe

Variable	Statistiken
Stichprobengröße	$N = 110$
Alter (in Jahren)	$M = 22.17$, $SD = 2.90$, Range: 18-31
Geschlecht	weiblich = 79 (71.8 %), männlich = 26 (23.6 %), divers = 5 (4.5 %)

Pilotierungsphase

Zu Beginn der vorliegenden Studie wurde eine Pilotierungsphase mit 46 Versuchspersonen durchlaufen, um die Durchführbarkeit und Verständlichkeit der eingesetzten Messinstrumente sowie den Ablauf der Studie zu überprüfen. Dabei zeigte sich, dass die ursprünglich in englischer Sprache formulierten Items teilweise Verständnisprobleme bei den deutschsprachigen Teilnehmenden verursachten. Es wurde häufig nach der Bedeutung bestimmter Begriffe gefragt, was darauf hinwies, dass die Fragen nicht optimal an den sprachlichen Hintergrund der Teilnehmenden angepasst waren.

Aufgrund dieser Erkenntnis wurden die Items vollständig ins Deutsche übersetzt und inhaltlich überarbeitet, um die Verständlichkeit zu verbessern und die Validität der Studie zu erhöhen. Durch diese Anpassungen wurde sichergestellt, dass die Fragen klar formuliert sind, sodass die Teilnehmenden ohne Verständnisprobleme antworten konnten. Da die Poweranalyse eine Mindeststichprobe von 100 Personen vorsah, war auch nach dem Ausschluss der Pilotdaten eine ausreichende Datenbasis für eine robuste Auswertung gewährleistet. Die in der Pilotphase eingesetzten Instrumente blieben auch in der Haupterhebung unverändert und werden im folgenden Abschnitt näher erläutert.

Messmethoden

Messung der Anstrengung

Die sympathische Aktivierung und damit verbundene Anstrengung wurde über die

Präejektionsperiode (PEP) des Herzens erfasst. Die Aufzeichnung der PEP begann in der achten Minute der Ausgangsphase. Die Werte der letzten zwei Minuten dieser Phase wurden herangezogen, um für jede Person individuelle Referenzwerte im Ruhezustand zu bestimmen. Zur Berechnung der Anstrengung wurden Differenzwerte (Δ PEP) gebildet, indem die durchschnittliche PEP während der Aufgabenbearbeitung von der durchschnittlichen PEP der Ausgangsphase subtrahiert wurde (Δ PEP = PEP Aufgabe – PEP Ausgangsphase). Ein negativer Δ PEP-Wert wies auf eine Verkürzung der PEP hin, was eine erhöhte sympathische Aktivierung und somit eine stärkere investierte Anstrengung signalisierte.

Messung des Flow-Erlebens

Der Flow-Zustand der Versuchspersonen wurde mithilfe der Flow-Kurzskala (FKS) von Rheinberg, Vollmeyer und Engeser (2003) erhoben. Die Skala besteht im Kern aus zehn Items, die die Merkmale des Flow-Erlebens messen, darunter ein glatter, automatisierter Verlauf, ein verändertes Zeitempfinden und ein völliges Aufgehen in der Aufgabe. Beispiele für Items sind: „Ich merke gar nicht, wie die Zeit vergeht“, „Ich bin ganz vertieft in das, was ich gerade mache“ und „Die richtigen Gedanken/Bewegungen kommen wie von selbst“. Die interne Konsistenz der Skala liegt bei Cronbachs $\alpha = 0.90$. Die Antworten wurden auf einer 7-stufigen Likert-Skala (1 = „Trifft nicht zu“ bis 7 = „Trifft zu“) erfasst. Eine vollständige Auflistung der Items befindet sich im Anhang. Der Mittelwert der zehn Flow-Items wurde als Gesamtwert (Flow-Score) berechnet, wobei höhere Werte ein stärkeres Flow-Erleben anzeigen.

Die Wahl der FKS als Messinstrument des Flow-Erlebens basierte auf mehreren Faktoren. Erstens wurde die Skala umfassend validiert und ist in ihrer englischen Version (Flow Short Scale, FSS) auch international anerkannt (Jackson et al., 2008). Zweitens deckt sie die zentralen Dimensionen des Flow-Erlebens zuverlässig ab und bietet eine pragmatische Möglichkeit, Flow

zu messen, ohne Versuchspersonen mit vielen Items zu überfordern (Rheinberg et al., 2003). Aufgrund ihrer Kürze eignet sie sich besonders für Studien, in denen Flow mehrfach oder in Kombination mit anderen Messungen erfasst werden soll, wie in der vorliegenden Untersuchung (Rheinberg et al., 2003). Drittens wurde die Skala speziell für den deutschsprachigen Gebrauch entwickelt, wodurch potenzielle Übersetzungsfehler vermieden werden. Schließlich kann die FKS zur Erfassung von Flow in den verschiedensten Bereichen eingesetzt werden und eignet sich daher hervorragend für den Kontext der aktuellen Studie (Jackson et al., 2008).

Die FKS wurde den Versuchspersonen im Verlauf der Studie zweimal dargeboten: erstmals nach Abschluss der Phase 1 (N-Back-Aufgabe) und erneut nach Abschluss der Phase 2 (MET). Diese Erhebungszeitpunkte wurden gewählt, um den Flow-Zustand möglichst zeitnah nach der Bearbeitung der Aufgaben zu erfassen und so potenzielle Erinnerungsverzerrungen zu vermeiden. Auf eine wiederholte Darbietung der FKS innerhalb einer Phase wurde bewusst verzichtet, um zu verhindern, dass die Proband*innen aus ihrer Tätigkeit gerissen und dadurch in ihrem Flow-Erleben gestört wurden. Diese Vorgehensweise stellte sicher, dass die Messung des Flow-Zustands weder die Bearbeitung der Aufgaben noch das Erleben der Teilnehmenden beeinträchtigte.

Messung der N-Back-Leistung

Die Leistung in der N-Back-Aufgabe wurde mittels d' (d-prime) ausgewertet, einem Maß aus der Signalentdeckungstheorie, das die Anzahl korrekt erkannter Zielreize und die Anzahl falscher Reaktionen auf Nicht-Zielreize berücksichtigt (Stanislaw & Todorov, 1999). D-prime erlaubt eine differenzierte Beurteilung der Sensitivität der Teilnehmenden, also ihrer Fähigkeit, Zielreize zuverlässig von Nicht-Zielreizen zu unterscheiden (Stanislaw & Todorov, 1999). Höhere d' -Werte weisen auf eine bessere Leistung hin.

Methodisches Vorgehen

Nachdem die Messinstrumente beschrieben wurden, folgt nun eine Darstellung des genauen Ablaufs der Erhebung. Zu Beginn der Studie wurde die Versuchsperson gebeten, alle elektronischen Geräte im Nebenraum abzulegen, um potenzielle Störfaktoren auszuschließen. Anschließend erfolgte eine kurze Erläuterung der nächsten Schritte, bevor sie sich am Computer positionierte und die Elektroden angelegt wurden.

Ausgangsphase

Die eigentliche Erhebung begann mit einer standardisierten Ausgangsphase, in der die physiologischen Ruhewerte der Teilnehmenden erfasst wurden. Sobald die Versuchsperson vor dem PC, auf dem die Instruktionen und Aufgaben angezeigt wurden, Platz genommen hatte und die Elektroden befestigt wurden, begann eine zehnminütige Ausgangsphase, die sogenannte Baseline-Periode. Während dieser Zeit hörte die Versuchsperson beruhigende Musik, die sie aus einer vorgegebenen Playlist frei wählen konnte. Ziel dieser Phase war es, die kardiovaskuläre Aktivität im Ruhezustand zu erfassen, um individuelle Referenzwerte für die späteren Anstrengungsmessungen zu erhalten. Die ersten acht Minuten der Baseline-Periode dienten ausschließlich der Entspannung. Erst während der letzten zwei Minuten erfolgte die tatsächliche Aufzeichnung der kardiovaskulären Parameter, um eine stabile Ruhephase zu gewährleisten.

Nach der Baseline-Periode erklärte die Versuchsleitung, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht über die zugewiesene Versuchsbedingung informiert war, der teilnehmenden Person die nächsten Schritte. Erst danach erfuhr die Versuchsleitung die zufällig zugeteilte Versuchsbedingung (anstrengungs- vs. leistungsabhängige Belohnung) und die erste Aufgabe begann.

Phase 1

Phase 1 beinhaltete eine standardisierte N-Back-Aufgabe, die zentraler Untersuchungsgegenstand der Studie war (siehe Abschnitt „Aufgabenbeschreibung: N-Back-Aufgabe“). Die Teilnehmenden erhielten nach jeder Runde über den Bildschirm eine Rückmeldung über den verdienten Betrag, dessen Berechnungsgrundlage sich je nach Versuchsbedingung unterschied. Die Auszahlung erfolgte nach Studienende. Nach Abschluss der Aufgabe bearbeiteten die Teilnehmenden mehrere Fragebögen, darunter die Flow-Kurzskala (FKS).

Phase 2

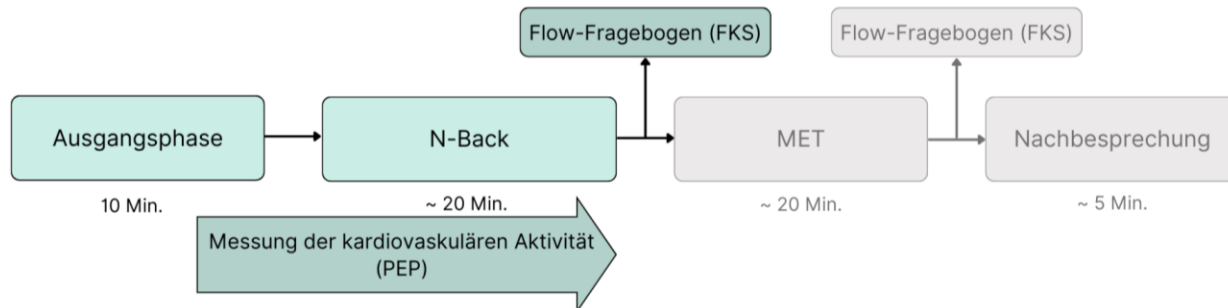
Phase 2 war für beide Gruppen identisch. Die Proband*innen bearbeiteten die Math-Effort-Task (MET), bei der sie Additionsaufgaben lösten. Diese waren in zwei Schwierigkeitsstufen (Level 1 und Level 2) unterteilt und wurden nach dem Zufallsprinzip mit vorheriger Ankündigung dargeboten. Im Gegensatz zur ersten Phase erfolgte während der MET keine Belohnung. Wie nach Phase 1 wurden auch nach Phase 2 erneut Fragebögen vorgelegt, um unter anderem den Flow-Zustand zu erfassen. Abschließend beantworteten die Teilnehmenden demografische Fragen sowie Angaben zu ihrem aktuellen Befinden.

Abschlussphase

Schließlich wurden die Elektroden entfernt, und die Versuchsleitung führte eine mündliche Nachbesprechung mit der teilnehmenden Person durch. Dabei wurde erfragt, ob sie vermutete, durch eine frühere Teilnahme an ähnlichen Studien beeinflusst worden zu sein, ob während der Durchführung Unklarheiten aufgetreten waren und was sie für den Gegenstand der Studie hielt. Danach wurde der eigentliche Zweck der Untersuchung offengelegt und etwaige Rückfragen beantwortet. Abschließend unterzeichnete die Versuchsperson die Einverständniserklärung und

erhielt das während der N-Back-Aufgabe verdiente Geld. Der gesamte Ablauf der Laborstudie wird in Abbildung 2 grafisch dargestellt.

Abbildung 2: skizzierter Ablauf der Studie



Aufgabenbeschreibung: N-Back-Aufgabe

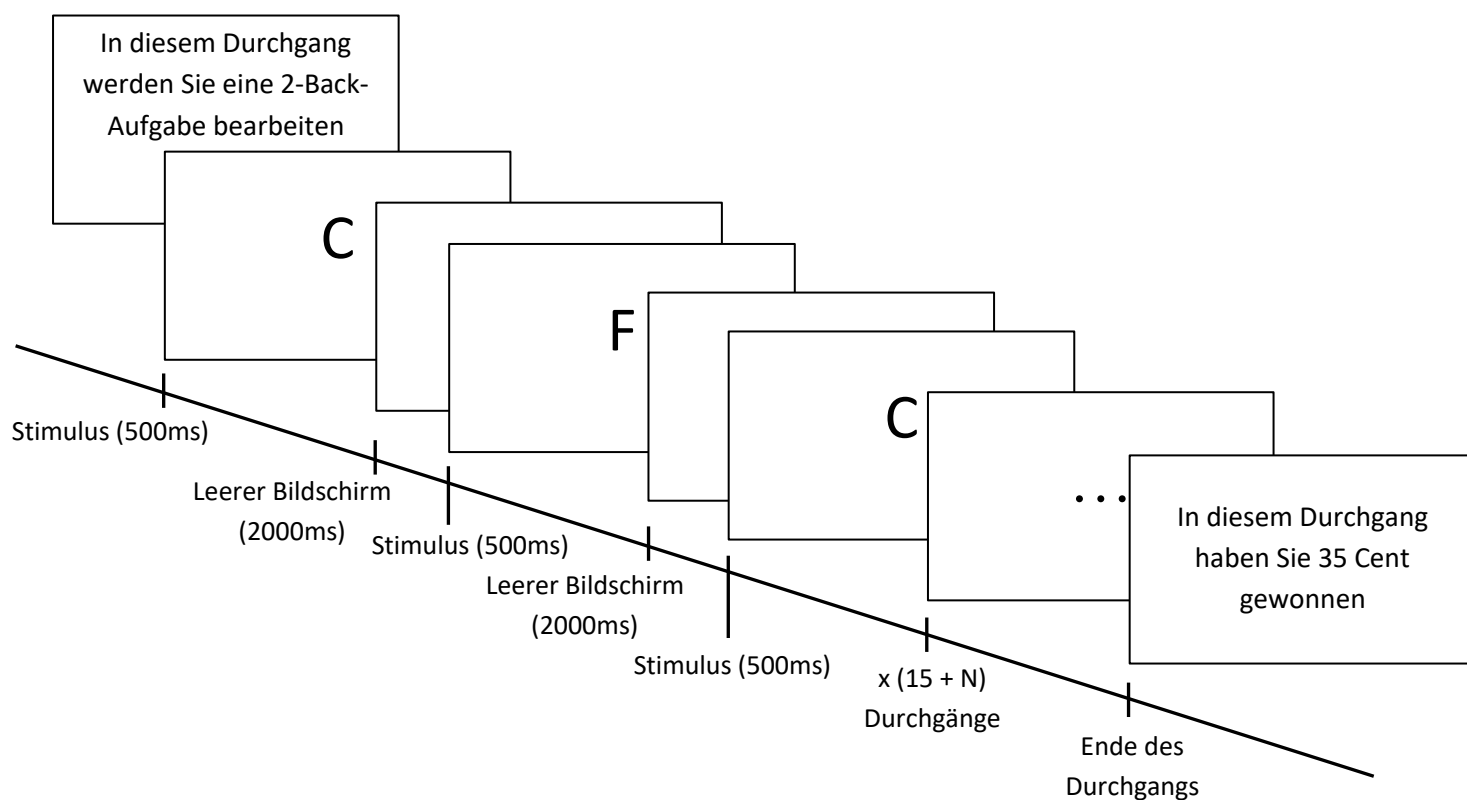
Die N-Back-Aufgabe ist ein häufig eingesetztes Verfahren zur Messung des Arbeitsgedächtnisses (Kane et al., 2007). Sie wurde in den 1950er Jahren von Kirchner (1958, zitiert nach Nikolin et al., 2021) entwickelt und erstmals eingesetzt. Es handelt sich um einen fortlaufenden Wiedererkennungstest, bei dem den Testpersonen Buchstabenfolgen präsentiert werden (Nikolin et al., 2021). Dabei müssen sie jeweils entscheiden, ob der aktuelle Buchstabe mit demjenigen identisch ist, der n Schritte zuvor dargeboten wurde. Der Wert n variiert zwischen den einzelnen Versuchsblöcken. Bei einer 2-Back-Aufgabe sollte die getestete Person reagieren, wenn der aktuelle Buchstabe mit dem übereinstimmt, der zwei Positionen zuvor präsentiert wurde.

In der vorliegenden Studie wurden vier Schwierigkeitsstufen eingesetzt, die von 1-back bis 4-back reichten. Ein Beispiel ist die Abfolge „CFCAA“, in der das zweite „A“ eine 1-back-Übereinstimmung darstellt. Zu Beginn absolvierten alle Teilnehmenden Übungsdurchgänge für jedes Schwierigkeitsniveau und erhielten Feedback zu ihrer Leistung. Dies sollte sicherstellen, dass die Aufgabe verstanden wurde. Anschließend folgte die eigentliche Testphase: Nach jedem Stimulus hatte die Testperson 2.5 Sekunden Zeit, um durch Drücken der Taste „A“ zu signalisieren, dass der aktuelle Buchstabe mit dem n Positionen zuvor präsentierten identisch ist.

Lag keine Übereinstimmung vor, erfolgte keine Reaktion.

Nach jedem Durchgang erhielten die Teilnehmenden eine Rückmeldung über die Höhe ihrer finanziellen Belohnung, die entsprechend ihrer Gruppenzugehörigkeit berechnet wurde. In der anstrengungsabhängigen Gruppe basierte die Vergütung auf der Veränderung der PEP: Für jede Verkürzung um 0.10 % wurde 1 Cent ausgezahlt. In der leistungsabhängigen Gruppe erhielten die Teilnehmenden 40 Cent für eine vollständig fehlerfreie Leistung (100 %). Für jeden Prozentpunkt darunter wurden 0.4 Cent abgezogen. Die Aufgabe umfasste 16 Blöcke – jeweils vier pro Schwierigkeitsstufe, die in zufälliger Reihenfolge erschienen. Die Bearbeitung der N-Back-Aufgabe dauerte insgesamt etwa 25 Minuten. Ein exemplarischer Ablauf der N-Back-Aufgabe wird in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Ablauf eines N-Back-Durchgangs. Jeder Durchgang bestand aus $15 + N$ Buchstaben. Die PEP-Werte wurden während des gesamten Durchgangs aufgezeichnet.



Datenanalyse

Datenaufbereitung und Bereinigung

Die Datenaufbereitung umfasste die Sichtung, Bereinigung und Vorbereitung der erhobenen Daten für die Analyse. Fehlende Werte wurden überprüft und problematische Fälle entsprechend ausgeschlossen. Insgesamt wurden 110 vollständige Datensätze für die statistische Auswertung verwendet (siehe Abschnitt „Stichprobe“).

Die Δ PEP-Werte wurden z-transformiert, um die Interpretation der Regressionskoeffizienten zu erleichtern und standardisierte Effektstärken zu erhalten (vgl. Field et al., 2012). Die Werte des Flow-Erlebens (FKS) wurden hingegen in ihrer Originalskala belassen, da sie auf einer einheitlichen Skala erhoben wurden und eine Interpretation in diesem Format intuitiv nachvollziehbar ist.

Abschließend erfolgte eine Prüfung der Stichprobencharakteristika, um sicherzustellen, dass die Gruppen (anstrengungsabhängige vs. leistungsabhängige Bedingung) hinsichtlich relevanter demografischer Variablen (Alter, Geschlecht) sowie der Ausgangswerte der kardiovaskulären Aktivität vergleichbar waren. Für Alter und PEP-Baseline-Werte wurden unabhängige t -Tests durchgeführt, für Geschlecht ein Chi²-Test. In allen Fällen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede ($p > .05$).

Alle Analysen wurden mit R (Version 4.4.2; R Core Team, 2024) in RStudio (Version 2024.12.0.467; Posit Software, PBC, 2024) durchgeführt. Im nächsten Schritt wurden die Annahmen für die geplanten Regressionsanalysen überprüft.

Prüfung der Annahmen

Um die Gültigkeit der Modelle zu gewährleisten, wurden vor der Durchführung der

multiplen linearen Regressionsanalysen die zugrunde liegenden Annahmen geprüft, darunter die Normalverteilung der Residuen, Homoskedastizität (Varianzhomogenität der Residuen) und Multikollinearität (vgl. Field et al., 2012).

Die Normalverteilung der Residuen wurde visuell anhand von Histogrammen und Q-Q-Plots überprüft. Die Homoskedastizität der Residuen wurde sowohl visuell über Streudiagramme der standardisierten Residuen gegen die vorhergesagten Werte als auch statistisch mithilfe des Breusch-Pagan-Tests (BP) beurteilt. Die Multikollinearität zwischen den Prädiktoren wurde über die Berechnung der Varianzinflationsfaktoren (VIF) geprüft. In allen Fällen ergaben sich keine Hinweise auf eine Verletzung der Regressionsvoraussetzungen.

Die beschriebenen Prüfungen der Regressionsvoraussetzungen wurden analog auch für das Modell zur explorativen Hypothese H2 durchgeführt. Auch hier zeigten sich keine Hinweise auf eine Verletzung der Annahmen: Die Residuen wiesen eine annähernd normalverteilte Struktur auf (Histogramm, Q-Q-Plot), die Homoskedastizität war gegeben (BP, $p = .89$), und die Multikollinearität zwischen den Prädiktoren war unkritisch ($VIF < 1.1$). Nach erfolgreicher Prüfung der Regressionsvoraussetzungen wurden die statistischen Analysen zur Überprüfung der Hypothesen durchgeführt.

Statistische Analysen

Zur Überprüfung der Hypothese (H1) wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Ziel war es zu testen, ob eine erhöhte Anstrengung – operationalisiert durch die Präejektionsperiode (Δ PEP) – mit einem intensiveren Flow-Erleben einhergeht. Die unabhängige Variable war dabei die Anstrengung (Δ PEP), die abhängige Variable das Flow-Erleben. Da die Teilnehmenden im Rahmen einer übergeordneten Studie zufällig einer von zwei Versuchsgruppen (anstrengungsabhängige vs. leistungsabhängige Belohnung) zugewiesen wurden, wurde die

Gruppenzugehörigkeit als Kontrollvariable in die Regression aufgenommen, um mögliche systematische Unterschiede zwischen den Gruppen statistisch zu berücksichtigen.

Potenzielle Kovariaten wie Alter, Geschlecht und die Δ PEP-Ausgangswerte in der Ruhephase wurden im Vorfeld der Analyse auf Zusammenhänge mit der unabhängigen Variable (Δ PEP) sowie der abhängigen Variable (Flow-Erleben) überprüft. Da keine dieser Variablen signifikante Korrelationen ($p < .05$) mit den zentralen Modellvariablen aufwies, wurden sie nicht in die Regressionsanalyse aufgenommen (vgl. Field et al., 2012).

Im Rahmen der Hypothesenprüfung (H1) wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt, wobei die Gruppenzugehörigkeit (anstrengungs- vs. leistungsabhängige Belohnung) als kategoriale Kontrollvariable berücksichtigt und mittels Dummy-Codierung (0 = anstrengungsabhängig, 1 = leistungsabhängig) in das Modell aufgenommen wurde.

Zusätzlich zur Hypothese H1 wurde explorativ untersucht, ob das subjektive Flow-Erleben während der N-Back-Aufgabe mit der tatsächlichen Leistung in dieser Aufgabe zusammenhängt (H2). Zu diesem Zweck wurde eine einfache lineare Regressionsanalyse durchgeführt, bei der das Flow-Erleben (Mittelwert der FKS-Items während der N-Back-Aufgabe) als Prädiktor und die N-Back-Leistung als Kriterium in das Modell aufgenommen wurde.

In einem zweiten Schritt wurde die Analyse unter Kontrolle der Gruppenzugehörigkeit (anstrengungs- vs. leistungsabhängige Belohnung) wiederholt, um potenzielle Einflüsse der experimentellen Bedingung auszuschließen. Die Gruppenzugehörigkeit wurde dazu erneut als Prädiktor in das Modell aufgenommen.

Ergebnisse

Flow-Erleben während der N-Back-Aufgabe

Die Teilnehmenden berichteten insgesamt ein mittleres bis hohes Maß an Flow während der N-Back-Aufgabe. Der durchschnittliche Flow-Wert lag bei $M = 4.12$ ($SD = 0.96$) auf einer Skala von 1 bis 7. Die Flow-Werte reichten von 2.10 bis 6.60, wobei der Median bei 4.20 lag. Die Verteilung der Flow-Werte zeigte eine leichte Linksschiefe. Das bedeutet, dass viele Personen relativ hohe Flow-Werte angaben, während sehr niedrige Werte seltener vorkamen. Dies spricht dafür, dass die N-Back-Aufgabe grundsätzlich das Potenzial hatte, Flow zu ermöglichen.

Flow-Erleben während der MET

Im Vergleich zur N-Back-Aufgabe wurde das Flow-Erleben während der Math-Effort-Task insgesamt als eher moderat eingeschätzt. Der durchschnittliche Flow-Wert lag bei $M = 3.29$ ($SD = 1.00$), auf derselben Skala von 1 bis 7. Die Werteverteilung reichte von 1.00 bis 5.80, mit einem Median von 3.30. Die Verteilung der Angaben wies eine leichte Rechtsschiefe auf, was nahelegt, dass tendenziell mehr Teilnehmende niedrigere Flow-Werte angaben. Diese Befunde deuten darauf hin, dass die MET im Vergleich zur N-Back-Aufgabe weniger günstige Bedingungen für ein starkes Flow-Erleben bot.

Physiologische Anstrengung während der N-Back-Aufgabe

Zur objektiven Erfassung der Anstrengung wurde die Differenz zwischen den PEP-Werten der Ausgangsphase (Baseline) und der N-Back-Aufgabe berechnet. Negative Differenzwerte deuten auf eine erhöhte sympathische Aktivierung hin. Der durchschnittliche Δ PEP-Wert lag bei $M = -4.49$ ms ($SD = 7.73$), was auf eine insgesamt erhöhte Anstrengung während der Aufgabenbearbeitung im Vergleich zur Ruhephase hinweist. Die Werte reichten von -22.72 ms bis $+11.14$ ms, mit einem Median von -2.73 ms. Die Verteilung war leicht linksschief (Schiefe = -

0.50), was bedeutet, dass viele Teilnehmende moderate bis stärkere physiologische Aktivierung zeigten, während schwächere Veränderungen seltener waren. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass die Bearbeitung der N-Back-Aufgabe bei einem Großteil der Teilnehmenden eine erkennbare physiologische Reaktion ausgelöst hat.

Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung und Flow-Erleben (H1)

Zur Überprüfung der Hypothese, ob eine höhere physiologische Anstrengung – operationalisiert über z-standardisierte ΔPEP -Werte – mit einem intensiveren Flow-Erleben während der N-Back-Aufgabe assoziiert ist, wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Die Gruppenzugehörigkeit (anstrengungs- vs. leistungsabhängige Belohnung) wurde als Kontrollvariable in das Modell aufgenommen.

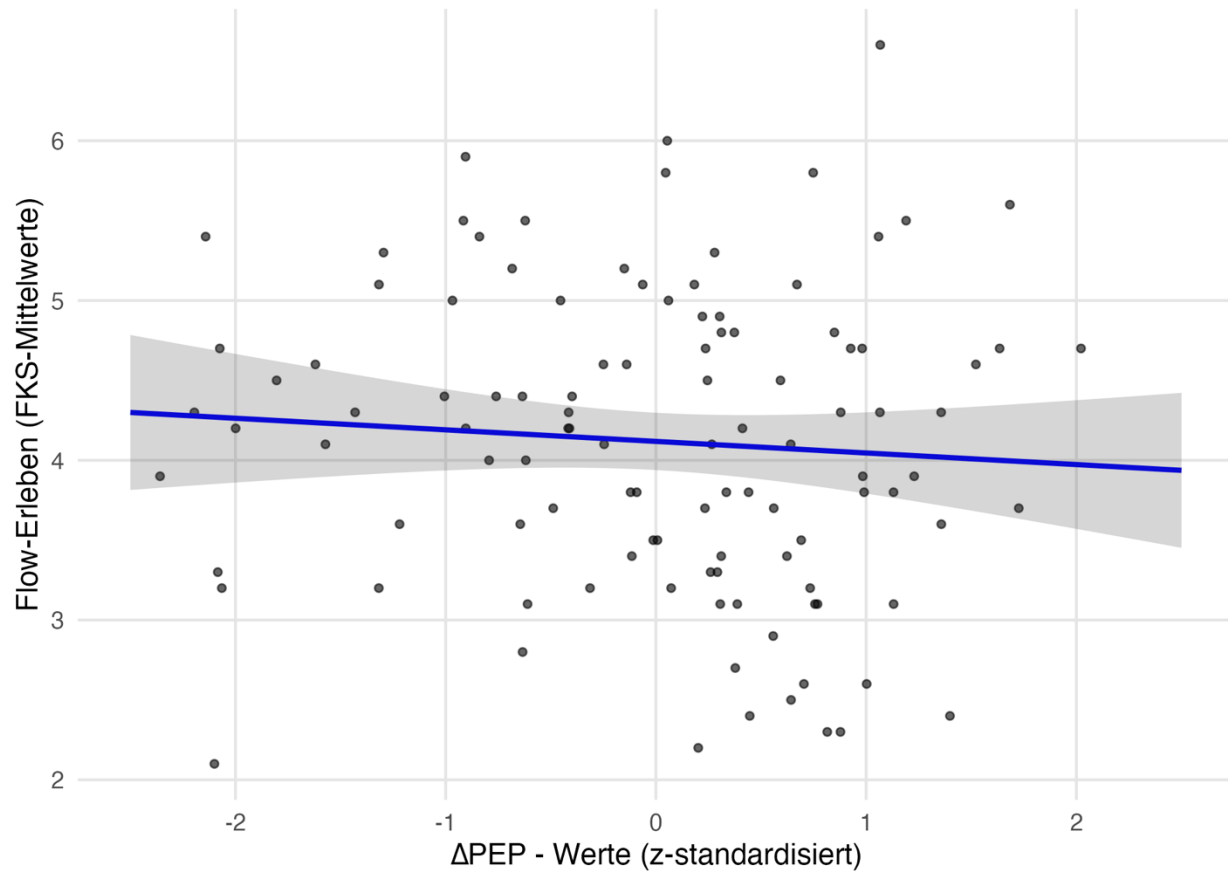
Das Regressionsmodell erklärte einen nicht signifikanten Anteil der Varianz im Flow-Erleben, $R^2 = .03$, adj. $R^2 = .01$, $F(2, 107) = 1.73$, $p = .18$. Weder die physiologische Anstrengung ($\beta = -0.07$, $SE = 0.09$, $p = .43$) noch die Gruppenzugehörigkeit ($\beta = 0.31$, $SE = 0.18$, $p = .09$) trugen signifikant zur Vorhersage des Flow-Erlebens bei. Tabelle 3 zeigt die Regressionskoeffizienten des Modells. Die erwartete Beziehung zwischen physiologischer Anstrengung und Flow während der N-Back-Aufgabe konnte somit nicht nachgewiesen werden (Abbildung 4).

Tabelle 3: Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung (ΔPEP) und Flow-Erleben (multiple lineare Regression, kontrolliert für Gruppenzugehörigkeit; H1)

Prädiktor	β	SE	t	p
(Konstante)	3.96	0.13	30.06	< .001
Physiologische Anstrengung (ΔPEP , z)	-0.07	0.09	-.80	.43
Gruppenzugehörigkeit	0.31	0.18	1.70	.09

Anmerkung. β = Regressionskoeffizient; SE = Standardfehler.

Abbildung 4: Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung (ΔPEP , z-standardisiert) und Flow-Erleben (FKS-Mittelwerte) während der N-Back-Aufgabe.



Anmerkung. Die Punkte stellen Einzeldaten dar; die Regressionslinie basiert auf dem Modell mit Gruppenkontrolle und ist mit einem 95%-Konfidenzintervall (KI) dargestellt.

Ergänzend wurde ein zweites Regressionsmodell berechnet, das denselben Zusammenhang untersuchte, jedoch ohne Einbezug der Gruppenzugehörigkeit als Kontrollvariable. Auch dieses Modell konnte keinen signifikanten Zusammenhang identifizieren. Es erklärte lediglich einen sehr geringen Anteil der Varianz ($R^2 = .01$, $\text{adj. } R^2 = -.00$), $F(1, 108) = 0.56$, $p = .46$. Der Prädiktor ΔPEP erwies sich erneut nicht als signifikanter Prädiktor des Flow-Erlebens ($\beta = -0.07$, $SE = 0.09$, $p = .46$).

Die Ergebnisse beider Modelle – mit und ohne Kontrolle der Gruppenzugehörigkeit – deuten somit konsistent darauf hin, dass physiologische Anstrengung nicht signifikant mit dem

subjektiven Flow-Erleben während der N-Back-Aufgabe zusammenhängt.

Zusammenhang zwischen Flow-Erleben und Leistung (H2, explorativ)

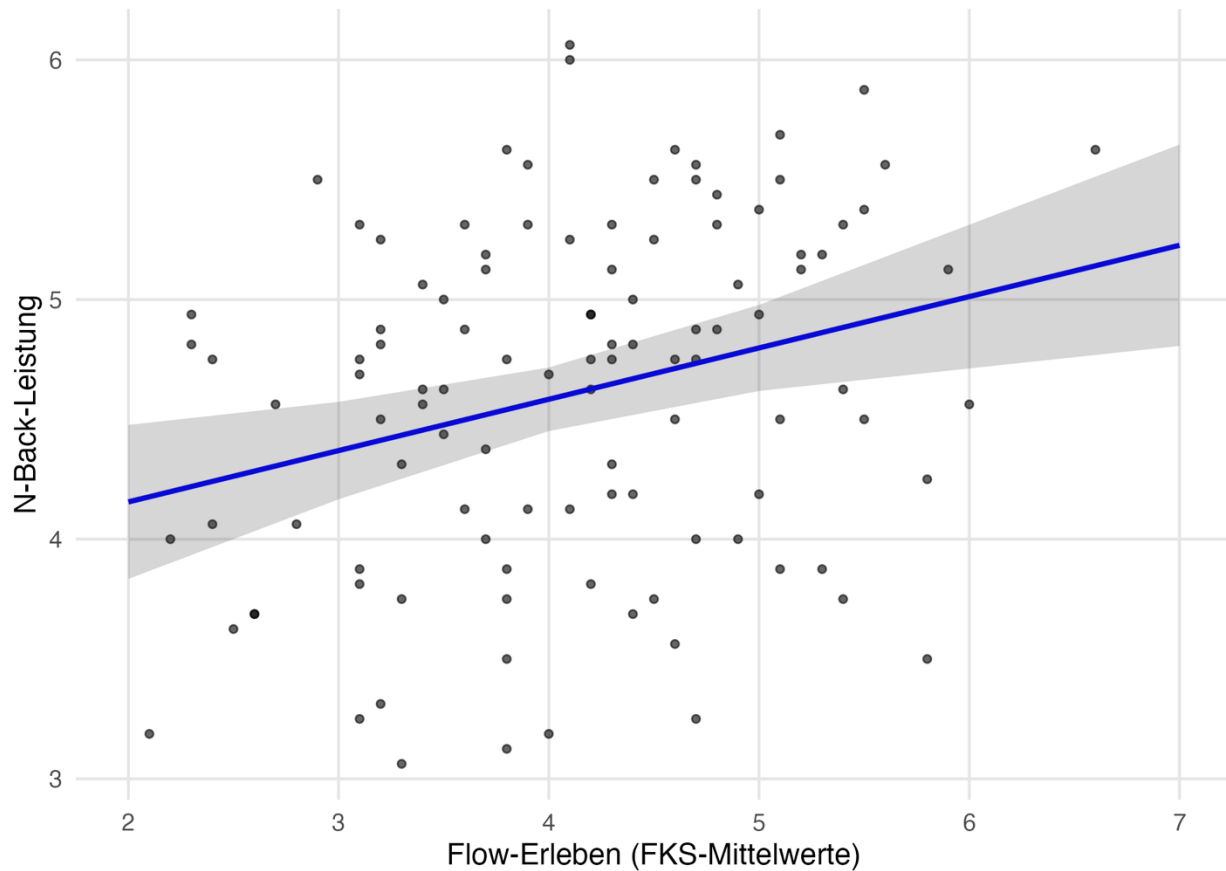
Explorativ wurde überprüft, ob ein höheres subjektives Flow-Erleben während der N-Back-Aufgabe mit einer besseren Leistung in dieser Aufgabe assoziiert ist. Eine einfache lineare Regressionsanalyse ergab, dass Flow ein signifikanter Prädiktor für die N-Back-Leistung war, $F(1, 108) = 9.41, p = .003$ (Tabelle 4). Höheres Flow-Erleben ging mit einer höheren Anzahl korrekt gelöster Durchgänge einher, $b = 0.21, SE = 0.07, t = 3.07$. Das Modell erklärte etwa 8 % der Varianz in der N-Back-Leistung ($R^2 = .08$, Abbildung 5).

Tabelle 4: Zusammenhang zwischen Flow-Erleben und N-Back-Leistung (einfache lineare Regression, H2)

Prädiktor	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
(Konstante)	3.73	0.30	12.63	< .001
Flow-Erleben	0.21	0.07	3.07	.003

Anmerkung. b = Regressionskoeffizient; SE = Standardfehler.

Abbildung 5: Zusammenhang zwischen der N-Back-Leistung (basierend auf d') und Flow-Erleben (FKS-Mittelwerte) während der N-Back-Aufgabe.



Anmerkung. Die Punkte stellen Einzeldaten dar; die Regressionslinie basiert auf dem einfachen linearen Regressionsmodell ohne Kontrollvariablen und ist mit einem 95%-KI dargestellt.

In einem erweiterten Regressionsmodell wurde zusätzlich die Gruppenzugehörigkeit (anstrengungs- vs. leistungsabhängige Belohnung) als Kontrollvariable berücksichtigt. Auch dieses Modell war signifikant, $F(2, 107) = 4.68, p = .01$, wobei Flow weiterhin als signifikanter Prädiktor erhalten blieb, $b = 0.21, SE = 0.07, t = 2.99, p = .004$. Die Gruppenzugehörigkeit zeigte hingegen keinen signifikanten Einfluss auf die N-Back-Leistung, $p = .86$. Die erklärte Varianz blieb mit $R^2 = .08$ nahezu unverändert.

Weitere explorative Analysen

Quadratischer Zusammenhang zwischen Anstrengung und Flow

Basierend auf theoretischen Überlegungen (Peifer et al., 2014) wurde ergänzend überprüft, ob ein quadratischer Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung (ΔPEP) und Flow-Erleben während der N-Back-Aufgabe besteht. Dazu wurde ein Regressionsmodell berechnet, das neben dem linearen ΔPEP -Wert auch einen quadrierten Term (ΔPEP^2) als Prädiktor enthielt. Das Modell war insgesamt nicht signifikant ($R^2 = .01$, $F(2, 107) = 0.28$, $p = .76$) und ergab keine Hinweise auf eine lineare oder nichtlineare Beziehung zwischen physiologischer Anstrengung und Flow.

Stabilität des Flow-Erlebens auf individueller Ebene

Zur Untersuchung der intraindividuellen Stabilität des Flow-Erlebens wurde die Korrelation zwischen dem Flow während der N-Back-Aufgabe und dem Flow während der Math-Effort-Task berechnet. Es zeigte sich ein signifikanter positiver Zusammenhang ($r = 0.48$, $p < .001$, 95%-KI [0.33, 0.62]), was darauf hindeutet, dass Personen, die in einer Phase Flow erlebten, auch in der anderen tendenziell höhere Werte berichteten.

Unterschiede im Flow-Erleben zwischen N-Back und MET

Ein gepaarter t -Test wurde durchgeführt, um zu prüfen, ob sich das Flow-Erleben systematisch zwischen den beiden Aufgaben unterschied. Die Analyse ergab, dass das Flow-Erleben während der N-Back-Aufgabe signifikant höher war als während der Math-Effort-Task ($M_{\text{Diff}} = 0.83$, $t(109) = 8.73$, $p < .001$, 95%-KI [0.64, 1.01]). Dieses Ergebnis legt nahe, dass die N-Back-Aufgabe unter den gegebenen Bedingungen günstiger für das Erleben von Flow war als die MET.

Diskussion

Einordnung der Ergebnisse

Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, ob das Flow-Erleben bei einer kognitiv anspruchsvollen Aufgabe mit physiologisch messbarer Anstrengung – operationalisiert über die Präejektionsperiode (PEP) – einhergeht. Entgegen der formulierten Hypothese (H1) konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung und Flow festgestellt werden. Explorativ zeigte sich jedoch, dass höheres Flow-Erleben mit einer besseren Leistung in der N-Back-Aufgabe assoziiert war (H2). Im Folgenden werden mögliche Erklärungen für das Ausbleiben eines Zusammenhangs zwischen physiologischer Anstrengung und Flow diskutiert, bevor die weiteren Befunde eingeordnet werden.

Flow und physiologische Anstrengung (H1)

Die vorliegenden Ergebnisse widersprechen früheren Studien, in denen Flow mit erhöhter sympathischer Aktivierung in Verbindung gebracht wurde (De Manzano et al., 2010; Keller et al., 2011; Murch et al., 2020; Jaque et al., 2020). In der aktuellen Untersuchung ließ sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung und dem Flow-Erleben nachweisen. Verschiedene Faktoren könnten zu diesem Ergebnis beigetragen haben.

Eine mögliche Erklärung für den fehlenden Zusammenhang könnte darin liegen, dass die rein physiologische Erfassung von Anstrengung über die PEP nicht abbildete, wie diese Anstrengung erlebt oder bewertet wurde. Flow entsteht typischerweise dann, wenn Anforderungen als herausfordernd, aber kontrollierbar wahrgenommen werden (Csikszentmihalyi, 1990). Zwei Personen mit identischer physiologischer Aktivierung könnten eine Situation sehr unterschiedlich interpretieren: Die eine empfindet sie als motivierend und stimulierend, die andere als belastend und frustrierend. Auch wenn die objektive Anstrengung in beiden Fällen gleich hoch ist, könnte

dieser Aspekt einen Einfluss auf das Erleben von Flow gehabt haben. Zukünftig wäre es demnach nicht nur interessant zu untersuchen, wie viel Anstrengung ausgeübt wurde, sondern auch, wie diese im Kontext der Tätigkeit wahrgenommen wurde.

Ein weiterer Erklärungsansatz betrifft die Struktur der Messungen von Anstrengung und Flow. Die PEP maß körperliche Aktivierung zwar kontinuierlich, wurde im vorliegenden Design jedoch zu einem aggregierten Wert über die gesamte Aufgabenphase zusammengefasst. Das Flow-Erleben hingegen wurde retrospektiv als Gesamteindruck nach Abschluss der Aufgabe eingeschätzt. Wenn eine Person beispielsweise nur in einem kurzen Abschnitt der Aufgabe besonders aktiviert war und möglicherweise Flow erlebt hat, wurde dieser Moment in der aggregierten PEP-Auswertung ebenso wenig deutlich abgebildet wie in der retrospektiven Flow-Bewertung, die das Erleben über die gesamte Aufgabe hinweg zusammenfasst. Hinzu kommt, dass beide Aufgaben so aufgebaut waren, dass die Teilnehmenden sowohl einfachere als auch schwierigere Abschnitte bearbeiteten. Dadurch entstand vermutlich eine deutliche Varianz in den Anstrengungs- und Flow-Werten innerhalb der Aufgabenphase, die durch die gemittelten PEP-Daten und die einmalige Erhebung des Flow-Erlebens nicht adäquat abgebildet werden konnte. Diese methodischen Aspekte könnten dazu beigetragen haben, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen Anstrengung und Flow beobachtet wurde. Zukünftige Studien sollten daher nicht nur versuchen, Flow zeitlich differenzierter zu erfassen – beispielsweise mithilfe wiederholter Selbsteinschätzungen nach einzelnen Aufgabenblöcken –, sondern auch auf eine weniger stark aggregierte Auswertung physiologischer Anstrengungsmaße achten, um intraindividuelle Veränderungen präziser abbilden zu können.

Statistisch betrachtet könnte zudem die Verteilung der Flow-Werte eine Rolle gespielt haben. Flow-Erleben fiel während der N-Back-Aufgabe insgesamt eher hoch aus und zeigte eine

leicht linksschiefe Verteilung. Obwohl viele Personen hohe Flow-Werte angaben, lag kein klassischer Deckeneffekt vor. Die Variabilität der Werte war somit grundsätzlich gegeben. Dennoch könnte die eingeschränkte Streuung im oberen Skalenbereich die statistische Power verringert haben, Zusammenhänge mit anderen Variablen nachzuweisen.

Darüber hinaus zeigte sich im Regressionsmodell ein interessanter Trend in Bezug auf die experimentelle Bedingung: Teilnehmende mit leistungsabhängiger Belohnung berichteten tendenziell ein höheres Flow-Erleben als jene in der anstrengungsabhängigen Bedingung. Auch wenn dieser Unterschied mit einem p-Wert von .09 nicht als signifikant gilt, lässt sich daraus ein möglicher Zusammenhang zwischen Belohnungsart und subjektivem Erleben ableiten. Eine vorsichtige Interpretation dieser Beobachtung legt nahe, dass leistungsbezogene Rückmeldungen mit zentralen Aspekten des Flow-Erlebens, wie Zielklarheit oder wahrgenommener Kontrolle, assoziiert sein könnten. Eine ähnliche Tendenz zeigte sich auch in der Studie von Schattke et al. (2015), in der Teilnehmende, die ihre Tätigkeit als besonders leistungsorientiert wahrnahmen, ein erhöhtes Flow-Erleben berichteten. Künftige Studien sollten untersuchen, inwiefern sich unterschiedliche Belohnungssysteme mit dem Flow-Erleben in kognitiv anspruchsvollen Aufgaben in Beziehung setzen lassen.

Zusammengenommen liefern die Befunde der vorliegenden Studie keine Unterstützung für einen linearen Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung und Flow-Erleben. Vielmehr sprechen die Ergebnisse dafür, dass das Zusammenspiel von körperlicher Aktivierung und subjektivem Erleben durch eine Vielzahl methodischer, individueller und kontextueller Faktoren beeinflusst wird und differenzierter untersucht werden sollte.

Flow und Leistung in der N-Back-Aufgabe (H2)

Ergänzend zur Analyse von H1 wurde explorativ auch die zweite Hypothese (H2) geprüft,

die einen positiven Zusammenhang zwischen Flow-Erleben und Leistung vermutete. Die Analyse bestätigte diese Annahme: Höheres Flow-Erleben ging mit einer besseren Leistung in der N-Back-Aufgabe einher. Dieses Ergebnis stützt frühere Befunde, die Flow als leistungsfördernden Zustand beschreiben (Engeser et al., 2005; Rogatko, 2009). Personen, die während der Aufgabe ein stärkeres Flow-Erleben angaben, erzielten auch bessere Ergebnisse – möglicherweise, weil sie fokussierter, zielklarer oder motivierter arbeiteten. Umgekehrt könnte eine gute Leistung wiederum das Gefühl von Kontrolle und Kompetenz gestärkt und damit das Flow-Erleben gefördert haben. Es erscheint plausibel, dass Flow und Leistung sich gegenseitig begünstigen: Wer im Flow ist, arbeitet fokussierter – wer gut arbeitet, erlebt eher Flow.

Der Zusammenhang lässt sich auch theoretisch einordnen. Flow-Zustände sind typischerweise mit hoher Konzentration, Zielklarheit und einem Gefühl der Kontrolle verbunden (Csikszentmihalyi, 1990). Dies sind auch Aspekte, die in der Forschung zur Leistungsmotivation als förderlich beschrieben werden (z. B. Engeser & Rheinberg, 2008). Obwohl die Aufgabe in der vorliegenden Studie extrinsisch belohnt wurde, könnte das berichtete Flow-Erleben darauf hinweisen, dass sich die Teilnehmenden als konzentriert, kompetent und selbstwirksam erlebt haben. Diese Aspekte decken sich mit den motivationalen Voraussetzungen, die nach der Selbstbestimmungstheorie (Deci & Ryan, 1985) eine zentrale Rolle für leistungsbezogenes Verhalten spielen. Wenn zentrale psychologische Bedürfnisse – beispielsweise nach Kompetenz und Autonomie – erfüllt sind, kann dies laut der Selbstbestimmungstheorie zu gesteigerter kognitiver Leistungsfähigkeit beitragen (Deci & Ryan, 1985). In diesem Sinne könnte das Flow-Erleben ein Ausdruck förderlicher motivationaler Bedingungen gewesen sein, die wiederum die Leistung begünstigt haben. Über die beiden Hypothesen hinaus wurden weitere Fragestellungen explorativ untersucht, die zusätzliche Einblicke in das Zusammenspiel von Flow und Anstrengung

ermöglichen.

Quadratischer Zusammenhang zwischen Anstrengung und Flow

Basierend auf den Ergebnissen einer früheren Studie von Peifer et al. (2014) wurde geprüft, ob ein quadratischer Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung und Flow – im Sinne einer umgekehrt U-förmigen Beziehung – besteht. Die entsprechende Regressionsanalyse zeigte jedoch keinen signifikanten linearen oder quadratischen Effekt. Es fanden sich somit keine Hinweise auf eine nichtlineare Beziehung in den vorliegenden Daten. Künftige Forschung könnte dennoch weiter untersuchen, ob bestimmte Schwellenwerte der physiologischen Aktivierung existieren, bei denen Flow besonders wahrscheinlich auftritt.

Stabilität des Flow-Erlebens auf individueller Ebene

Zusätzlich wurde untersucht, ob das Flow-Erleben über die beiden Aufgabenphasen hinweg innerhalb der einzelnen Personen stabil war. Die Analyse zeigte einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen dem Flow-Erleben während der N-Back-Aufgabe und während der anschließenden Math-Effort-Task. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass Flow-Erleben nicht ausschließlich auf die Art der Aufgabe zurückzuführen ist, sondern auch durch stabile interindividuelle Unterschiede beeinflusst wird. Unterstützt wird diese Annahme durch Studien wie die von Fullagar und Kelloway (2009), die zeigen konnten, dass sowohl situative Bedingungen als auch stabile persönliche Merkmale maßgeblich zum Flow-Erleben beitragen. In ihrer Untersuchung über den Flow-Zustand während kreativer Arbeitsphasen berichteten sie, dass Unterschiede im Flow sowohl durch stabile Merkmale zwischen Personen als auch durch situative Schwankungen innerhalb von Personen erklärt werden konnten. Darüber hinaus fanden Ullén et al. (2012) Hinweise auf signifikante Zusammenhänge zwischen der Neigung zu Flow und bestimmten Persönlichkeitsmerkmalen der Big Five, insbesondere niedriger Neurotizismus und

hoher Gewissenhaftigkeit. Diese Befunde legen nahe, dass das Erleben von Flow nicht allein auf die jeweilige Tätigkeit zurückzuführen ist, sondern auch durch individuelle Dispositionen geprägt sein kann. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stehen somit im Einklang mit der Literatur, die Flow als ein Zusammenspiel von kontextuellen Bedingungen und stabilen persönlichen Merkmalen versteht.

Unterschiede im Flow-Erleben zwischen N-Back und MET

Die Ergebnisse einer weiteren explorativen Analyse zeigten, dass sich das subjektive Flow-Erleben zwischen den beiden Aufgaben unterschied. Der gepaarte *t*-Test ergab, dass die Teilnehmenden während der N-Back-Aufgabe signifikant höhere Flow-Werte berichteten als während der anschließenden Math-Effort-Task. Dieses Ergebnis legt nahe, dass das Flow-Erleben nicht nur von individuellen Faktoren abhängt, sondern auch durch die Struktur der jeweiligen Aufgabe beeinflusst wird.

Mehrere Merkmale könnten erklären, warum das Flow-Erleben bei der N-Back-Aufgabe stärker war als bei der MET. Ein möglicher Einflussfaktor ist die Reihenfolge der Aufgaben: Die N-Back-Aufgabe wurde immer zuerst bearbeitet, was mit einer höheren anfänglichen Motivation verbunden gewesen sein könnte. Zudem erhielten die Teilnehmenden während der N-Back-Aufgabe nach jedem Durchgang unmittelbares Feedback, was vermutlich zur Zielklarheit und einem stärkeren Gefühl von Kontrolle beitrug. In der MET hingegen fehlte eine entsprechende Rückmeldung, wodurch das Flow-Erleben möglicherweise beeinträchtigt wurde.

Zusätzlich könnte der Inhalt der MET eine Rolle gespielt haben: Da es sich um repetitive Additionsaufgaben handelte, könnte diese Art von Tätigkeit als weniger motivierend erlebt worden sein. Vor allem im direkten Anschluss an die für viele vermutlich neue N-Back-Aufgabe.

Ein weiterer möglicher Einflussfaktor betrifft die Belohnungsstruktur. Während in der N-

Back-Aufgabe monetäre Anreize vergeben wurden, erfolgte die MET ohne finanzielle Belohnung. Diese Unterschiede in der externen Motivation könnten sich zusätzlich auf die Motivation und damit auf das Flow-Erleben ausgewirkt haben.

Insgesamt liefern diese Ergebnisse differenzierte Einblicke in die Bedingungen und Merkmale von Flow während kognitiver Aufgaben und verdeutlichen, wie stark das Flow-Erleben von aufgabenbezogenen Faktoren abhängig sein kann – etwa von Reihenfolge, Rückmeldung, Aufgabeninhalt und Belohnungssystem.

Theoretische Implikationen

Die vorliegenden Ergebnisse tragen zur Weiterentwicklung theoretischer Konzepte über das Flow-Erleben bei. Während frühere Studien einen positiven Zusammenhang zwischen Flow und Anstrengung nahelegten (z.B. Peifer et al., 2014), konnte dieser in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden. Vielmehr deuten die Befunde darauf hin, dass Flow nicht zwangsläufig mit einem Anstieg physiologischer Aktivierung einhergeht. Stattdessen könnte Flow als ein Zustand effizienter Nutzung kognitiver Ressourcen verstanden werden – also als eine Form der Leistungsfähigkeit, bei der hohe Anforderungen ohne übermäßige körperliche Anstrengung bewältigt werden.

Diese Interpretation wird durch den Befund gestützt, dass Personen mit höherem Flow-Erleben gleichzeitig bessere Leistungen in der N-Back-Aufgabe erzielten. Der Zusammenhang zwischen Flow und Leistung liefert somit empirische Hinweise darauf, dass Flow-Erleben nicht nur mit positiven Gefühlen (Rogatko, 2009), sondern auch mit funktionalen kognitiven Prozessen wie Konzentration, Zielklarheit oder Motivation verbunden sein könnte – Aspekte, die in zukünftigen Studien gezielt berücksichtigt werden sollten.

Darüber hinaus sprechen die Ergebnisse für eine gewisse Stabilität des Flow-Erlebens auf

individueller Ebene. Der signifikante Zusammenhang des Flow-Erlebens zwischen zwei unterschiedlichen Aufgaben deutet darauf hin, dass Flow nicht nur durch Merkmale der jeweiligen Tätigkeit beeinflusst wird, sondern auch durch stabile personenspezifische Faktoren.

Nicht zuletzt macht der Vergleich zwischen N-Back und MET deutlich, dass bestimmte Aufgabenmerkmale – wie unmittelbares Feedback oder ein motivierender Rahmen – das Flow-Erleben begünstigen könnten. Während die N-Back-Aufgabe nach jedem Durchgang Rückmeldung über die Leistung gab, fehlte ein solches Feedback in der MET, was eine mögliche Erklärung für das geringere Flow-Erleben in der MET darstellt.

Zusammenfassend liefern die Ergebnisse wichtige Impulse für das theoretische Verständnis von Flow: Sie unterstreichen, dass Flow nicht zwangsläufig mit erhöhter physiologischer Aktivierung einhergeht, sondern vielmehr durch eine Kombination effizienter kognitiver Prozesse, individueller Dispositionen und förderlicher Aufgabenmerkmale entsteht. Zukünftige Untersuchungen sollten diesen vielschichtigen Charakter stärker berücksichtigen und in ihre Analysen einbeziehen.

Praktische Relevanz

Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich auf verschiedene Anwendungskontexte wie Lehre, Arbeit oder Training übertragen. Besonders der Befund, dass Flow mit höherer Leistung assoziiert war, unterstreicht die Relevanz, Flow gezielt zu fördern. Gestaltungsmerkmale wie klare Zielvorgaben, unmittelbares Feedback und ein herausfordernder, aber bewältigbarer Aufbaurahmen könnten dabei eine zentrale Rolle spielen. Der direkte Vergleich zwischen der N-Back-Aufgabe und der MET liefert hierzu erste Hinweise.

Darüber hinaus spricht die beobachtete Stabilität des Flow-Erlebens über unterschiedliche Aufgaben hinweg dafür, dass auch individuelle Voraussetzungen entscheidend sind. Aspekte wie

Konzentrationsfähigkeit, intrinsische Motivation oder Selbstwirksamkeit könnten die Tendenz, in Flow zu geraten, begünstigen. In der Praxis wäre es daher sinnvoll, nicht nur die Struktur der Aufgaben, sondern auch personenbezogene Ressourcen zu stärken, beispielsweise durch Trainings zur Aufmerksamkeitsfokussierung.

Ein weiterer Befund von praktischer Relevanz besteht darin, dass sich in der vorliegenden Studie kein Zusammenhang zwischen Flow und erhöhter physiologischer Aktivierung zeigte. Dies legt nahe, dass Flow nicht zwingend mit körperlicher Anstrengung verbunden ist. Welche Bedingungen Flow tatsächlich begünstigen, lässt sich daraus jedoch nicht eindeutig ableiten. Es erscheint allerdings plausibel, dass weniger die Stärke der physiologischen Reaktion entscheidend ist, sondern vielmehr, wie Anforderungen subjektiv erlebt werden. Für die Gestaltung lern- und arbeitsbezogener Umgebungen könnte dies bedeuten, den Fokus nicht auf maximale Aktivierung zu legen, sondern auf die Passung zwischen Aufgabenanforderungen und individuellen Ressourcen.

Insgesamt deuten die Befunde darauf hin, dass Flow durch das Zusammenspiel passender Aufgabenmerkmale und persönlicher Voraussetzungen begünstigt wird. Dies sollte bei der Gestaltung motivierender, leistungsfördernder Umgebungen gezielt berücksichtigt werden – unter anderem, weil Flow mit erhöhter Leistungsfähigkeit verbunden sein kann.

Limitationen

Trotz der aufschlussreichen Befunde sind bei der Interpretation der Ergebnisse einige Einschränkungen zu berücksichtigen. Erstens wurde das Flow-Erleben ausschließlich retrospektiv durch Selbstauskünfte erfasst. Auch wenn die Flow-Kurzskala ein etabliertes und reliables Instrument ist, sind Verzerrungen durch Erinnerung, Stimmung oder soziale Erwünschtheit nicht auszuschließen. Besonders kritisch ist, dass situative Schwankungen während der

Aufgabenbearbeitung unberücksichtigt bleiben. Zwar ist die retrospektive Selbstbeurteilung grundsätzlich geeignet, um subjektives Erleben zu erfassen, dennoch sollten zukünftige Studien Flow häufiger und zeitnäher messen. Sinnvoll wäre hier eine wiederholte Erhebung innerhalb der Aufgabenphase, beispielsweise jeweils nach einzelnen Blöcken, um Veränderungen im Erleben differenzierter und präziser abbilden zu können. Dabei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass häufige Unterbrechungen durch Messungen das Flow-Erleben selbst potenziell stören könnten.

Zweitens wurde die physiologische Anstrengung über einen über die gesamte Aufgabenphase gemittelten PEP-Wert erfasst. Da die Aufgaben aus Abschnitten unterschiedlicher Schwierigkeit bestanden, konnten intraindividuelle Schwankungen in der sympathischen Aktivierung nicht differenziert abgebildet werden. Eine weniger stark aggregierte Analyse könnte künftig helfen, kurzfristige Veränderungen in der körperlichen Reaktion präziser zu erfassen.

Drittens könnte die Reihenfolge der Aufgaben das Ergebnis beeinflusst haben: Die N-Back-Aufgabe wurde stets zuerst durchgeführt und war die einzige Aufgabe mit finanzieller Belohnung. Dies könnte die Motivation oder Erwartungshaltung erhöht und damit das Flow-Erleben begünstigt haben. Zukünftige Studien sollten daher die Reihenfolge randomisieren oder Belohnungsbedingungen kontrollieren.

Darüber hinaus war die Stichprobe in Bezug auf Alter, Bildungshintergrund und Geschlecht relativ homogen. Sie bestand überwiegend aus jungen Psychologiestudentinnen, wodurch die Befunde nicht ohne Weiteres auf andere Altersgruppen oder Populationen übertragbar sind. Es ist denkbar, dass sich bestimmte Effekte oder Zusammenhänge in einer vielfältigeren Stichprobe anders dargestellt hätten. So könnten Personen anderer Altersgruppen oder mit anderen Erfahrungs- oder Bildungshintergründen kognitive Anstrengung anders wahrnehmen oder bewerten als die Teilnehmenden der vorliegenden Studie, was sich potenziell auch auf deren Flow-

Erleben und die damit verbundenen Zusammenhänge auswirken könnte. Zukünftige Studien sollten daher gezielt diversere Stichproben einbeziehen, um mögliche Unterschiede in Erleben, Wahrnehmung und daraus resultierenden Effekten sichtbar machen zu können.

Auch die eingesetzten Aufgaben – insbesondere die N-Back-Aufgabe – sind spezifisch für kognitive Laborsettings und erlauben nur eingeschränkte Rückschlüsse auf andere Alltagstätigkeiten. Um die Aussagekraft künftiger Studien zu erhöhen, sollten sowohl vielfältigere Stichproben als auch alltagsnähere Aufgabenformate herangezogen werden.

Diese Limitationen unterstreichen die Notwendigkeit weiterer Forschung, die differenziertere Methoden einsetzt und breitere Kontexte berücksichtigt – einige Ansatzpunkte dafür werden im folgenden Ausblick aufgegriffen.

Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie leisten einen Beitrag zur besseren Einordnung des Flow-Erlebens im Kontext kognitiver Anstrengung. Gleichzeitig zeigen sie, wie komplex die zugrunde liegenden Prozesse sind und dass viele offene Fragen weiterhin bestehen. Künftige Forschung sollte das Flow-Erleben differenzierter erfassen, idealerweise durch mehrfache Erhebungen während der Aufgabenbearbeitung, um zeitliche Dynamiken und situative Schwankungen besser abbilden zu können. Auch die Kombination verschiedener physiologischer Marker – wie Hautleitwert, Pupillenreaktion oder Herzratenvariabilität – könnte neue Einblicke ermöglichen.

Zudem wäre es sinnvoll, die subjektive Bewertung von Anstrengung stärker in den Fokus zu rücken. Denn möglicherweise entscheidet nicht allein der objektive Aktivierungsgrad, sondern wie die Anforderung wahrgenommen wird – beispielsweise als herausfordernd, kontrollierbar oder bedeutsam. Zusätzlich könnte ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Aufgabentypen (z. B.

kreativ vs. repetitiv) helfen, die Bedingungen für Flow differenzierter zu verstehen.

Langfristig könnten diese Erkenntnisse dazu beitragen, Lern- und Arbeitsumgebungen so zu gestalten, dass Flow-Zustände gezielt unterstützt werden – durch passende Aufgabenformate, unterstützende Rahmenbedingungen und eine Stärkung individueller Ressourcen. Damit wäre nicht nur das Erleben, sondern auch die Leistung und das Wohlbefinden nachhaltig förderbar.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben. Mein besonderer Dank gilt Univ.-Prof. Dr. Veronika Job für die stets wertvolle inhaltliche Rückmeldung sowie die motivierende und zuverlässige Betreuung während meines Forschungsprozesses. Ebenso danke ich meinem Ko-Betreuer Dr. Christopher Mlynski für die wissenschaftliche Unterstützung und seine methodische Expertise während der gesamten Bearbeitung.

Für die Mitwirkung bei der Datenerhebung danke ich herzlich Appl Scorza Gabriel, Birmili Leonard, Makeeva Anna, van Rutte Lena, Paefgen Michael, Drakos Lara und Oberhollenzer Simone. Ohne ihre sorgfältige Mitarbeit wäre die Umsetzung der Studie nicht möglich gewesen. Schließlich danke ich auch allen Teilnehmenden der Studie für ihr Engagement und ihre Zeit.

Literaturverzeichnis

- Blascovich, J., & Mendes, W. B. (2010). Social psychophysiology and embodiment. *Handbook of social psychology*, 1, 194-227.
- Brinthaup, T. M., & Chin, C. M. (2001). The relationship of academic cramming to flow experience.
- Bronner, S., Pinsker, R., & Noah, J. A. (2015). Physiological and psychophysiological responses in experienced players while playing different dance exer-games. *Computers in Human Behavior*, 51, 34-41.
- Bruya, B., & Tang, Y. Y. (2018). Is attention really effort? Revisiting Daniel Kahneman's influential 1973 book attention and effort. *Frontiers in psychology*, 9, 1133.
- Cheron, G. (2016). How to measure the psychological "flow"? A neuroscience perspective. *Frontiers in Psychology*, 7, 1823.
- 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*, 119(5), e2111785119.
- Connolly, C. T., & Tenenbaum, G. (2010). Exertion-Attention-Flow Linkage Under Different Workloads. *Journal of Applied Social Psychology*, 40(5), 1123–1145. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2010.00613.x>
- Csikszentmihalyi, M. (1988). The flow experience and its significance for human psychology. In M. Csikszentmihalyi & I. S. Csikszentmihalyi (Eds.), *Optimal experience: Psychological studies of flow in consciousness* (pp. 15–35). Cambridge University Press.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row.

- Csikszentmihalyi, M., & Nakamura, J. (2018). Flow, altered states of consciousness, and human evolution. *Journal of Consciousness Studies*, 25(11-12), 102-114.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). The general causality orientations scale: Self-determination in personality. *Journal of research in personality*, 19(2), 109-134.
- Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic bulletin & review*, 11, 1011-1026.
- Engeser, S., Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Bischoff, J. (2005). Motivation, flow-Erleben und Lernleistung in universitären Lernsettings. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 19(3), 159-172.
- Engeser, S., & Rheinberg, F. (2008). Flow, performance and moderators of challenge-skill balance. *Motivation and emotion*, 32, 158-172.
- 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.
- European Commission. (2015). *European credit transfer and accumulation system (ECTS): Users' guide 2015*. Publications Office of the European Union. <https://education.ec.europa.eu/document/european-credit-transfer-and-accumulation-system-ects-users-guide>
- Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R*. Sage.
- Fullagar, C. J., & Kelloway, E. K. (2009). Flow at work: An experience sampling approach. *Journal of occupational and organizational psychology*, 82(3), 595-615.
- Inzlicht, M., Shenhav, A., & Olivola, C. Y. (2018). The effort paradox: Effort is both costly and valued. *Trends in cognitive sciences*, 22(4), 337-349.
- Jackson, S. A., & Csikszentmihalyi, M. (1999). *Flow in sports*. Human Kinetics.
- Jackson, S. A., Martin, A. J., & Eklund, R. C. (2008). Long and short measures of flow: The construct validity of the FSS-2, DFS-2, and new brief counterparts. *Journal of Sport and Exercise*

- Psychology*, 30(5), 561-587.
- Jaque, S. V., Thomson, P., Zaragoza, J., Werner, F., Podeszwa, J., & Jacobs, K. (2020). Creative flow and physiologic states in dancers during performance. *Frontiers in Psychology*, 11, 1000.
- Kane, M. J., Conway, A. R., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. (2007). Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity. *Journal of Experimental psychology: learning, memory, and cognition*, 33(3), 615.
- Keller, J., & Bless, H. (2008). Flow and regulatory compatibility: An experimental approach to the flow model of intrinsic motivation. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 34(2), 196-209. <https://doi.org/10.1177/0146167207310026>
- Keller, J., Bless, H., Blomann, F., & Kleinböhl, D. (2011). Physiological aspects of flow experiences: Skills-demand-compatibility effects on heart rate variability and salivary cortisol. *Journal of Experimental Social Psychology*, 47(4), 849-852.
- Keller, J., & Landhäuser, A. (2012). The flow model revisited. *Advances in flow research*, 51-64.
- Kivikangas, J. M. (2006). *Psychophysiology of flow experience: An explorative study* (Master's thesis, Helsingin yliopisto).
- Kool, W., McGuire, J. T., Rosen, Z. B., & Botvinick, M. M. (2010). Decision making and the avoidance of cognitive demand. *Journal of experimental psychology: general*, 139(4), 665.
- Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., & Myers, J. (2013). An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behavioral and brain sciences*, 36(6), 661-679.
- MacDonald, R., Byrne, C., & Carlton, L. (2006). Creativity and flow in musical composition: An empirical investigation. *Psychology of Music*, 34(3), 292-306.
- McQuillan, J., & Conde, G. (1996). The conditions of flow in reading: Two studies of optimal experience. *Reading Psychology: An International Quarterly*, 17(2), 109-135.
- Murch, W. S., Ferrari, M. A., McDonald, B. M., & Clark, L. (2020). Investigating flow state and cardiac

- pre-ejection period during electronic gaming machine use. *Frontiers in psychology*, 11, 300.
- Nacke, L. E., & Lindley, C. A. (2010). Affective ludology, flow and immersion in a first-person shooter: Measurement of player experience. *arXiv preprint arXiv:1004.0248*.
- Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2002). The concept of flow. In C. R. Snyder & S. J. Lopez (Eds.), *Handbook of positive psychology* (pp. 89-105). Oxford University Press.
- Newlin, D. B., & Levenson, R. W. (1979). Pre-ejection period: Measuring beta-adrenergic influences upon the heart. *Psychophysiology*, 16(6), 546-552.
- Nielsen, K., & Cleal, B. (2010). Predicting flow at work: investigating the activities and job characteristics that predict flow states at work. *Journal of occupational health psychology*, 15(2), 180.
- Nikolin, S., Tan, Y. Y., Schwaab, A., Moffa, A., Loo, C. K., & Martin, D. (2021). An investigation of working memory deficits in depression using the n-back task: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, 284, 1-8.
- Ottiger, B., Van Wegen, E., Keller, K., Nef, T., Nyffeler, T., Kwakkel, G., & Vanbellingen, T. (2021). Getting into a “Flow” state: a systematic review of flow experience in neurological diseases. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 18, 1-21.
- Pace, S. (2004). A grounded theory of the flow experiences of Web users. *International journal of human-computer studies*, 60(3), 327-363.
- Peifer, C., Schulz, A., Schächinger, H., Baumann, N., & Antoni, C. H. (2014). The relation of flow-experience and physiological arousal under stress—can u shape it?. *Journal of Experimental Social Psychology*, 53, 62-69.
- Peifer, C. (2012). Psychophysiological correlates of flow-experience. *Advances in flow research*, 139-164.
- Peifer, C., & Engeser, S. (Eds.). (2021). *Advances in flow research*. Cham: Springer International Publishing.
- Posit Software, PBC. (2024). *RStudio: Integrated development environment for R* (Version 2024.12.0.467).

<https://posit.co/>

- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.4.2). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Richter, M., Gendolla, G. H. E., & Wright, R. A. (2016). Three decades of research on motivational intensity theory: What we have learned about effort and what we still don't know. *Advances in motivation science*, 3, 149-186.
- Reinhardt, C., Lau, A., Hottenrott, K., & Stoll, O. (2006). Flow-Erleben unter kontrollierter Beanspruchungssteuerung. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 13(4), 140-146.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens.
- Rheinberg, F., & Vollmeyer, R. (2004). Flow-Erleben bei der Arbeit und in der Freizeit. *Förderung von Arbeitsmotivation und Gesundheit in Organisationen*, 1.
- Rogatko, T. P. (2009). The influence of flow on positive affect in college students. *Journal of happiness studies*, 10, 133-148.
- Schattke, K., Brandstätter, V., Taylor, G., & Kehr, H. M. (2015). Wahrgenommene Leistungsanreize moderieren den positiven Einfluss von Leistungsmotiv-Kongruenz auf das Flow-Erleben beim Hallenklettern. *Zeitschrift für Sportpsychologie*.
- Stanislaw, H., & Todorov, N. (1999). Calculation of signal detection theory measures. *Behavior research methods, instruments, & computers*, 31(1), 137-149.
- Ufer, M. (2020). *Motivationspsychologische Grundlagen des Flow-Erlebens: Merkmale, Entstehung, Auswirkung von Flow im Sport, Beruf und Alltag*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Ullén, F., de Manzano, Ö., Almeida, R., Magnusson, P. K., Pedersen, N. L., Nakamura, J., ... & Madison, G. (2012). Proneness for psychological flow in everyday life: Associations with personality and intelligence. *Personality and individual differences*, 52(2), 167-172.
- Waterman, A. S. (2005). When effort is enjoyed: Two studies of intrinsic motivation for personally salient activities. *Motivation and emotion*, 29, 165-188.
- Zubair, A., & Kamal, A. (2015). Work related flow, psychological capital, and creativity among employees

of software houses. *Psychological Studies*, 60, 321-331.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Quadrantenmodell des Flow-Erlebens	10
Abbildung 2: skizzierter Ablauf der Studie	30
Abbildung 3: Ablauf eines N-Back-Durchgangs.....	31
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung und Flow-Erleben während der N-Back-Aufgabe.	37
Abbildung 5: Zusammenhang zwischen der N-Back-Leistung und Flow-Erleben während der N- Back-Aufgabe.	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über bisherige Befunde zum Zusammenhang zwischen Flow und physiologischer Anstrengung.....	16
Tabelle 2: Deskriptive Merkmale der Stichprobe.....	25
Tabelle 3: Zusammenhang zwischen physiologischer Anstrengung und Flow-Erleben	36
Tabelle 4: Zusammenhang zwischen Flow-Erleben und N-Back-Leistung	38

Anhangsverzeichnis

Anhang A. Prüfung der Regressionsvoraussetzungen für Hypothese 1	61
Anhang B. Prüfung der Regressionsvoraussetzungen für Hypothese 2	62
Anhang C. Items und Antwortskala der FKS (Rheinberg et al., 2003)	64

Anhang

Anhang A. Prüfung der Regressionsvoraussetzungen für Hypothese 1

A.1 Normalverteilung der Residuen

Zur visuellen Überprüfung der Normalverteilung wurden ein Histogramm sowie ein Q-Q-Plot der standardisierten Residuen erstellt (Abbildungen A1 und A2). Beide zeigten eine annähernd normalverteilte Streuung der Residuen.

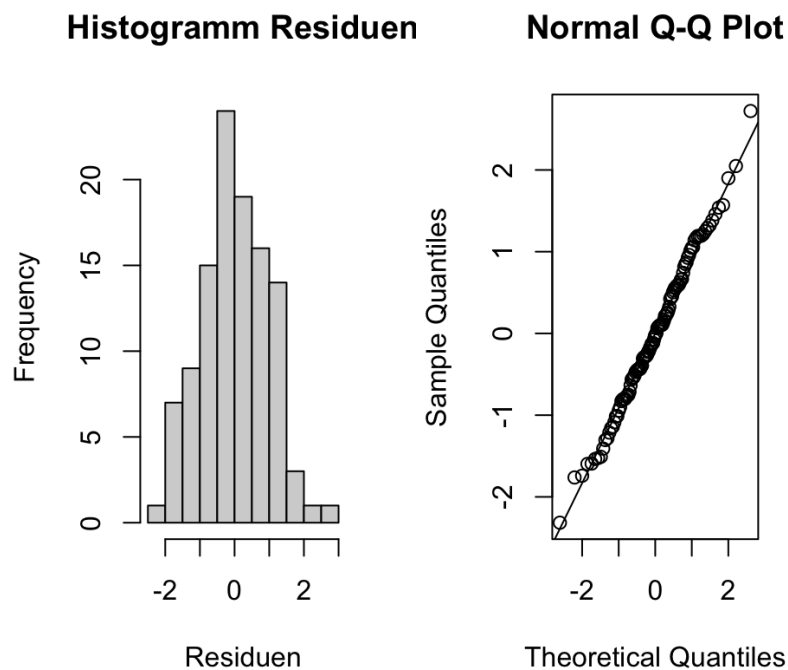


Abbildung A1: Histogramm (links) und Q-Q-Plot (rechts) der Residuen – H1

A.2 Homoskedastizität

Die Homoskedastizität wurde visuell durch ein Streudiagramm der standardisierten Residuen gegen die vorhergesagten Werte sowie statistisch durch den Breusch-Pagan-Test überprüft. Es zeigte sich kein Hinweis auf eine Verletzung der Varianzhomogenität ($p = .30$).

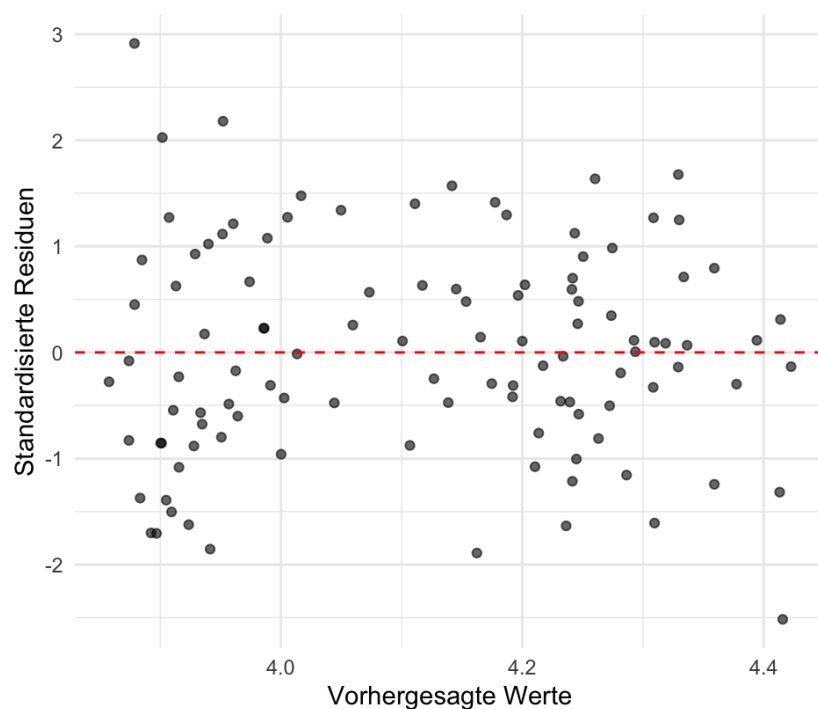


Abbildung A2: Streudiagramm der Residuen zur Prüfung der Homoskedastizität – H1

A.3 Multikollinearität

Zur Überprüfung potenzieller Multikollinearität wurden die Varianzinflationsfaktoren (VIF) der Prädiktoren im Regressionsmodell berechnet. Beide Prädiktoren zeigten unkritische VIF-Werte von 1.00, womit keine problematische Multikollinearität vorlag (vgl. Field et al., 2012).

Tabelle A1: Varianzinflationsfaktoren der Prädiktoren im Regressionsmodell – H1

Prädiktor	VIF
Δ PEP	1.00
Gruppenzugehörigkeit	1.00

Anhang B. Prüfung der Regressionsvoraussetzungen für Hypothese 2

B.1 Normalverteilung der Residuen

Auch für die Regressionsanalyse zur explorativen Hypothese H2 wurde die

Normalverteilung der Residuen geprüft. Die visuelle Beurteilung anhand eines Histogramms und eines Q-Q-Plots zeigte eine annähernd normalverteilte Streuung der Residuen. Besonders im Q-Q-Plot war eine gute Übereinstimmung der empirischen Verteilung mit der theoretischen Normalverteilung erkennbar (Abbildung B1).

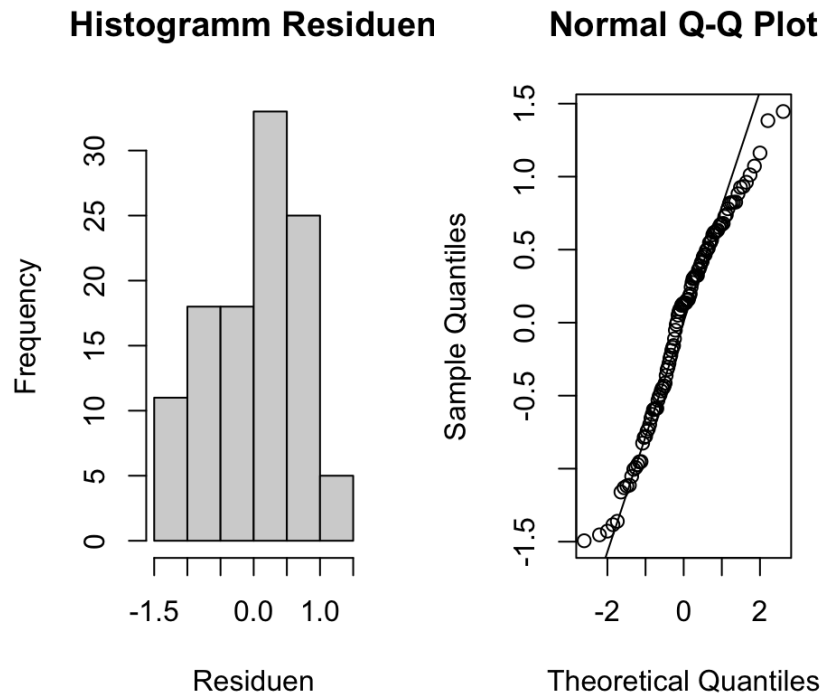


Abbildung B1: Histogramm (links) und Q-Q-Plot (rechts) der Residuen – H2

B.2 Homoskedastizität

Die Prüfung auf Homoskedastizität erfolgte sowohl visuell als auch statistisch. Der Breusch-Pagan-Test ergab keinen Hinweis auf eine Verletzung der Varianzhomogenität ($BP = 0.23, p = .89$). Auch die grafische Darstellung der standardisierten Residuen gegen die vorhergesagten Werte zeigte keine systematischen Abweichungen (Abbildung B2).

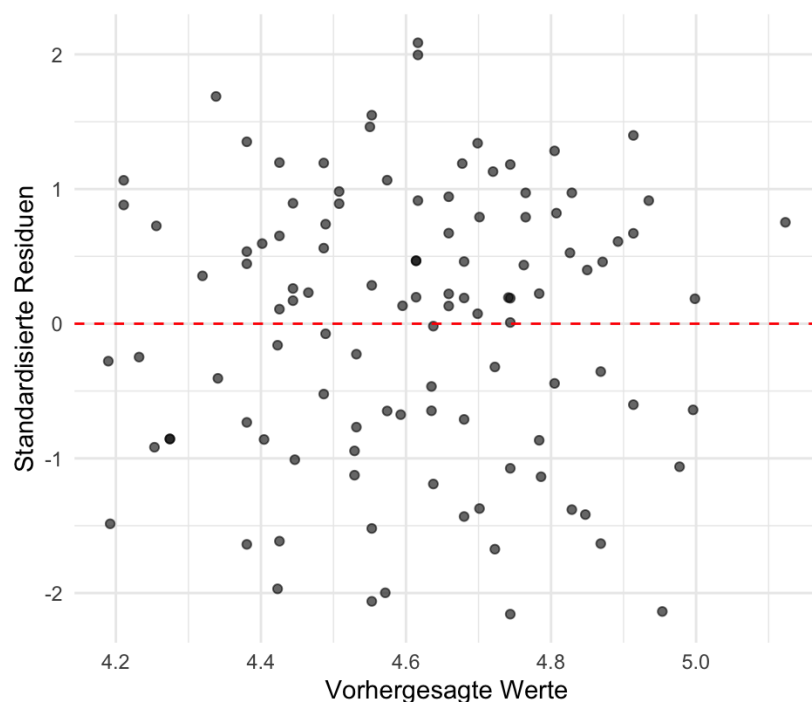


Abbildung B2: Streudiagramm der Residuen zur Prüfung der Homoskedastizität – H2

B.3 Multikollinearität

Zur Überprüfung potenzieller Multikollinearität wurde das Regressionsmodell, in dem zusätzlich die Gruppenzugehörigkeit kontrolliert wurde, hinsichtlich der Varianzinflationsfaktoren (VIF) analysiert. Die VIF-Werte für beide Prädiktoren lagen bei 1.03 und wiesen somit keine Hinweise auf kritische Multikollinearität auf.

Tabelle B1: Varianzinflationsfaktoren der Prädiktoren im Regressionsmodell – H2

Prädiktor	VIF
Flow-Erleben	1.03
Gruppenzugehörigkeit	1.03

Anhang C. Items und Antwortskala der FKS (Rheinberg et al., 2003)

C.1 Items der FKS

1. Ich fühle mich optimal beansprucht.
2. Meine Gedanken bzw. Aktivitäten laufen flüssig und glatt.
3. Ich merke gar nicht, wie die Zeit vergeht.
4. Ich habe keine Mühe, mich zu konzentrieren.
5. Mein Kopf ist völlig klar.
6. Ich bin ganz vertieft in das, was ich gerade mache.
7. Die richtigen Gedanken/Bewegungen kommen wie von selbst.
8. Ich weiß bei jedem Schritt, was ich zu tun habe.
9. Ich habe das Gefühl, den Ablauf unter Kontrolle zu haben.
10. Ich bin völlig selbstvergessen.

C.2 Antwortskala der FKS

