

- **Der Zusammenhang zwischen kognitiver Anstrengung und kognitiver Leistung: Eine multidisziplinäre Literaturübersicht**

## I. Einleitung

### 1.1. Die Bedeutung des Zusammenhangs zwischen Anstrengung und Leistung

Kognitive Anstrengung ist ein allgegenwärtiger Aspekt menschlicher Aktivität. Sie ist erforderlich beim Erlernen komplexer Fähigkeiten wie dem Lesen, dem Spielen eines Musikinstruments oder dem Programmieren <sup>1</sup>, bei der Lösung von Problemen <sup>3</sup>, bei alltäglichen Entscheidungen <sup>5</sup> und bei der beruflichen Leistung.<sup>3</sup> Die Fähigkeit, kognitive Anstrengung zu mobilisieren und aufrechtzuerhalten, ist entscheidend für das Erreichen persönlicher und gesellschaftlicher Ziele, insbesondere in einer Welt, die zunehmend komplexe Problemlösungsfähigkeiten erfordert.<sup>2</sup>

Die praktische Relevanz des Verständnisses, wie kognitive Anstrengung und kognitive Leistung zusammenhängen, erstreckt sich über zahlreiche Disziplinen:

- **Pädagogische Psychologie und Bildung:** Die Optimierung von Lernumgebungen und Lehrmethoden hängt entscheidend davon ab, wie die kognitive Belastung (Cognitive Load) gesteuert wird, um eine effektive Anstrengung (Germane Load) zu fördern, ohne die Lernenden zu überfordern (Cognitive Load Theory).<sup>7</sup>
- **Human Factors und Ergonomie:** Das Konzept der mentalen Arbeitsbelastung (Mental Workload) ist zentral für die Gestaltung sicherer und effizienter Mensch-Maschine-Systeme, von Fahrzeugcockpits bis hin zu komplexen Überwachungsaufgaben.<sup>7</sup>
- **Klinische Psychologie und Psychiatrie:** Abweichungen in der Sensitivität gegenüber Anstrengungskosten oder in der Fähigkeit, Anstrengung zu mobilisieren, werden als mögliche Faktoren bei psychischen Störungen wie Depression, Schizophrenie oder chronischen Erschöpfungssyndromen diskutiert.<sup>5</sup>
- **Wirtschaftswissenschaften und Neuroökonomie:** Anstrengung wird als Kostenfaktor in Entscheidungsmodellen betrachtet (Effort Discounting), der den subjektiven Wert von Belohnungen beeinflusst und erklärt, warum Individuen oft weniger anstrengende Optionen bevorzugen.<sup>6</sup>
- **Neurowissenschaften:** Die Identifizierung der neuronalen Korrelate von Anstrengungsbewertung, -allokation und kognitiver Kontrolle, insbesondere die Rolle von Hirnregionen wie dem anterioren Cingulären Cortex (ACC), ist ein aktives Forschungsfeld.<sup>14</sup>
- **Sportwissenschaft:** Kognitive Ermüdung, die durch anhaltende mentale Anstrengung entsteht, kann die physische Leistungsfähigkeit von Athleten beeinträchtigen.<sup>27</sup>

Angesichts dieser breiten Relevanz stellt sich die fundamentale Frage: Wie hängt der Grad der investierten mentalen Arbeit mit der Qualität oder Quantität des kognitiven Outputs zusammen? Ist mehr Anstrengung immer besser, oder gibt es Grenzen und modifizierende Faktoren, die diese Beziehung komplexer gestalten?

### 1.2. Ziele und Struktur des Berichts

Dieser Bericht zielt darauf ab, eine umfassende, multidisziplinäre Synthese der aktuellen wissenschaftlichen Literatur zum Verhältnis zwischen kognitiver Anstrengung und kognitiver Leistung zu liefern. Basierend auf einer breiten Recherche, die psychologische Studien und Modelle priorisiert, aber auch relevante Erkenntnisse aus Kognitions- und

Neurowissenschaften, Wirtschaftswissenschaften, Biologie und anderen angrenzenden Feldern einbezieht, werden folgende Kernfragen beleuchtet:

1. **Definitionen:** Wie werden kognitive Anstrengung und kognitive Leistung konzeptualisiert und von verwandten Konstrukten abgegrenzt?
2. **Messung:** Mit welchen Methoden werden momentane kognitive Anstrengung und kognitive Leistung typischerweise operationalisiert und gemessen?
3. **Linearität:** Gibt es Evidenz für einen direkten, linearen Zusammenhang zwischen Anstrengungsgrad und Leistungsniveau?
4. **Nicht-Linearität:** Welche Belege gibt es für nicht-lineare Zusammenhänge (z.B. U-förmig, invers U-förmig), und wann führt mehr Anstrengung zu keiner Verbesserung oder sogar Verschlechterung der Leistung (z.B. Überlastung, Ermüdung, "Choking under Pressure")?
5. **Moderierende Faktoren:** Welche Variablen (z.B. Aufgabenmerkmale, individuelle Unterschiede wie Motivation, Fähigkeit, Alter, Selbstwirksamkeit; Kontextfaktoren wie Stress, Anreize) beeinflussen die Beziehung zwischen Anstrengung und Leistung maßgeblich?
6. **Theoretische Modelle:** Welche etablierten Theorien oder Modelle erklären den Zusammenhang und welche Vorhersagen machen sie?

Der Bericht ist wie folgt strukturiert: Abschnitt II widmet sich den Definitionen und konzeptuellen Abgrenzungen von kognitiver Anstrengung und Leistung. Abschnitt III beschreibt die gängigen Messmethoden. Abschnitt IV untersucht die Form des Zusammenhangs, einschließlich linearer und nicht-linearer Beziehungen sowie Phänomene der Leistungsbeeinträchtigung. Abschnitt V analysiert die wichtigsten moderierenden Faktoren. Abschnitt VI stellt zentrale theoretische Modelle vor und vergleicht sie. Abschnitt VII synthetisiert die Ergebnisse, identifiziert zentrale wissenschaftliche Debatten sowie Forschungslücken und diskutiert Implikationen. Abschließend listet Abschnitt VIII Schlüsselpublikationen auf, die für eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Thema relevant sind.

## **II. Definitionen: Kognitive Anstrengung und Kognitive Leistung**

Ein klares Verständnis der Kernkonstrukte ist grundlegend für die Untersuchung ihres Zusammenhangs. Die Begriffe "kognitive Anstrengung" und "kognitive Leistung" werden jedoch in verschiedenen Forschungsfeldern nicht immer einheitlich verwendet, was eine präzise Abgrenzung erforderlich macht.<sup>7</sup>

### **2.1. Kognitive Anstrengung: Konzeptualisierungen und Herausforderungen**

#### **2.1.1. Kernidee und grundlegende Definitionen**

Im Kern bezieht sich kognitive Anstrengung auf das Ausmaß des Engagements bei anspruchsvollen Aufgaben oder die Intensität der willentlichen Aufmerksamkeit.<sup>32</sup> Sie wird auch als die willentliche Zuweisung von Ressourcen zur Bewältigung von Aufgabenanforderungen definiert.<sup>27</sup> Anstrengung kann als ein Konstrukt verstanden werden, das zwischen den Merkmalen einer Aufgabe, der verfügbaren Verarbeitungskapazität einer Person und der tatsächlichen Güte der durchgeführten Informationsverarbeitung vermittelt.<sup>7</sup> Sie beeinflusst fundamentale kognitive Prozesse wie Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, kognitive Kontrolle und Entscheidungsfindung.<sup>5</sup>

#### **2.1.2. Abgrenzung von verwandten Konstrukten**

Die konzeptuelle Klarheit erfordert eine Abgrenzung von eng verwandten Begriffen:

- **Anstrengung vs. Aufmerksamkeit:** Anstrengung ist nicht synonym mit Aufmerksamkeit. Sie bezieht sich spezifisch auf die *Top-down*, willentliche, endogene Aufmerksamkeit, die subjektiv als anstrengend empfunden werden kann, im Gegensatz zur *Bottom-up*, unwillkürlichen, exogenen Aufmerksamkeit, die dies typischerweise nicht ist.<sup>6</sup> Anstrengung impliziert aktives *Engagement*, während Aufmerksamkeit den Mechanismus der Selektion und Fokussierung beschreibt.<sup>32</sup>
- **Anstrengung vs. Schwierigkeit:** Obwohl eng verbunden und Schwierigkeit oft als primärer Bestimmungsfaktor für Anstrengung angesehen wird <sup>6</sup>, sind die Begriffe nicht identisch. Eine Aufgabe kann schwierig sein (z.B. geringe Erfolgswahrscheinlichkeit), ohne als anstrengend bewertet zu werden.<sup>6</sup> Die Unterscheidung wird deutlich bei "datenlimitierten" Aufgaben (Leistung durch Datenqualität begrenzt, z.B. Lesen schlecht sichtbarer Schrift) im Gegensatz zu "ressourcenlimitierten" Aufgaben (Leistung durch Ressourceneinsatz verbesserbar).<sup>6</sup> Anstrengung ist primär bei ressourcenlimitierten Aufgaben relevant, wo mehr investierte Ressourcen die Leistung steigern können. Schwierigkeit kann sich auf die *Quantität* der benötigten Ressourcen beziehen, Anstrengung auf das *Ausmaß des Engagements* dieser Ressourcen.<sup>13</sup>
- **Anstrengung vs. Kognitive Kontrolle:** Anstrengende Aufgaben erfordern oft kognitive Kontrolle – die Fähigkeit, Informationsverarbeitung zielgerichtet zu steuern und automatische Reaktionen zu überwinden.<sup>6</sup> Physiologische Marker der Kontrolle korrelieren oft mit dem Gefühl der Anstrengung.<sup>6</sup> Dennoch sind die Konstrukte nicht deckungsgleich. Kontrolle kann unter bestimmten Umständen als mühelos erlebt werden (z.B. im "Flow"-Zustand <sup>6</sup>). Umgekehrt könnte Anstrengung primär die *Entscheidung* betreffen, Kontrollressourcen einzusetzen, anstatt die Kontrolle selbst zu sein.<sup>6</sup> Einige Forscher sehen Kontrolle als die *erfolgreiche* Anwendung, während Anstrengung der *Versuch* ist.<sup>34</sup> Theorien wie der Erwartungswert der Kontrolle (EVC) modellieren explizit die Entscheidung zur Kontrollausübung (und damit Anstrengung) als Abwägung von Kosten und Nutzen.<sup>23</sup>
- **Anstrengung vs. Kognitive Belastung (Cognitive Load):** Diese Begriffe werden oft synonym verwendet, insbesondere im Kontext der Cognitive Load Theory (CLT). Einige Forscher unterscheiden jedoch: Kognitive Belastung kann sich auf die objektiven Anforderungen beziehen, die eine Aufgabe an das kognitive System stellt (intrinsische, extrinsische, germane Last in CLT <sup>7</sup>), während Anstrengung die tatsächlich vom Individuum *investierten* Ressourcen widerspiegelt.<sup>27</sup> Eine Aufgabe kann eine hohe potentielle Belastung aufweisen, aber wenn eine Person keine Anstrengung investiert, ist die *erlebte* Belastung möglicherweise geringer.<sup>27</sup>

### 2.1.3. Anstrengung als Kostenfaktor und Aversion

Eine vorherrschende Sichtweise in Psychologie, Wirtschaftswissenschaften und Neurowissenschaften betrachtet kognitive Anstrengung als inhärent kostspielig oder aversiv.<sup>1</sup> Menschen neigen dazu, kognitive Anstrengung zu vermeiden, wenn möglich ("Gesetz der geringsten Anstrengung" <sup>1</sup>). Diese Aversion wird in Paradigmen des "Effort Discounting" quantifiziert, bei denen Individuen bereit sind, auf Belohnungen zu verzichten, um Anstrengung zu vermeiden.<sup>5</sup> Die Kosten der Anstrengung werden unterschiedlich konzeptualisiert, z.B. als Opportunitätskosten (Zeit/Ressourcen könnten anderweitig genutzt werden <sup>41</sup>) oder als metabolische Kosten (obwohl einfache Glukose-Modelle kritisiert werden <sup>29</sup>). Eine Meta-Analyse bestätigte eine starke, konsistente positive Assoziation zwischen subjektiv bewerteter Anstrengung und negativem Affekt (Frustration) über

verschiedene Kontexte hinweg, was die Annahme stützt, dass Anstrengung per se aversiv ist.<sup>20</sup>

#### 2.1.4. Anstrengung als Wert und Belohnung

Im Kontrast zur reinen Kostenperspektive gibt es zunehmend Evidenz dafür, dass kognitive Anstrengung unter bestimmten Umständen als intrinsisch belohnend oder wertvoll erlebt werden kann.<sup>1</sup> Menschen wählen manchmal freiwillig anstrengende Tätigkeiten wie Rätsel oder anspruchsvolle Spiele, auch ohne externe Belohnung.<sup>2</sup> Experimentelle Studien zeigen, dass die Belohnung von Anstrengung selbst (unabhängig von der Leistung) dazu führen kann, dass Personen später anspruchsvollere Aufgaben bevorzugen, selbst wenn keine weitere Belohnung in Aussicht steht.<sup>1</sup> Dies deutet darauf hin, dass der Wert von Anstrengung gelernt werden kann und nicht inhärent negativ sein muss.<sup>1</sup> Faktoren wie persönliches Interesse können dazu führen, dass anstrengende Aufgaben als weniger ermüdend und sogar als angenehm empfunden werden.<sup>40</sup> Neurobiologisch wurde gezeigt, dass Belohnungen nach hoher Anstrengung stärkere Aktivierungen in Belohnungszentren (z.B. ventrales Striatum) hervorrufen können.<sup>2</sup> Diese Befunde stellen die universelle Gültigkeit der Aversionshypothese in Frage und legen nahe, dass der Kontext und die individuelle Bewertung entscheidend sind.<sup>1</sup>

#### 2.1.5. Anstrengung als vermittelnder Faktor

Kognitive Anstrengung wird oft als Mediator betrachtet, der die Auswirkungen anderer Variablen auf Verhalten und Erleben beeinflusst. Sie vermittelt zwischen Motivation und Leistung/physiologischen Reaktionen.<sup>6</sup> Sie ist ein zentrales Element in Theorien zur kognitiven Ermüdung (Leistungsabfall über die Zeit), zu Depletionseffekten (nachlassende Selbstkontrolle nach vorheriger Anstrengung) und zu Geistigem Abschweifen (Mind-Wandering).<sup>6</sup> Anstrengung spielt auch eine Rolle bei der Strategiewahl, wenn Individuen zwischen aufwändigeren, aber potenziell erfolgreichereren Strategien und weniger aufwändigen, aber fehleranfälligeren Strategien wählen (z.B. bei Gedächtnisaufgaben oder Entscheidungsfindung<sup>6</sup>; Modell-basierte vs. Modell-freie Kontrolle<sup>6</sup>).

#### 2.1.6. Interdisziplinäre Perspektiven

Das Konstrukt der kognitiven Anstrengung wird in verschiedenen Disziplinen beleuchtet:

- **Psychologie:** Fokus auf willentliche Aufmerksamkeit, Ressourcenallokation, Kosten-Nutzen-Abwägungen, subjektives Erleben.<sup>5</sup>
- **Neurowissenschaften:** Untersuchung neuronaler Korrelate im Gehirn (z.B. Aktivierungsmuster in ACC, PFC, SN; Neurotransmitter wie Dopamin), Mechanismen der Kontrollallokation.<sup>14</sup>
- **Wirtschaftswissenschaften/Neuroökonomie:** Modellierung von Anstrengung als Kostenfaktor in Entscheidungsmodellen, Anwendung von Discounting-Paradigmen.<sup>6</sup>
- **Pädagogik:** Konzeptualisierung im Rahmen der Cognitive Load Theory (insbesondere Germane Load als produktive Anstrengung).<sup>7</sup>
- **Human Factors/Ergonomie:** Untersuchung als mentale Arbeitsbelastung (Mental Workload) in angewandten Kontexten.<sup>7</sup>

Die Vielfalt der Definitionen und Perspektiven unterstreicht, dass "kognitive Anstrengung" kein monolithisches Konstrukt ist. Es umfasst wahrscheinlich verschiedene Facetten – das subjektive Gefühl, den Allokationsprozess, den objektiven Ressourceneinsatz –, deren Bedeutung vom theoretischen Rahmen und Kontext abhängt. Diese Mehrdeutigkeit stellt eine Herausforderung für die Forschung dar<sup>7</sup> und erfordert eine präzise Definition des

jeweils untersuchten Aspekts. Die dominante Sichtweise der Anstrengung als Kostenfaktor wird zunehmend durch Befunde herausgefordert, die auf einen potenziellen intrinsischen Wert von Anstrengung hindeuten, was die Komplexität des Konstrukts weiter erhöht.

## 2.2. Kognitive Leistung: Dimensionen und Domänen

### 2.2.1. Allgemeine Definition

Kognitive Leistung bezieht sich allgemein auf die Effizienz und Effektivität, mit der eine Person Informationen verarbeiten, Entscheidungen treffen, Probleme lösen, lernen und sich erinnern kann.<sup>3</sup> Sie ist ein Maß dafür, wie gut das Gehirn bei Aufgaben funktioniert, die Denken und Informationsverarbeitung erfordern.<sup>3</sup>

### 2.2.2. Schlüsselkomponenten und kognitive Domänen

Kognition ist kein einheitliches Konzept, sondern umfasst verschiedene Funktionen oder Domänen.<sup>4</sup> Die Messung kognitiver Leistung zielt auf diese spezifischen Fähigkeiten ab:

- **Aufmerksamkeit und Konzentration:** Umfasst Wachheit (Alertness), die Fähigkeit, den Fokus aufrechtzuerhalten und Ablenkungen zu ignorieren (selektive und Daueraufmerksamkeit).<sup>3</sup>
- **Verarbeitungsgeschwindigkeit:** Die Geschwindigkeit, mit der Informationen aufgenommen, verarbeitet und Reaktionen initiiert werden, oft gemessen durch Reaktionszeiten (einfach, Wahl-).<sup>3</sup>
- **Gedächtnis:**
  - *Arbeitsgedächtnis (Working Memory):* Kurzfristiges Halten und Manipulieren von Informationen (z.B. eine Telefonnummer merken beim Wählen).<sup>3</sup>
  - *Langzeitgedächtnis:* Erwerb, Verarbeitung, Speicherung (Konsolidierung) und Abruf von Informationen über längere Zeiträume.<sup>3</sup> Umfasst episodisches Gedächtnis (Ereignisse), semantisches Gedächtnis (Faktenwissen) und implizites Lernen.<sup>4</sup>
- **Exekutive Funktionen:** Übergeordnete Kontrollprozesse, einschließlich logischem Schlussfolgern, Problemlösung, Planung, Entscheidungsfindung, kognitiver Kontrolle (z.B. Überwindung von Interferenzen), Inhibition (Unterdrückung irrelevanter Reaktionen) und kognitiver Flexibilität (Wechsel zwischen Aufgaben oder Regeln).<sup>3</sup>
- **Sprache und Kommunikation:** Rezeptive (Verstehen) und expressive (Produzieren) Sprachfähigkeiten, sowohl mündlich als auch schriftlich.<sup>4</sup>
- **Visuell-räumliche Fähigkeiten:** Verarbeitung und Manipulation visueller und räumlicher Informationen.<sup>4</sup>
- **Metakognition:** Das Bewusstsein und Verständnis der eigenen Denkprozesse.<sup>3</sup>

### 2.2.3. Leistungsvariabilität

Kognitive Leistung ist nicht statisch. Sie variiert je nach gemessener Domäne – eine Person kann in einem Bereich (z.B. Daueraufmerksamkeit) gut, in einem anderen (z.B. Gedächtnis) aber schwächer sein.<sup>3</sup> Zudem schwankt die Leistung einer Person auch über die Zeit (intraindividuelle Variabilität, IIV).<sup>47</sup> Eine höhere IIV, insbesondere bei Reaktionszeitmaßen, wird mit kognitiver Instabilität und geringerer kognitiver Kontrolle in Verbindung gebracht.<sup>47</sup>

Die Multidimensionalität der kognitiven Leistung ist ein wichtiger Aspekt für die Untersuchung des Zusammenhangs mit kognitiver Anstrengung. Da verschiedene Aufgaben unterschiedliche kognitive Funktionen und Systeme beanspruchen<sup>3</sup>, ist es plausibel, dass

sich der Einfluss von Anstrengung je nach gemessener Leistungsdimension (z.B. Geschwindigkeit vs. Genauigkeit) und der Art der Aufgabe (z.B. Arbeitsgedächtnis- vs. Aufmerksamkeitsaufgabe) unterscheidet. Eine hohe Leistung in einer Domäne garantiert keine hohe Leistung in einer anderen <sup>3</sup>, und somit könnte auch die Anstrengungs-Leistungs-Beziehung domänenspezifisch variieren. Die Wahl des Leistungsmaßes ist daher entscheidend für die Interpretation von Forschungsergebnissen.

### 2.3. Tabelle: Vergleichende Definitionen und Abgrenzungen

Zur Verdeutlichung der zentralen Konstrukte und ihrer Beziehungen dient folgende Tabelle:

Konstrukt	Kerndefinition	Schlüsselmomente/Dimensionen	Beziehung zur Anstrengung	Beispielhafte Maße/Aufgaben
<b>Kognitive Anstrengung (Cognitive Effort)</b>	Ausmaß des Engagements / Intensität der willentlichen Aufmerksamkeit / Ressourcenzuweisung bei anspruchsvollen Aufgaben. <sup>6</sup> Vermittelt zwischen Aufgabe, Kapazität und Leistung. <sup>7</sup>	Subjektives Erleben (Empfindung von Mühe), objektiv (Ressourcenmobilisierung), motivational (Entscheidung zur Investition). Oft als aversiv/kostspielig betrachtet <sup>5</sup> , kann aber auch wertvoll sein. <sup>1</sup>	Anstrengung <i>ist</i> die untersuchte Variable. Eng verbunden mit, aber verschieden von Aufmerksamkeit, Schwierigkeit, Kontrolle, Belastung.	Subjektive Ratings (NASA-TLX <sup>13</sup> ), Pupillometrie <sup>32</sup> , Herzratenvariabilität (HRV), Blutdruck <sup>8</sup> , EEG/fMRT-Aktivierung <sup>8</sup> , Wahlverhalten (Demand Selection Task <sup>5</sup> , Effort Discounting <sup>6</sup> ).
<b>Kognitive Leistung (Cognitive Performance)</b>	Effizienz und Effektivität der Informationsverarbeitung, Problemlösung, Lernen, Gedächtnis etc.. <sup>3</sup> Maß für die Funktionsgüte des Gehirns bei Denkaufgaben. <sup>3</sup>	Multidimensional: Aufmerksamkeit, Geschwindigkeit, Gedächtnis (Arbeits-, Langzeit-), Exekutivfunktionen (Planung, Kontrolle, Problemlösung), Sprache etc.. <sup>3</sup>	Anstrengung wird investiert, um die Leistung zu beeinflussen (oft zu verbessern, aber nicht immer). Leistung ist das <i>Ergebnis</i> der kognitiven Prozesse.	Genauigkeit (% korrekt, Fehler <sup>46</sup> ), Reaktionszeit (RT <sup>47</sup> ), RT-Variabilität (IIV <sup>47</sup> ), Gedächtnisspanne <sup>48</sup> , Aufgabenlösungszeit, spezifische Testscores (PVT, SART, Stroop <sup>3</sup> ).

<b>Aufmerksamkeit (Attention)</b>	Prozess der selektiven Konzentration auf bestimmte Informationen unter Ignorierung anderer. <sup>3</sup>	Wachheit, selektive A., geteilte A., Daueraufmerksamkeit. Top-down (willentlich) vs. Bottom-up (unwillkürlich). <sup>6</sup>	Anstrengung ist eng mit <i>willentlicher</i> (Top-down) Aufmerksamkeit verbunden. <sup>6</sup> Anstrengung ist das <i>Engagement</i> , Aufmerksamkeit der <i>Mechanismus</i> .	Daueraufmerksamkeitstests (SART <sup>46</sup> ), Vigilanztests (PVT <sup>3</sup> ), Selektive Aufmerksamkeitsaufgaben (Stroop <sup>48</sup> ).
<b>Schwierigkeit (Difficulty)</b>	Eigenschaft einer Aufgabe, die hohe Anforderungen an Verarbeitungskapazitäten stellt oder eine geringe Erfolgswahrscheinlichkeit impliziert. <sup>6</sup>	Objektiv (z.B. Anzahl Elemente, Komplexität der Regeln) vs. subjektiv (wahrgenommene Schwierigkeit). Datenlimitiert vs. Ressourcenlimitiert. <sup>6</sup>	Schwierigkeit ist ein Hauptdeterminant für die <i>Notwendigkeit</i> von Anstrengung. <sup>6</sup> Eine schwierige Aufgabe erfordert oft mehr Anstrengung, aber nicht zwangsläufig (siehe datenlimitierte Aufgaben <sup>6</sup> ).	Aufgabenparameter (z.B. N in N-back, Anzahl Regeln), subjektive Schwierigkeitsratings.
<b>Kognitive Kontrolle (Cognitive Control)</b>	Fähigkeit zur zielgerichteten Steuerung von Gedanken und Handlungen, Überwindung von Interferenzen und Automatismen. <sup>6</sup>	Inhibition, Aufgabenwechsel, Konfliktmonitoring, Zielaufrechterhaltung. Merkmal nicht-automatischer Prozesse. <sup>6</sup>	Anstrengende Aufgaben erfordern oft Kontrolle. <sup>6</sup> Anstrengung kann die <i>Entscheidung</i> zur Kontrollausübung sein. <sup>6</sup> Kontrolle kann manchmal mühelos sein ("Flow" <sup>6</sup> ). EVC-Theorie verbindet Kontrollallokation mit	Stroop-Test, Flanker-Aufgabe, Go/No-Go-Aufgaben, Aufgabenwechsel-Paradigmen.

			Anstrengungskosten. <sup>23</sup>	
<b>Kognitive Belastung (Cognitive Load)</b>	Die Gesamtmenge an mentaler Aktivität/Ressourcenbeanspruchung, die durch eine Aufgabe im Arbeitsgedächtnis entsteht. <sup>7</sup>	Intrinsisch (Aufgabenkomplexität), extrinsisch (Instruktionsdesign), german (Lernprozesse). <sup>11</sup>	Eng verwandt mit Anstrengung. Belastung bezieht sich auf die <i>Anforderungen</i> der Aufgabe, Anstrengung auf die <i>investierten</i> Ressourcen. <sup>36</sup> Hohe Belastung erfordert oft hohe Anstrengung, aber Anstrengung kann auch bei moderater Belastung variieren (Motivation).	Subjektive Ratings (spez. für Load), physiologische Maße (ähnlich wie bei Anstrengung), Leistungsmaße unter verschiedenen Instruktionsbedingungen.

### III. Messung und Operationalisierung

Die empirische Untersuchung des Zusammenhangs zwischen kognitiver Anstrengung und Leistung erfordert valide und reliable Methoden zur Messung beider Konstrukte. Die Forschung bedient sich dabei einer Vielzahl von subjektiven, physiologischen und verhaltensbasierten Maßen.

#### 3.1. Messung Kognitiver Anstrengung

Die Operationalisierung von Anstrengung ist eine Herausforderung, da sie sowohl eine subjektive Erfahrung als auch einen objektiven Prozess der Ressourcenmobilisierung umfasst.

##### 3.1.1. Subjektive Bewertungen

Die einfachste Methode ist die direkte Befragung der Versuchspersonen nach ihrer wahrgenommenen Anstrengung.

- **Verbreitung und Nutzen:** Subjektive Ratings sind weit verbreitet, einfach zu implementieren und nicht-invasiv.<sup>36</sup> Sie erfassen die phänomenologische Erfahrung der Anstrengung.
- **Instrumente:**
  - *NASA-Task Load Index (NASA-TLX):* Ein multidimensionales Instrument, das neben anderen Faktoren wie mentaler, physischer und zeitlicher Anforderung,



Leistung und Frustration auch eine explizite Skala für "Anstrengung" (Effort) enthält.<sup>13</sup> Es gilt als eines der am häufigsten verwendeten Instrumente zur Messung der mentalen Arbeitsbelastung.<sup>13</sup>

- *Eindimensionale Skalen:* Einfache Likert-Skalen oder visuelle Analogskalen, auf denen Personen ihre momentane oder aufgabenbezogene Anstrengung einschätzen.<sup>46</sup>
- **Limitationen:** Subjektive Maße sind anfällig für Verzerrungen (Biases), soziale Erwünschtheit, Gedächtniseffekte und interindividuelle Unterschiede in der Skalennutzung.<sup>53</sup> Sie spiegeln die *wahrgenommene* Anstrengung wider, die nicht perfekt mit dem objektiven Ressourceneinsatz übereinstimmen muss.

### 3.1.2. Physiologische Maße (Objektive Indizes)

Diese Methoden erfassen physiologische Reaktionen, die mit der Aktivität des autonomen (ANS) oder zentralen Nervensystems (ZNS) während kognitiver Beanspruchung assoziiert sind. Sie gelten als sensitiver als subjektive Maße, können aber durch andere Faktoren (z.B. emotionale Erregung, körperliche Aktivität) beeinflusst werden.<sup>53</sup> Sie bieten oft eine hohe zeitliche Auflösung und Spezifität.<sup>13</sup>

- **Pupillometrie:** Die Messung der Pupillenweite ist ein etabliertes Maß für kognitive Anstrengung und Belastung.<sup>8</sup>
  - *Befunde:* Die Pupille erweitert sich typischerweise mit steigender Aufgabenschwierigkeit<sup>52</sup>, Arbeitsgedächtnislast<sup>32</sup> und der Notwendigkeit zur Aufmerksamkeitssteuerung.<sup>32</sup> Die Größe der aufgabenevozierten Pupillenreaktion (Task-Evoked Pupillary Response, TERP) gilt als Index für die Intensität der Anstrengung.<sup>32</sup> Auch der Basis-Pupillendurchmesser kann mit Erregung oder Explorationsverhalten korrelieren.<sup>52</sup> Metriken wie der maximale Pupillendurchmesser und die Latenz der Pupillenreaktion werden verwendet.<sup>53</sup> Reduzierte Pupillenreagibilität auf Konflikte kann mentale Überlastung signalisieren.<sup>55</sup>
  - *Vorteile/Nachteile:* Hohe zeitliche Auflösung, nicht-invasiv.<sup>53</sup> Jedoch sensitiv gegenüber Umgebungslicht und allgemeiner Erregung.
- **Kardiovaskuläre Maße:** Veränderungen der Herzaktivität und des Blutdrucks werden ebenfalls zur Erfassung von Anstrengung genutzt.
  - *Metriken:* Die Herzrate (HR) steigt oft mit mentaler Arbeitsbelastung oder Stress an.<sup>14</sup> Die Herzratenvariabilität (HRV) kann unter kognitiver Last abnehmen.<sup>8</sup> Insbesondere die systolische Blutdruckreaktivität (SBP) wird, basierend auf Theorien wie der Motivation Intensity Theory, als Indikator für anstrengungsbezogenes Coping und Engagement verwendet.<sup>33</sup> Auch der diastolische Blutdruck (DBP) und andere Maße (z.B. Herzkontraktilität) kommen zum Einsatz.<sup>33</sup>
  - *Interpretation:* Erhöhte kardiovaskuläre Aktivität wird oft als Mobilisierung physiologischer Ressourcen zur Bewältigung von Anforderungen interpretiert.<sup>33</sup>
- **Elektroenzephalographie (EEG):** Misst die elektrische Aktivität des Gehirns mit hoher zeitlicher Auflösung.<sup>13</sup>
  - *Befunde:* Veränderungen in spezifischen Frequenzbändern korrelieren mit kognitiver Anstrengung und Last. Beta-Aktivität (assoziiert mit aktivem Denken) nimmt oft mit der Komplexität zu, während Alpha-Aktivität (assoziiert mit

Entspannung) abnimmt.<sup>8</sup> Anhaltende Anstrengung und Ermüdung können mit einer Zunahme der frontalen Theta-Aktivität einhergehen.<sup>60</sup> Ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs), wie die Reward Positivity (RewP), können motivationale Aspekte der Anstrengung (z.B. Reaktion auf Belohnung nach Anstrengung) widerspiegeln.<sup>43</sup> Analysen der Skaleninvarianz (z.B. Hurst-Exponent, H) des EEG-Signals zeigen, dass H mit zunehmender Anstrengung/Schwierigkeit abnimmt, was als genereller Marker diskutiert wird.<sup>61</sup>

- *Vorteile/Nachteile:* Sehr gute zeitliche Auflösung, relativ kostengünstig. Räumliche Auflösung begrenzt, anfällig für Artefakte.
- **Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT):** Misst hämodynamische Veränderungen (Blutfluss, Oxygenierung) als indirektes Maß neuronaler Aktivität mit guter räumlicher Auflösung.<sup>13</sup>
  - *Befunde:* Erhöhte Aktivierung in Netzwerken, die mit exekutiver Kontrolle assoziiert sind (Executive Control Network, ECN; z.B. dorsolateraler Präfrontalkortex, DLPFC; parietale Regionen), wird bei anstrengenden Aufgaben beobachtet.<sup>14</sup> Gleichzeitig wird oft eine Deaktivierung des Default Mode Network (DMN) festgestellt.<sup>14</sup> Das Salience Network (SN), einschließlich ACC und Insula, ist ebenfalls an der Anstrengungsallokation und -überwachung beteiligt.<sup>14</sup> Aktivierungsmuster können zwischen Anstrengung und individueller Kapazität differenzieren.<sup>62</sup>
  - *Vorteile/Nachteile:* Gute räumliche Auflösung, ermöglicht Lokalisierung. Geringere zeitliche Auflösung als EEG, teuer, laut, bewegungsempfindlich, schränkt mögliche Aufgaben ein.<sup>54</sup>
- **Funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS):** Eine optische Methode, die ebenfalls Blutoxygenierung misst.<sup>54</sup>
  - *Vorteile/Nachteile:* Portabler und weniger bewegungsempfindlich als fMRT, kompatibel mit Hörgeräten.<sup>54</sup> Bessere zeitliche Auflösung als fMRT, bessere räumliche Auflösung als EEG.<sup>54</sup> Wird zunehmend in der Kognitionsforschung eingesetzt, z.B. bei Höranstrengung.<sup>54</sup>
- **Andere Maße:** Elektrodermale Aktivität (EDA) bzw. Hautleitfähigkeit<sup>8</sup>, Atemfrequenz<sup>8</sup> und Elektromyographie (EMG)<sup>8</sup> werden ebenfalls in Studien zur kognitiven Belastung eingesetzt.

### 3.1.3. Verhaltensbasierte Maße (Indirekte Indizes)

Anstrengung kann auch indirekt über das Wahlverhalten oder die Persistenz erfasst werden.

- **Wahlverhalten:** In Aufgaben wie der Demand Selection Task<sup>5</sup> oder bei Effort-Discounting-Paradigmen<sup>6</sup> wird die Präferenz für weniger anstrengende Optionen als Indikator für die subjektiven Kosten der Anstrengung interpretiert.<sup>5</sup> Die Bereitschaft, Belohnungen gegen eine Reduktion der Anstrengung einzutauschen, erlaubt eine Quantifizierung dieser Kosten.<sup>5</sup>
- **Persistenz:** Die Dauer, die eine Person bereit ist, sich mit einer Aufgabe zu beschäftigen, oder die Anzahl der absolvierten Durchgänge vor dem Abbruch können ebenfalls als Maß für die investierte Anstrengung oder die Ermüdungsgrenze dienen.

Die Vielfalt der Messmethoden spiegelt die Komplexität des Anstrengungskonstrukts wider. Jede Methode hat spezifische Stärken und Schwächen. Subjektive Maße erfassen das bewusste Erleben, sind aber anfällig für Verzerrungen. Physiologische Maße bieten objektivere Einblicke in zugrundeliegende Prozesse, ihre Interpretation kann jedoch durch

Konfundierungsvariablen erschwert sein. Verhaltensmaße erfassen die motivationalen Konsequenzen von Anstrengungskosten. Eine Kombination verschiedener Maße (z.B. subjektive Ratings, Pupillometrie und Leistung<sup>53</sup>) erscheint daher ideal, um ein umfassendes Bild der kognitiven Anstrengung zu erhalten und die Konvergenz bzw. Divergenz verschiedener Indikatoren zu untersuchen.

### 3.2. Messung Kognitiver Leistung

Die Messung kognitiver Leistung erfolgt typischerweise durch standardisierte Tests, die spezifische kognitive Domänen erfassen.<sup>4</sup> Die Wahl des Maßes hängt von der untersuchten kognitiven Funktion ab.<sup>3</sup>

#### 3.2.1. Genauigkeitsbasierte Maße

Diese erfassen die Korrektheit oder Qualität der Leistung.

- **Metriken:** Prozent korrekter Antworten, Fehlerraten, Trefferquoten (Hits), Falschalarme (False Alarms).<sup>46</sup> In Go/No-Go-Aufgaben sind insbesondere die Kommissionsfehler (fälschliche Reaktion auf No-Go-Stimuli) relevant.<sup>46</sup> Maße aus der Signalentdeckungstheorie (z.B.  $d'$  für Sensitivität) werden ebenfalls verwendet.<sup>41</sup>
- **Anwendung:** Weit verbreitet in Gedächtnistests (Wiedererkennen, freier Abruf<sup>44</sup>), Entscheidungsaufgaben<sup>9</sup>, Kategorisierungsaufgaben und Aufgaben zur Reaktionsinhibition.<sup>46</sup>

#### 3.2.2. Geschwindigkeitsbasierte Maße

Diese erfassen die Schnelligkeit der Informationsverarbeitung oder Reaktion.

- **Reaktionszeit (Reaction Time, RT):** Gemessen in Millisekunden (ms).<sup>48</sup> Unterschieden werden einfache RT (ein Stimulus, eine Reaktion), Wahl-RT (mehrere Stimuli/Reaktionen) und Go/No-Go-RT.<sup>3</sup> RT ist ein fundamentaler Indikator kognitiver Leistungsfähigkeit.<sup>69</sup>
- **Verarbeitungsgeschwindigkeit:** Zeit, die zur Bearbeitung einer Aufgabe oder eines Aufgabenteils benötigt wird.
- **Reaktionszeitvariabilität (Intraindividuelle Variabilität, IIV):** Schwankungen der RT einer Person über mehrere Durchgänge hinweg. Gemessen z.B. durch Standardabweichung (SD) der RT oder Variationskoeffizient (CV).<sup>47</sup> Erhöhte IIV wird mit kognitiver Instabilität, geringerer kognitiver Kontrolle und neurologischen Beeinträchtigungen in Verbindung gebracht.<sup>47</sup> RT-basierte IIV scheint oft sensitiver zu sein als genauigkeitsbasierte IIV.<sup>50</sup>

#### 3.2.3. Kombinierte Maße

Diese versuchen, Geschwindigkeit und Genauigkeit zu integrieren.

- **Effizienzmaße:** Z.B. Verhältnis von Genauigkeit zu RT.
- **Inverse Effizienz-Scores (IES):** RT geteilt durch Genauigkeit; höhere Werte bedeuten geringere Effizienz.

#### 3.2.4. Aufgabenspezifische Metriken

Viele kognitive Tests haben spezifische Leistungsindikatoren:

- **Arbeitsgedächtnis:** Gedächtnisspanne (z.B. Anzahl korrekt erinnelter Ziffern/Wörter; Reading Span <sup>4</sup>), Leistung in N-Back-Aufgaben (Genauigkeit, RT <sup>41</sup>), Genauigkeit bei Veränderungsdetektionsaufgaben.<sup>70</sup>
- **Aufmerksamkeit/Vigilanz:** Psychomotor Vigilance Task (PVT) misst RT und Aufmerksamkeitslücken (Lapses).<sup>3</sup> Sustained Attention to Response Task (SART) erfasst Kommissionsfehler und RT.<sup>46</sup>
- **Exekutive Kontrolle:** Stroop-Test misst Interferenz (RT-Differenz inkongruent vs. kongruent/neutral), Fehler.<sup>48</sup> Flanker-Aufgabe misst ähnliche Interferenz-Effekte. Aufgabenwechsel-Paradigmen messen Wechselkosten (RT-Verlängerung beim Aufgabenwechsel).
- **Lernen:** Lerngeschwindigkeit, Leistungsverbesserung über die Zeit.<sup>3</sup>
- **Problemlösen/Schlussfolgern:** Korrektheit der Lösung, Lösungszeit.<sup>3</sup>

Die Wahl des Leistungsmaßes hat erhebliche Auswirkungen darauf, wie sich die Beziehung zur kognitiven Anstrengung darstellt. Unterschiedliche Maße erfassen unterschiedliche Facetten der Kognition.<sup>3</sup> Anstrengung könnte sich unter bestimmten Bedingungen primär auf die Geschwindigkeit auswirken <sup>48</sup>, unter anderen auf die Genauigkeit oder auf die Konsistenz der Leistung (Variabilität).<sup>47</sup> Zudem unterscheiden sich Aufgaben darin, welche kognitiven Funktionen sie primär beanspruchen.<sup>62</sup> Daher kann die beobachtete Anstrengungs-Leistungs-Beziehung stark davon abhängen, *wie* Leistung gemessen wird und *welche Art* von Aufgabe verwendet wird. Beispielsweise könnten RT-basierte Maße sensibler für subtile Veränderungen oder IIV sein als reine Genauigkeitsmaße.<sup>50</sup> Beim Vergleich von Studien ist daher eine genaue Betrachtung der verwendeten Leistungsmetriken unerlässlich.

### 3.3. Tabelle: Gängige Operationalisierungen und Messmethoden

Konstrukt	Kategorie	Spezifische Methode/ Maß	Kerninformation	Stärken	Schwächen	Repräsentative Zitate
Kognitive Anstrengung	Subjektiv	NASA-TLX (Effort-Skala)	Wahrgenommene Anstrengung (multidimensional)	Etabliert, einfach, erfasst subjektives Erleben	Subjektiv, anfällig für Bias, retrospektiv	<sup>13</sup>
	Subjektiv	Likert-/VAS-Skalen	Wahrgenommene Anstrengung (eindimensional)	Sehr einfach, momentan erfassbar	Subjektiv, Skaleninterpretation	<sup>46</sup>

	Physiologisch	Pupillometrie (Pupillen Durchmesser, TERP)	ANS-Aktivität, Arousal, kognitive Last	Objektiv, hohe zeitl. Auflösung, sensitiv	Lichtempfindlich, unspezifisch (Arousal)	32
	Physiologisch	Kardiovaskulär (HR, HRV, SBP)	ANS-Aktivität, Coping-Anstrengung	Objektiv, etabliert (SBP für MIT)	Beeinflusst durch physische Aktivität, Emotionen	8
	Physiologisch	EEG (Frequenzanalyse, EKP, Skaleninvarianz)	ZNS-Aktivität, kortikale Prozesse	Sehr hohe zeitl. Auflösung, direktes Hirnmaß	Begrenzte räuml. Auflösung, artefaktanfällig	8
	Physiologisch	fMRT (BOLD-Signal)	ZNS-Aktivität, Lokalisierung von Hirnregionen	Hohe räuml. Auflösung	Geringe zeitl. Auflösung, teuer, restriktiv	14
	Physiologisch	fNIRS	ZNS-Aktivität (Blutoxygenierung)	Guter Kompromiss räuml./zeitl. Auflösung, portabel	Misst nur kortikale Aktivität, indirekt	54
	Verhalten sbasiert	Wahlverhalten (Demand Selection, Effort Discounting)	Subjektive Kosten/Wert der Anstrengung	Direkte Quantifizierung der Anstrengungskosten	Indirekt, erfordert spezifische Paradigmen	5

<b>Kognitive Leistung</b>	Genauigkeit	% Korrekt, Fehlerrate, d'	Korrektheit, Qualität der Verarbeitung	Direkte Erfolgsmessung	Deckeneffekte, unempfindlich bei einfachen Aufgaben	46
	Geschwindigkeit	Reaktionszeit (RT)	Verarbeitungsgeschwindigkeit, Effizienz	Sensitiv, kontinuierlich, etabliert	Kann durch Strategien beeinflusst werden (Speed-Accuracy Tradeoff)	47
	Geschwindigkeit	RT-Variabilität (IIV)	Konsistenz der Leistung, kognitive Stabilität	Sensitiver Indikator für kognitive Funktion/Dysfunktion	Erfordert viele Trials, Interpretation komplex	47
	Aufgabenspezifisch	Arbeitsgedächtnispanne, N-Back-Leistung, PVT-Lapses etc.	Leistung in spezifischen kognitiven Domänen	Gezielte Messung spezifischer Funktionen	Ergebnisse nicht immer generalisierbar	3

#### IV. Die Anstrengungs-Leistungs-Beziehung: Linearität und Nicht-Linearität

Die zentrale Frage betrifft die Form des Zusammenhangs zwischen dem Grad der investierten kognitiven Anstrengung und dem resultierenden Leistungsniveau. Ist die Beziehung linear – führt mehr Anstrengung immer zu besserer Leistung – oder gibt es komplexere, nicht-lineare Muster?

##### 4.1. Die lineare Hypothese: Mehr Anstrengung, bessere Leistung?

Die intuitive Annahme, dass höhere Anstrengung zu besseren Ergebnissen führt, findet in einigen theoretischen Ansätzen und empirischen Befunden Unterstützung, zumindest innerhalb bestimmter Grenzen.

- **Theoretische Grundlagen:** Ressourcenmodelle implizieren oft, dass die Zuweisung von mehr kognitiven Ressourcen (Anstrengung) die Leistung bei ressourcenlimitierten Aufgaben verbessert, solange die Kapazitätsgrenzen nicht erreicht sind.<sup>6</sup> Viele Motivationstheorien gehen davon aus, dass Anstrengung mit der Stärke eines Motivs

oder der Wichtigkeit eines Ziels zunimmt, was wiederum zu besseren Ergebnissen führt.<sup>33</sup> Die EVC-Theorie postuliert, dass Anstrengung (Kontrollallokation) erhöht wird, wenn der erwartete Nutzen die Kosten übersteigt.<sup>24</sup> Auch die Cognitive Load Theory (CLT) sieht in der "germanen" kognitiven Belastung eine Form produktiver Anstrengung, die für tiefgreifendes Lernen notwendig ist.<sup>11</sup>

- **Empirische Evidenz:** Zahlreiche Studien zeigen Leistungsverbesserungen (z.B. höhere Genauigkeit, schnellere Reaktionszeiten) bei steigenden Aufgabenanforderungen oder durch Anreize, die vermutlich die Anstrengung erhöhen.<sup>9</sup> Neuroimaging-Studien belegen oft eine erhöhte Aktivität in exekutiven Kontrollnetzwerken (ECN) bei höherer Arbeitsgedächtnislast oder Aufgabenschwierigkeit, was zumindest bis zu einem gewissen Punkt mit aufrechterhaltener oder verbesserter Leistung einhergeht.<sup>14</sup> Die Motivation Intensity Theory (MIT) sagt einen linearen Anstieg der Anstrengung mit der *wahrgenommenen* Schwierigkeit voraus, allerdings nur solange Erfolg als möglich und lohnend erscheint.<sup>33</sup> Dies impliziert eine lineare Beziehung innerhalb eines bestimmten Bereichs von Schwierigkeit und Motivation.
- **Grenzen der Linearität:** Die Annahme einer rein linearen Beziehung ist jedoch begrenzt. Sie gilt oft nur in einem moderaten Bereich von Aufgabenanforderungen oder individuellen Fähigkeiten und kann Effekte von Überlastung, Ermüdung oder fehlgeleiteter Anstrengung nicht erklären.

#### 4.2. Nicht-Linearität: Die invertierte U-Kurve und optimale Anstrengung

Die Vorstellung, dass "mehr" nicht immer "besser" ist, wird durch nicht-lineare Modelle beschrieben, insbesondere durch die invertierte U-förmige Beziehung.

- **Das Yerkes-Dodson-Gesetz (YDL):**
  - *Beschreibung:* Dieses fast schon sprichwörtliche Gesetz besagt, dass die Leistung mit steigender Erregung (Arousal) oder Motivation bis zu einem optimalen Punkt zunimmt und danach wieder abfällt.<sup>75</sup> Entscheidend ist die Interaktion mit der Aufgabenschwierigkeit: Das optimale Erregungsniveau ist bei schwierigen Aufgaben niedriger als bei einfachen Aufgaben.<sup>75</sup> Bei einfachen Aufgaben kann der Zusammenhang auch linear positiv sein, während er bei schwierigen Aufgaben die typische invertierte U-Form annimmt.<sup>77</sup>
  - *Relevanz und Kritik:* Das YDL wird häufig herangezogen, um die Auswirkungen von Stress, Erregung und Motivation auf die Leistung zu erklären.<sup>73</sup> Es verdeutlicht, dass sowohl Unter- als auch Übermotivation bzw. -erregung suboptimal sein können. Kritiker weisen jedoch darauf hin, dass das Gesetz oft übervereinfacht oder falsch interpretiert wird.<sup>78</sup> Moderne Ansätze betonen die Notwendigkeit, Interaktionen mit Aufgabenmerkmalen und individuellen Unterschieden zu berücksichtigen.<sup>77</sup> Einige Modelle postulieren sogar separate lineare und invertierte U-Beziehungen für unterschiedliche Komponenten der Angst (kognitiv vs. somatisch).<sup>83</sup>
- **Evidenz für invertierte U-Beziehungen:**
  - *Motivation Intensity Theory (MIT):* Wie bereits erwähnt, sagt MIT voraus, dass die Anstrengung mit der Schwierigkeit steigt, aber bei zu hoher (unmögliche oder ungerechtfertigte) Schwierigkeit abrupt abfällt (Disengagement).<sup>33</sup> Dies beschreibt eine spezifische Form der Nicht-Linearität (Anstieg gefolgt von Abfall).

- *Leistung vs. Schwierigkeit/Stress/Anreize*: Empirische Studien finden Belege dafür, dass die Leistung bei moderaten Niveaus von Aufgabenschwierigkeit, Stress oder Anreizen am höchsten ist und bei sehr niedrigen oder sehr hohen Niveaus sinkt.<sup>43</sup>
- *Konfliktadaption*: Die Fähigkeit, kognitive Kontrolle nach erlebten Konflikten anzupassen (eine Form anstrengungsbasierter Adaption), scheint einer invertierten U-Kurve zu folgen: Sie ist bei niedriger bis moderater Aufgabenschwierigkeit vorhanden, fehlt aber oder kehrt sich bei hoher Schwierigkeit um.<sup>55</sup>
- *Chronischer Stress*: Eine Studie fand eine invertierte U-Beziehung zwischen dem Ausmaß chronischen Stresses (gemessen mit dem PSS) und Indikatoren der Motivation zur Anstrengung (Akzeptanzrate von Anstrengungsangeboten, Drift-Rate im Entscheidungsmodell, neuronale Belohnungsreaktion  $\Delta\text{RewP}$ ).<sup>43</sup> Sowohl niedriger als auch hoher chronischer Stress waren mit geringerer Motivation assoziiert als moderater Stress.
- *Kognitive Nähe (Expertise)*: Bei Bewertungsaufgaben zeigte die Entscheidungsqualität eine invertierte U-Beziehung zur kognitiven Nähe (Vertrautheit/Expertise) des Bewerter.<sup>84</sup> Sowohl zu geringe als auch zu hohe Expertise führten zu schlechteren Entscheidungen als moderate Expertise.

Die Evidenz deutet stark darauf hin, dass die Beziehung zwischen Anstrengung (bzw. den sie beeinflussenden Faktoren wie Schwierigkeit, Erregung, Motivation) und Leistung fundamental nicht-linear ist, insbesondere wenn die Anforderungen hoch sind oder über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden müssen. Die häufig beobachtete invertierte U-Form<sup>33</sup> legt ein allgemeines Prinzip nahe: Kognitive Systeme operieren in optimalen Bereichen. Eine Abweichung von diesem Optimum – sei es durch zu geringe oder zu hohe Anstrengung, Anforderung oder Erregung – führt zu Leistungseinbußen. Lineare Zusammenhänge, die in manchen Studien berichtet werden, könnten lediglich einen Ausschnitt dieser umfassenderen nicht-linearen Funktion darstellen. Dies impliziert, dass einfache Annahmen ("mehr Anstrengung = bessere Leistung") unzureichend sind und das Verständnis des *optimalen* Anstrengungsniveaus für eine gegebene Aufgabe und Person entscheidend ist.

#### 4.3. Leistungsabfall: Überlastung, Ermüdung und "Choking"

Die nicht-lineare Beziehung manifestiert sich besonders deutlich in Phänomenen, bei denen erhöhte Anstrengung oder Anforderungen zu einer *Leistungsverschlechterung* führen.

- **Kognitive Überlastung (Cognitive Overload):**

- *Definition*: Tritt auf, wenn die Anforderungen einer Aufgabe die verfügbaren Verarbeitungskapazitäten, insbesondere des Arbeitsgedächtnisses, übersteigen.<sup>11</sup>
- *Folgen*: Führt zu einem Abfall der Leistung (Genauigkeit, Geschwindigkeit)<sup>13</sup>, Schwierigkeiten bei der Konzentration und Informationsaufnahme.<sup>60</sup> Hohe Aufgabenkomplexität ist eine häufige Ursache.<sup>9</sup> Physiologische Marker wie eine verringerte Pupillenreaktion auf Konflikte können Überlastung anzeigen.<sup>55</sup> Stress kann das Risiko einer Überlastung erhöhen, da er das Arbeitsgedächtnis beeinträchtigt.<sup>16</sup>

- **Mentale Ermüdung (Mental Fatigue):**

- *Definition*: Ein psychobiologischer Zustand, der durch anhaltende, anspruchsvolle kognitive Aktivität verursacht wird.<sup>15</sup> Gekennzeichnet durch subjektive Gefühle von Müdigkeit, Energiemangel und reduzierter Motivation.<sup>30</sup> Abzugrenzen von



Schläfrigkeit oder rein physischer Erschöpfung, obwohl Zusammenhänge bestehen.<sup>15</sup>

- *Auswirkungen:* Beeinträchtigt nachfolgende kognitive Leistungen (Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Entscheidungsfindung, Reaktionszeit)<sup>16</sup>, erhöht die Fehleranfälligkeit<sup>16</sup>, reduziert die Effizienz<sup>16</sup> und kann auch die *physische* Leistungsfähigkeit negativ beeinflussen.<sup>27</sup> Letzterer Punkt ist jedoch nicht unumstritten; einige Studien finden keinen Effekt auf nachfolgende physische Ausdauer.<sup>65</sup>
- *Mechanismen (Debatte):*
  - *Ressourcenerschöpfung (Resource Depletion):* Die klassische Sichtweise postuliert, dass anstrengende kognitive Kontrolle auf begrenzte Ressourcen (z.B. Glukose, Neurotransmitter, neuronale Konnektivität) zurückgreift, die sich bei längerer Nutzung erschöpfen.<sup>15</sup> Kritikpunkte sind der Mangel an eindeutigen biologischen Substraten für die "Ressource" und die Schwierigkeit, motivationale Einflüsse zu erklären.<sup>6</sup> Neuere Ansätze schlagen eine Abschwächung der neuronalen Netzwerkkonnektivität als "Ressource" vor.<sup>87</sup>
  - *Motivationale Verschiebung / Kostenakkumulation:* Eine alternative Sichtweise betrachtet Ermüdung als subjektives Signal oder Gefühl, das anzeigt, dass die fortgesetzte Aktivität die anfallenden Kosten (Anstrengung) nicht mehr wert ist.<sup>30</sup> Die wahrgenommene Anstrengung steigt, was zu einer Reduzierung der Motivation und schließlich zum Disengagement führt. Dies passt zu Kosten-Nutzen-Modellen.
  - *Unterlastungs-Theorie (Underload Theory):* Ermüdung bei einfachen, repetitiven Aufgaben wird auf Langeweile, negativen Affekt und reduziertes Engagement zurückgeführt.<sup>30</sup> Weniger relevant für hoch anspruchsvolle Aufgaben.
  - *Neuronale Abfallentsorgung (Neural Waste Disposal):* Ansammlung von Stoffwechselprodukten im Gehirn.<sup>30</sup>
- *Neuronale Korrelate:* Veränderte Aktivität in präfrontalen Regionen (insb. ACC), DMN und SN.<sup>14</sup> Zunahme frontaler Theta-Oszillationen im EEG.<sup>60</sup>
- **"Choking under Pressure" (Versagen unter Druck):**
  - *Definition:* Suboptimale Leistung in einer Drucksituation trotz vorhandener Fähigkeiten und Motivation, gute Leistung zu erbringen.<sup>80</sup> Abzugrenzen von Panik (irrationaler Denken), "Yips" (fokale Dystonie) oder Leistungstiefs (längere Perioden schlechter Leistung).<sup>80</sup> Druckquellen sind z.B. Bewertung durch andere, Belohnungen/Bestrafungen, Wettbewerb, Zeitdruck.<sup>91</sup>
  - *Mechanismen (Debatte):*
    - *Distraktions-Theorien (Distraction Theories):* Druck lenkt die Aufmerksamkeit auf aufgabenirrelevante Reize (z.B. Sorgen über Konsequenzen, Lärm), wodurch kognitive Ressourcen (insbesondere Arbeitsgedächtnis) von der eigentlichen Aufgabe abgezogen werden.<sup>81</sup> Besonders schädlich für Aufgaben, die stark vom Arbeitsgedächtnis und von Aufmerksamkeitskontrolle abhängen.<sup>81</sup> Neuroimaging-Befunde stützen die Beteiligung von Motivations- und Aufmerksamkeitsnetzwerken.<sup>81</sup>
    - *Explizite Überwachungs- / Selbstfokus-Theorien (Explicit Monitoring / Self-Focus Theories):* Druck erhöht das Selbstbewusstsein und führt dazu, dass Personen versuchen, normalerweise automatisch ablaufende, prozeduralisierte

Fähigkeiten bewusst zu überwachen und zu kontrollieren. Dies stört den flüssigen Ablauf der Fertigkeit.<sup>80</sup> Es kommt zu einem "Reinvestment" expliziten Wissens.<sup>92</sup> Besonders schädlich für gut gelernte motorische Fertigkeiten oder Aufgaben, die auf implizitem/prozeduralem Wissen basieren.<sup>93</sup>

- *Übererregungs-Theorien (Over-Arousal Theories)*: Exzessive physiologische Erregung, induziert durch Druck, stört die Leistung, oft im Sinne des YDL.<sup>80</sup>
- *Interaktion der Mechanismen*: Distraction und explizite Überwachung können gleichzeitig auftreten.<sup>81</sup> Welcher Mechanismus dominiert, hängt vermutlich von der Art der Aufgabe (kognitiv vs. motorisch), dem Fähigkeitsniveau des Ausführenden<sup>81</sup> und der Art des Drucks ab (z.B. Ergebnisdruck vs. Beobachtungsdruck<sup>94</sup>).

Obwohl Überlastung, Ermüdung und Choking unterschiedliche Ursachen und Verläufe haben, weisen sie eine gemeinsame Schnittmenge auf: die Störung kognitiver Kontroll- und Aufmerksamkeitsprozesse. Überlastung strapaziert direkt die Kontrollkapazität.<sup>11</sup> Ermüdung kann die *Fähigkeit* oder die *Bereitschaft* zur Kontrollausübung reduzieren.<sup>15</sup> Choking beinhaltet eine *Fehlleitung* der Aufmerksamkeit und Kontrolle – entweder wird sie von der Aufgabe *abgelenkt* oder *falsch angewendet* (explizite Überwachung).<sup>81</sup> Dies unterstreicht die zentrale Rolle von Aufmerksamkeits- und Kontrollmechanismen für die Aufrechterhaltung der Leistung unter anspruchsvollen Bedingungen und legt nahe, dass Interventionen zur Vermeidung von Leistungsabfall spezifisch am jeweiligen Mechanismus ansetzen müssen.

## V. Moderierende Faktoren der Anstrengungs-Leistungs-Beziehung

Die Beziehung zwischen kognitiver Anstrengung und Leistung ist nicht fix, sondern wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Diese Moderatoren bestimmen, wie effektiv investierte Anstrengung in Leistung umgesetzt wird und wo die optimalen Anstrengungsniveaus liegen. Sie lassen sich grob in Aufgabenmerkmale, individuelle Unterschiede und Kontextfaktoren unterteilen.

### 5.1. Aufgabenmerkmale

- **Aufgabenkomplexität/-schwierigkeit:**

- *Definition und Messung*: Komplexität kann objektiv definiert werden durch Merkmale wie die Anzahl der Elemente, ihre Interaktionen, die Anzahl der Schritte oder das Ausmaß an Unsicherheit.<sup>9</sup> Die subjektive Wahrnehmung der Schwierigkeit ist ebenfalls entscheidend.<sup>9</sup>
- *Auswirkungen*: Generell erfordert höhere Komplexität mehr Anstrengung<sup>12</sup> und führt oft zu schlechterer Leistung (geringere Genauigkeit, längere Bearbeitungszeit, geringere funktionale Angemessenheit)<sup>9</sup>, insbesondere jenseits eines optimalen Punktes (invertierte U-Kurve<sup>55</sup>). Komplexität erhöht die kognitive Belastung.<sup>12</sup> Allerdings kann Komplexität unter bestimmten Umständen auch positive Effekte haben, z.B. die Motivation bei repetitiven Aufgaben steigern<sup>9</sup> oder tiefere Verarbeitung und Lernprozesse (germane Last) fördern, wenn sie angemessen gestaltet ist.<sup>12</sup> Die Richtung des Zusammenhangs zwischen Komplexität und Leistung ist daher nicht eindeutig und wird in der Literatur unterschiedlich berichtet (negativ, positiv, nicht-linear).<sup>9</sup> Ältere Erwachsene sind oft stärker von Aufgabenkomplexität betroffen.<sup>58</sup>
- *Interaktionen*: Die Effekte der Komplexität hängen stark von der Expertise<sup>12</sup>, der Selbstwirksamkeit<sup>37</sup> und den verfügbaren Ressourcen der Person ab.

- **Aufgabentyp:**

- *Ressourcenlimitiert vs. Datenlimitiert*: Anstrengung verbessert die Leistung primär bei ressourcenlimitierten Aufgaben, bei denen mehr Ressourceneinsatz zu besseren Ergebnissen führen kann.<sup>6</sup>
- *Kognitive Domäne*: Die Anstrengungs-Leistungs-Beziehung kann sich unterscheiden, je nachdem, ob eine Aufgabe primär das Arbeitsgedächtnis<sup>5</sup>, die Daueraufmerksamkeit<sup>68</sup> oder motorische Fertigkeiten<sup>80</sup> beansprucht. Auch die Mechanismen des Leistungsversagens (z.B. Choking) sind aufgabentypspezifisch.<sup>94</sup>
- *Neuheit vs. Übung*: Mit zunehmender Übung und Automatisierung sinkt der Anstrengungsbedarf für eine Aufgabe.<sup>6</sup> Neue Aufgaben erfordern mehr bewusste, anstrengende Verarbeitung.<sup>41</sup>
- **Aufgabendauer**: Längere Bearbeitungszeiten führen typischerweise zu Ermüdung und damit zu Leistungsabfall und/oder erhöhter wahrgenommener Anstrengung.<sup>6</sup> Die genaue Dauer, die nötig ist, um signifikante Ermüdungseffekte (insbesondere auf nachfolgende physische Leistung) hervorzurufen, ist jedoch Gegenstand von Diskussionen.<sup>28</sup>

## 5.2. Individuelle Unterschiede

### ● **Motivation und Ziele:**

- *Potenzielle Motivation (MIT)*: Die wahrgenommene Wichtigkeit oder der Wert eines Ziels bestimmt die maximale Anstrengung, die eine Person zu investieren bereit ist (Potenzielle Motivation). Dies setzt die Obergrenze für die Anstrengung, die bei steigender Schwierigkeit mobilisiert wird.<sup>33</sup>
- *Intrinsische Motivation/Interesse*: Hohes Interesse an einer Aufgabe kann die Bereitschaft zur Anstrengung erhöhen und gleichzeitig das Gefühl der Ermüdung reduzieren.<sup>40</sup> Interessierte Personen wählen eher anspruchsvollere Aufgaben, auch ohne externe Belohnung.<sup>40</sup> Anstrengung selbst kann durch Lernerfahrungen (Belohnung von Anstrengung) einen intrinsischen Wert erhalten.<sup>1</sup>
- *Need for Cognition (NFC)*: Personen mit hohem NFC neigen dazu, kognitive Anstrengung zu genießen und suchen aktiv nach anspruchsvollen Aufgaben.<sup>41</sup> NFC korreliert positiv mit der Leistung bei komplexen kognitiven Aufgaben.<sup>6</sup> Dieser Zusammenhang könnte durch höhere aufgabenspezifische Selbstwirksamkeit vermittelt sein.<sup>67</sup> Die Stärke des Zusammenhangs zwischen NFC und Anstrengung könnte jedoch von der allgemeinen Selbstwirksamkeit moderiert werden (Plastizitätshypothese<sup>99</sup>).

### ● **Kognitive Fähigkeiten/Kapazität:**

- *Arbeitsgedächtniskapazität (WMC)*: Eine höhere WMC ermöglicht generell bessere Leistungen unter kognitiver Last. Allerdings könnten Personen mit hoher WMC bei Aufgaben, die stark auf das Arbeitsgedächtnis angewiesen sind, anfälliger für "Choking under Pressure" sein.<sup>81</sup> Die Anstrengungsallokation interagiert mit der Kapazität; Personen können Anstrengung auch über ihre Kapazitätsgrenze hinaus investieren (was aber nicht zu besserer Leistung führt).<sup>61</sup> Personen mit höherer Kapazität zeigen möglicherweise eine effizientere neuronale Aktivierung (geringere Aktivität für gleiche Leistung) in bestimmten Netzwerken (z.B. Salience Network).<sup>62</sup> Die Fähigkeit beeinflusst auch die Wahl des Anstrengungsniveaus.<sup>17</sup> Athleten scheinen im Durchschnitt eine leicht höhere WMC als Nicht-Athleten zu haben.<sup>100</sup>

- *Allgemeine Fähigkeit/Expertise*: Höhere Fähigkeit oder Expertise reduziert die für eine bestimmte Aufgabe benötigte Anstrengung<sup>12</sup> und beeinflusst die Wahl der Strategien.<sup>101</sup> Experten greifen stärker auf automatisierte Prozesse zurück.<sup>7</sup>
- **Alter:**
  - *Anstrengungskosten*: Kognitive Aktivität wird im Alter generell als anstrengender und kostspieliger empfunden. Ältere Erwachsene müssen oft mehr Anstrengung aufwenden, um das gleiche Leistungsniveau wie jüngere Erwachsene zu erreichen.<sup>57</sup>
  - *Anstrengungsallokation*: Ältere Erwachsene zeigen oft eine höhere physiologische Anstrengungsreaktion (z.B. SBP) bei niedriger bis moderater Schwierigkeit, neigen aber dazu, bei sehr hoher Schwierigkeit früher zu disengagieren (Anstrengung zurückzuziehen).<sup>57</sup> Ihre Anstrengungsbereitschaft hängt stärker von der wahrgenommenen Wichtigkeit der Aufgabe ab.<sup>57</sup> Sie verfolgen möglicherweise vorsichtiger Strategien (z.B. langsamer, aber genauer in SART-Aufgaben<sup>68</sup>).
  - *Motivation in Studien*: Es gibt Hinweise, dass ältere Studienteilnehmer oft höher motiviert sind, gute Leistungen zu zeigen, als jüngere (studentische) Teilnehmer, was die Interpretation von Altersvergleichen beeinflussen kann.<sup>102</sup>
- **Ermüdungszustand**: Vorbestehende mentale oder physische Ermüdung reduziert die Kapazität und die Bereitschaft, weitere Anstrengung zu investieren, und beeinträchtigt somit die Leistung bei nachfolgenden Aufgaben.<sup>6</sup>
- **Selbstwirksamkeit (Self-Efficacy)**:
  - *Definition*: Die Überzeugung einer Person, fähig zu sein, eine bestimmte Aufgabe erfolgreich auszuführen.<sup>35</sup>
  - *Beziehung zur Leistung*: Generell positiv, aber komplex. Meta-analytische Evidenz deutet darauf hin, dass vergangene Leistung ein stärkerer Prädiktor für Selbstwirksamkeit ist als umgekehrt. Der Einfluss von Selbstwirksamkeit auf zukünftige Leistung ist schwächer und kontextabhängig.<sup>103</sup> Hohe Selbstwirksamkeit kann zu höheren Zielen und größerer Persistenz führen<sup>67</sup>, aber gemäß Kontrolltheorien auch zu geringerer Anstrengung, wenn Erfolg als sicher erscheint.<sup>103</sup>
  - *Beziehung zur Anstrengung*: Hohe Selbstwirksamkeit ist oft mit einer größeren Bereitschaft zur Anstrengung verbunden, insbesondere bei Schwierigkeiten.<sup>67</sup> Sie beeinflusst die Wahl von Bewältigungsstrategien.<sup>101</sup> Aufgabenspezifische Selbstwirksamkeit könnte den Zusammenhang zwischen NFC und Leistung vermitteln.<sup>67</sup> Allgemeine Selbstwirksamkeit könnte den Zusammenhang zwischen NFC und Anstrengung moderieren (abschwächen).<sup>99</sup> Die EVC-Theorie berücksichtigt die wahrgenommene Kontroll- und Leistungswirksamkeit als Faktoren der Anstrengungsentscheidung.<sup>35</sup>

### 5.3. Kontextfaktoren

- **Stress:**
  - *Akuter Stress*: Kann Leistung je nach Aufgabe und Person verbessern oder verschlechtern (vgl. YDL<sup>77</sup>). Kann die Vermeidung von kognitiver und physischer Anstrengung erhöhen.<sup>63</sup> Beeinträchtigt möglicherweise prosoziale Anstrengung stärker als eigennützige Anstrengung.<sup>63</sup> Führt zu physiologischen (z.B.

Cortisolanstieg) und neuronalen Veränderungen (z.B. erhöhte Aktivität im ECN unter Bedrohung <sup>14</sup>).

- *Chronischer Stress*: Zeigt möglicherweise eine invertierte U-Beziehung zur Motivation, Anstrengung für Belohnungen zu investieren.<sup>43</sup>

- **Anreize/Belohnungen:**

- *Leistungseffekte*: Externe Belohnungen (monetär oder nicht-monetär) wirken generell leistungssteigernd, vermutlich durch erhöhte Motivation und Anstrengung.<sup>38</sup> Dieser Effekt kann auch bei Personen mit hoher intrinsischer Motivation auftreten.<sup>74</sup> Nicht-monetäre Belohnungen könnten bei Arbeitsgedächtnisaufgaben effektiver sein als monetäre, möglicherweise weil sie die intrinsische Motivation weniger untergraben.<sup>70</sup>
- *Effekte auf Anstrengungsbewertung*: Belohnungen können den wahrgenommenen Wert anstrengender Aufgaben erhöhen.<sup>41</sup> Die Belohnung von Anstrengung selbst kann deren intrinsischen Wert steigern.<sup>1</sup> Effort Discounting ist sensitiv gegenüber der Belohnungshöhe (größere Belohnungen werden weniger stark abgewertet).<sup>18</sup>
- *Potenzielle negative Effekte*: Sehr hohe Anreize können Druck erzeugen und zu Leistungsabfall führen ("Choking").<sup>20</sup> Monetäre Belohnungen können intrinsische Motivation reduzieren.<sup>70</sup>

- **Feedback**: Leistungsrückmeldungen können die motivierenden Effekte von Druck oder Anreizen verstärken.<sup>73</sup>

- **Sozialer Kontext**: Die Anwesenheit anderer (insbesondere bei Bewertung oder Wettbewerb) kann den empfundenen Druck erhöhen.<sup>92</sup> Umgekehrt kann in Gruppenkontexten auch "soziales Faulenzen" (Social Loafing) auftreten, d.h. eine Reduktion der individuellen Anstrengung bei kognitiven Aufgaben.<sup>39</sup>

Die Vielzahl und Vielfalt der identifizierten Moderatoren unterstreicht die hohe Plastizität und Kontextabhängigkeit der Anstrengungs-Leistungs-Beziehung. Faktoren wie Motivation <sup>33</sup>, wahrgenommene Fähigkeiten <sup>67</sup>, altersbedingte Kosten <sup>57</sup>, Stresslevel <sup>43</sup> und das Aufgabendesign <sup>12</sup> formen dynamisch, wie sich investierte Anstrengung in Leistung niederschlägt (oder eben nicht). Diese Formbarkeit erklärt viele scheinbare Widersprüche in der Literatur und macht deutlich, dass eine Vorhersage der Leistung allein aufgrund der Anstrengung (oder umgekehrt) unzuverlässig ist, ohne diese moderierenden Einflüsse zu berücksichtigen.

Darüber hinaus interagieren individuelle Unterschiede kritisch mit den Aufgabenanforderungen. Beispielsweise unterscheidet sich die Anstrengungsallokation älterer und jüngerer Erwachsener je nach Aufgabenschwierigkeit.<sup>57</sup> Personen mit hoher Arbeitsgedächtniskapazität versagen unter Druck eher bei Arbeitsgedächtnis-lastigen Aufgaben.<sup>81</sup> Selbstwirksamkeit beeinflusst Strategiewahl und Persistenz unterschiedlich je nach Aufgabenkomplexität.<sup>101</sup> Der Effekt der Aufgabenkomplexität hängt von der Expertise <sup>12</sup> und den Selbstwirksamkeitsüberzeugungen <sup>37</sup> ab. Der Zusammenhang zwischen Need for Cognition und Anstrengung wird möglicherweise durch die allgemeine Selbstwirksamkeit moderiert.<sup>99</sup> Dies unterstreicht die Notwendigkeit personenzentrierter Ansätze: Ein "One-size-fits-all"-Modell der Anstrengung und Leistung ist unzureichend; der Effekt von Anstrengung hängt entscheidend von der Passung zwischen Person (Fähigkeiten, Eigenschaften, Zustand) und Aufgabe ab.

#### 5.4. Tabelle: Schlüsselmoderatoren der Anstrengungs-Leistungs-Beziehung

Kategorie	Moderator	Richtung/Art der Moderation	Kernbefunde/ Mechanismen	Repräsentative Zitate
<b>Aufgabenmerkmale</b>	Komplexität/ Schwierigkeit	Erhöht Anstrengungsbedarf; oft negativer Effekt auf Leistung jenseits Optimums (Invertierte U-Kurve); Interaktion mit Expertise/Fähigkeit.	Höhere kognitive Last; kann Motivation/Lernen aber auch fördern.	9
	Aufgabentyp	Effekt von Anstrengung stärker bei ressourcenlimitierten Aufgaben; domänenspezifische Effekte (WM vs. Aufmerksamkeit etc.); Choking-Mechanismen variieren.	Beanspruchung unterschiedlicher kognitiver Systeme.	6
	Aufgabendauer	Längere Dauer führt zu Ermüdung, erhöht wahrgenommene Anstrengung, verschlechtert Leistung.	Ressourcenerschöpfung oder motivationale Verschiebung.	15
<b>Individuelle Unterschiede</b>	Motivation (Potenzielle M., Intrinsische	Höhere Motivation erlaubt/fördert Anstrengung	Setzt Obergrenze für gerechtfertigte Anstrengung	33

	M., Interesse, NFC)	bei höherer Schwierigkeit; Interesse kann Anstrengung angenehmer machen, Ermüdung reduzieren.	(MIT); verändert Kosten-Nutzen-Bewertung; NFC assoziiert mit Freude an Anstrengung.	
	Kognitive Fähigkeit (WMC, Expertise)	Höhere Fähigkeit reduziert Anstrengungsbedarf für gleiche Leistung; beeinflusst Strategiewahl; Interaktion mit Druckeffekten (Choking).	Effizientere Verarbeitung; Automatisierung.	12
	Alter	Ältere benötigen mehr Anstrengung; höhere Kosten; früheres Disengagement bei hoher Schwierigkeit; stärkere Abhängigkeit von Motivation.	Kognitive Effizienz sinkt; Ressourcenbegrenzung; strategische Anpassung.	57
	Ermüdung	Vorhandene Ermüdung reduziert Bereitschaft/Fähigkeit zu weiterer Anstrengung; verschlechtert Leistung.	Reduzierte Ressourcen/Kapazität oder Motivation.	15
	Selbstwirksamkeit (Self-Efficacy)	Meist positiv mit Anstrengungsbereitschaft und	Überzeugung eigener Fähigkeiten beeinflusst	35

		Leistung assoziiert; vermittelt/moderiert andere Zusammenhänge (z.B. NFC); beeinflusst Zielsetzung, Persistenz, Strategiewahl.	Motivation und Umgang mit Herausforderungen.	
<b>Kontextfaktoren</b>	Stress (akut, chronisch)	Akut: kann Leistung je nach Aufgabe/Person verbessern/verschlechtern (YDL); erhöht Anstrengungsvermeidung. Chronisch: Invertierte U-Beziehung zur Anstrengungsmotivation.	Physiologische/neuronale Veränderungen; Beeinflussung von Aufmerksamkeit und Bewertungsprozessen.	14
	Anreize/Belohnungen	Erhöhen meist Anstrengung und Leistung; können Anstrengung wertvoller machen; sehr hohe Anreize können zu Choking führen; können intrinsische Motivation untergraben.	Verändern Kosten-Nutzen-Kalkulation; erhöhen Motivation; erzeugen Druck.	1
	Feedback	Kann motivierende Effekte von Druck/Anreizen verstärken.	Erhöht Salienz von Leistung und Zielen.	73



	Sozialer Kontext	Anwesenheit anderer kann Druck erhöhen (Bewertung, Wettbewerb) oder Anstrengung reduzieren (Social Loafing).	Beeinflusst Motivation, Selbstaufmerksamkeit, Verantwortungsdiffusion.	39
--	------------------	--	--	----

## VI. Theoretische Modelle und Erklärungsansätze

Um den komplexen Zusammenhang zwischen kognitiver Anstrengung und Leistung zu erklären, wurden verschiedene theoretische Modelle entwickelt. Diese Modelle unterscheiden sich in ihren Grundannahmen, ihrem Fokus und ihren Vorhersagen.

### 6.1. Ressourcen- / Kapazitätsmodelle

- **Kernidee:** Diese Modelle gehen davon aus, dass kognitive Prozesse auf einer begrenzten Menge an mentalen Ressourcen (z.B. Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtniskapazität, mentale Energie) basieren.<sup>6</sup> Kognitive Anstrengung wird als der Prozess der Zuweisung dieser limitierten Ressourcen zu einer Aufgabe verstanden. Die Leistung hängt davon ab, wie viele Ressourcen verfügbar sind und wie effizient sie zugewiesen werden.
- **Annahmen:** Die zentralen Annahmen sind die Begrenztheit der Ressourcen und ihre potenzielle Erschöpfbarkeit bei anhaltender Nutzung, was zu Ermüdung und Leistungsabfall führt.<sup>15</sup> Aufgaben konkurrieren um dieselben Ressourcen, was Interferenz bei Doppelaufgaben erklärt.<sup>71</sup>
- **Vorhersagen:** Die Leistung sollte mit zunehmender Ressourcenzuweisung (Anstrengung) steigen, bis die Kapazitätsgrenze erreicht ist. Werden die Anforderungen zu hoch (Überlastung) oder sind die Ressourcen erschöpft (Ermüdung), sinkt die Leistung.
- **Stärken und Schwächen:** Diese Modelle sind intuitiv verständlich und erklären grundlegende Phänomene wie Kapazitätsgrenzen und Ermüdungseffekte. Ein Hauptkritikpunkt ist jedoch die oft vage Definition der "Ressource".<sup>15</sup> Einfache biologische Korrelate wie Blutzucker konnten nicht überzeugend als die limitierende Ressource identifiziert werden.<sup>29</sup> Zudem fällt es reinen Ressourcenmodellen schwer zu erklären, warum Anstrengung manchmal freiwillig gesucht wird oder wie Motivation Ermüdungseffekte beeinflussen kann.<sup>6</sup> Neuere Ansätze versuchen, die Ressource spezifischer zu fassen, z.B. als die Konnektivität neuronaler Netzwerke, die durch intensive Nutzung geschwächt werden kann.<sup>87</sup>

### 6.2. Motivation Intensity Theory (MIT)

- **Kernidee:** Entwickelt von Jack Brehm, fokussiert diese Theorie auf die Determinanten der *momentanen* Anstrengungsintensität.<sup>33</sup> Sie basiert auf dem Prinzip der Ressourcenschonung: Anstrengung wird nur in dem Maße mobilisiert, wie sie (1) notwendig ist, um ein Ziel zu erreichen, und (2) durch den erwarteten Nutzen gerechtfertigt ist.<sup>56</sup>

- **Annahmen:** Die entscheidende Determinante für die notwendige Anstrengung ist die *wahrgenommene Schwierigkeit* der Aufgabe. Die Rechtfertigung der Anstrengung wird durch die *potenzielle Motivation* bestimmt – das Maximum an Anstrengung, das eine Person aufgrund der Wichtigkeit oder des Werts des Ziels zu investieren bereit ist.<sup>33</sup> Anstrengung wird proportional zur wahrgenommenen Schwierigkeit mobilisiert, aber nur solange Erfolg als möglich *und* die notwendige Anstrengung als gerechtfertigt (d.h. nicht höher als die potenzielle Motivation) angesehen wird.<sup>33</sup> Ist eine dieser Bedingungen nicht erfüllt (Aufgabe zu schwierig/unmöglich oder Anstrengung übersteigt den Nutzen), wird die Anstrengung zurückgezogen (Disengagement).<sup>33</sup> Die Wichtigkeit des Ziels beeinflusst die Anstrengung also nicht direkt, sondern nur indirekt über die Festlegung der Obergrenze (potenzielle Motivation).<sup>33</sup>
- **Vorhersagen:** Die Theorie sagt eine spezifische nicht-lineare Beziehung zwischen wahrgenommener Schwierigkeit und Anstrengungsintensität voraus: Anstrengung steigt zunächst mit der Schwierigkeit an und fällt dann bei zu hoher Schwierigkeit oder zu geringer potenzieller Motivation abrupt ab.<sup>33</sup> Wenn die Schwierigkeit unbekannt ist, sollte die Anstrengung proportional zur potenziellen Motivation (Zielwichtigkeit) sein.<sup>56</sup> Diese Vorhersagen wurden oft mithilfe kardiovaskulärer Maße (insbesondere SBP-Reaktivität) gestützt.<sup>33</sup>
- **Stärken und Schwächen:** MIT bietet präzise, testbare Vorhersagen über die Anstrengungsallokation in Abhängigkeit von Schwierigkeit und Motivation und erklärt das Phänomen des Disengagements. Der Fokus liegt jedoch primär auf der Mobilisierung von Anstrengung, weniger auf dem subjektiven Erleben oder Langzeiteffekten wie Ermüdung.

### 6.3. Expected Value of Control (EVC) Theory

- **Kernidee:** Dieses von Shenhav, Botvinick, Cohen und Kollegen entwickelte Modell betrachtet die Allokation kognitiver Kontrolle (und damit Anstrengung) als Ergebnis einer Kosten-Nutzen-Analyse.<sup>23</sup> Das Ziel ist die Maximierung des erwarteten Werts der Kontrolle (Expected Value of Control, EVC).
- **Annahmen:** Die Ausübung kognitiver Kontrolle wird als inhärent kostspielig angesehen (entspricht kognitiver Anstrengung).<sup>23</sup> Die Entscheidung, wie viel Kontrolle (Anstrengung) investiert wird, basiert auf der Integration von drei Faktoren: (1) dem erwarteten Nutzen (Payoff) einer kontrollierten Handlung, (2) der erwarteten Intensität der Kontrolle, die zur Erzielung dieses Nutzens notwendig ist, und (3) den damit verbundenen Anstrengungskosten.<sup>23</sup> Dem dorsalen anterioren Cingulären Cortex (dACC) wird eine zentrale Rolle bei der Integration dieser Informationen und der Steuerung der Kontrollallokation zugeschrieben.<sup>23</sup>
- **Vorhersagen:** Anstrengung wird investiert, wenn der EVC hoch ist. Das Modell kann erklären, warum Menschen manchmal leichtere Aufgaben wählen (hohe Kosten der schweren Aufgabe senken den EVC) oder sich für anspruchsvollere Aufgaben entscheiden (wenn der erwartete Nutzen die Kosten überwiegt). Es kann flexibel erklären, wie Belohnungen, Schwierigkeit und Kosten die Motivation und Kontrollausübung beeinflussen. Erweiterungen wie die Learning EVC (LEVC) Theorie berücksichtigen auch den zukünftigen Wert des Lernens durch Anstrengung.<sup>106</sup> Das Modell lässt sich auch auf die Kontrolle habituellder Handlungen anwenden<sup>105</sup> und mit individuellen Unterschieden in der wahrgenommenen Wirksamkeit (Selbstwirksamkeit) verknüpfen.<sup>35</sup>
- **Stärken und Schwächen:** Bietet einen normativen Rahmen, der Kosten, Nutzen und Kontrollmechanismen integriert. Hat eine starke neurobiologische Fundierung (dACC-

Funktion). Erklärt flexible Anstrengungsallokation. Eine Herausforderung bleibt die präzise Definition und Messung der "Kosten" der Kontrolle. Frühe Versionen vernachlässigten den Lernwert, was durch LEVC adressiert wurde.<sup>106</sup>

#### 6.4. Cognitive Load Theory (CLT)

- **Kernidee:** CLT stammt aus der pädagogischen Psychologie und fokussiert auf die Gestaltung von Lernumgebungen, um die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses optimal zu nutzen.<sup>7</sup>
- **Annahmen:** Das Arbeitsgedächtnis hat eine limitierte Kapazität für die Verarbeitung neuer Informationen.<sup>11</sup> Lernen beinhaltet den Aufbau von Schemata im Langzeitgedächtnis, die dann die Arbeitsgedächtnisbelastung reduzieren.<sup>11</sup> Die kognitive Gesamtbelastung setzt sich aus drei Komponenten zusammen: (1) *Intrinsische Belastung*: bedingt durch die Komplexität des Lernmaterials selbst (Anzahl interagierender Elemente). (2) *Extrinsische Belastung*: verursacht durch suboptimales Instruktionsdesign (z.B. unnötige Informationen, schlechte Darstellung). (3) *Germane Belastung*: resultiert aus kognitiven Prozessen, die direkt dem Verstehen und Schemabau dienen (produktive Anstrengung).<sup>11</sup> Die Summe aus intrinsischer und extrinsischer Belastung sollte die Arbeitsgedächtniskapazität nicht übersteigen, um Ressourcen für die germane Belastung freizuhalten.
- **Vorhersagen:** Instruktionsdesigns, die extrinsische Belastung minimieren und intrinsische Belastung managen (z.B. durch Zerlegen komplexer Inhalte), fördern das Lernen. Strategien, die germane Belastung anregen (z.B. Selbst-Erklärungen, elaboratives Fragen), verbessern das Verständnis.<sup>11</sup> Der Expertise-Reversal-Effekt besagt, dass optimale Instruktionen vom Vorwissen des Lernenden abhängen.<sup>12</sup>
- **Stärken und Schwächen:** Bietet konkrete, empirisch gestützte Richtlinien für die Gestaltung von Lernmaterialien und -umgebungen. Weit verbreitet in der Bildungsforschung und -praxis. Der Fokus liegt jedoch primär auf Lernkontexten; motivationale Aspekte und momentane Anstrengungsschwankungen außerhalb von Instruktionssituationen werden weniger betont. Die operationale Trennung der drei Belastungsarten kann schwierig sein.

#### 6.5. Effort Discounting Modelle

- **Kernidee:** Diese Modelle aus der Verhaltensökonomie und Neuroökonomie betrachten Anstrengung als Kostenfaktor, der den subjektiven Wert von zukünftigen oder unsicheren Belohnungen mindert, analog zur Zeit- oder Wahrscheinlichkeitsdiskontierung.<sup>6</sup>
- **Annahmen:** Der subjektive Wert einer Belohnung sinkt mit steigender erforderlicher Anstrengung. Dieser Abwertungsprozess kann durch mathematische Funktionen beschrieben werden (z.B. hyperbolisch, exponentiell, parabolisch, Potenzfunktion).<sup>18</sup>
- **Vorhersagen:** Individuen wählen die Option, die nach Abzug der Anstrengungskosten den höchsten subjektiven Wert aufweist. Dies erklärt die häufige Präferenz für weniger anstrengende Optionen. Es gibt interindividuelle Unterschiede in der Stärke der Abwertung (Diskontierungsrate), die mit Persönlichkeitsmerkmalen (z.B. NFC<sup>41</sup>) und klinischen Zuständen (z.B. Apathie, Depression<sup>18</sup>) zusammenhängen können. Ähnlich wie bei der Zeitdiskontierung gibt es Magnitude-Effekte: Größere Belohnungen werden tendenziell weniger stark durch Anstrengung abgewertet.<sup>18</sup> Die Modelle sind sowohl auf physische als auch auf kognitive Anstrengung anwendbar.<sup>18</sup>

- **Stärken und Schwächen:** Bieten einen quantitativen Rahmen zur Messung subjektiver Anstrengungskosten. Stellen eine Verbindung zur allgemeinen Entscheidungstheorie her. Die genaue mathematische Form der Abwertungsfunktion ist noch Gegenstand der Forschung; einige Studien deuten darauf hin, dass konkave Funktionen (z.B. Potenzfunktion) die Daten besser beschreiben als die hyperbolische Funktion, die bei der Zeitdiskontierung oft favorisiert wird.<sup>18</sup> Die Modelle beschreiben das Phänomen der Abwertung, erklären aber nicht vollständig, *warum* Anstrengung als kostspielig empfunden wird.

## 6.6. Theorien zu Ermüdung und Choking

Wie in Abschnitt 4.3 detailliert beschrieben, gibt es spezifische Theorien, die sich auf Mechanismen des Leistungsabfalls konzentrieren, wie Ressourcenerschöpfungs- vs. motivationale Modelle der Ermüdung und Distraktions- vs. explizite Überwachungstheorien des Choking.

Die Koexistenz dieser unterschiedlichen theoretischen Ansätze spiegelt die Vielschichtigkeit des Phänomens wider. Kein einzelnes Modell kann derzeit alle Aspekte der Anstrengungs-Leistungs-Beziehung umfassend erklären. Ressourcenmodelle betonen die Kapazitätsgrenzen, MIT die motivationalen Schwellenwerte, EVC und Discounting-Modelle die Kosten-Nutzen-Kalkulation, und CLT den spezifischen Kontext des Lernens. Sie bieten eher komplementäre als konkurrierende Perspektiven. EVC liefert beispielsweise einen Rahmen für die *Entscheidung* zur Ressourcenallokation, während Ressourcenmodelle die *Grenzen* dieser Ressourcen beschreiben. Ein umfassendes Verständnis erfordert daher wahrscheinlich eine Integration von Einsichten aus mehreren Theorien. Zukünftige Forschung sollte darauf abzielen, diese Modelle stärker zu integrieren und ihre jeweiligen Geltungsbereiche und Interaktionen genauer zu definieren.

## 6.7. Tabelle: Vergleich der wichtigsten theoretischen Modelle

Theorie	Kernkonzept	Schlüsse annahmen	Hauptvorhersagen (Anstrengungs-Leistung)	Stärken	Schwächen	Schlüsse litate
<b>Ressourcen-/Kapazitätsmodelle</b>	Kognition basiert auf limitierten, erschöpfbaren Ressourcen (Aufmerksamkeit, WM, Energie).	Ressourcen sind endlich; Nutzung führt zu Erschöpfung (Ermüdung); Aufgaben konkurrieren um	Leistung steigt mit Anstrengung bis Kapazitätsgrenze; Überlastung/Ermüdung führt zu Leistungsabfall.	Intuitiv; erklärt Kapazitätsgrenzen, Ermüdung, Interferenzen.	Vage Definition der "Ressource"; erklärt schwer Motivationaleffekte & Wert von	6

	Anstrengung = Ressourcenzuweisung.	Ressourcen.			Anstrengung.	
<b>Motivation Intensity Theory (MIT)</b>	Momentane Anstrengung wird durch wahrgenommene Schwierigkeit & potenzielle Motivation (Zielwert) bestimmt; basiert auf Ressourcenschonung.	Anstrengung ~ Schwierigkeit, <i>wenn</i> Erfolg möglich & gerechtfertigt; sonst Disengagement; Zielwert setzt Obergrenze (pot. Motivation).	Invertierte U-Beziehung zwischen Schwierigkeit & Anstrengung (Anstieg, dann Abfall); Anstrengung ~ Zielwert nur bei unklarer Schwierigkeit.	Präzise Vorhersagen zur Anstrengungsallokation; erklärt Disengagement; empirisch gestützt (kardiovaskulär).	Fokus auf Mobilisierung, weniger auf Erleben/Langzeiteffekte.	33
<b>Expected Value of Control (EVC) Theory</b>	Kontroll-/Anstrengungsallokation basiert auf Kosten-Nutzen-Analyse zur Maximierung des EVC (Nutzen - Kosten).	Kontrolle ist kostspielig (Anstrengung); EVC integriert erwarteten Nutzen, Kontrollintensität, Kosten; dACC zentral für Berechnung/Allokation.	Anstrengung wird investiert, wenn EVC hoch; erklärt flexible Wahl zwischen leichten/schweren Aufgaben basierend auf Belohnung/Kosten; kann Lernwert integrieren (LEVC).	Normativer Rahmen; integriert Kosten, Nutzen, Kontrolle; starke neurobiol. Basis; erklärt flexible Allokation.	Kostenmessung schwierig; frühe Modelle ohne Lernwert.	23

<b>Cognitive Load Theory (CLT)</b>	Optimierung von Instruktionen durch Management limitierter WM-Kapazität; Fokus auf Lernen.	WM limitiert; Lernen = Schemabau im LZG; 3 Load-Typen (intrinsisch, extrinsisch, german); ICL+ECL ≤ Kapazität; GCL ist produktive Anstrengung.	Leistung (Lernen) optimal, wenn ECL minimiert, ICL gemanagt & GCL gefördert wird; Expertise - Reversal-Effekt.	Konkrete Instruktionsrichtlinien; breite Anwendung in Pädagogik.	Fokus auf Lernkontexte; weniger auf Motivation/momentane Anstrengung außerhalb Instruktion.	7
<b>Effort Discounting Modelle</b>	Anstrengung ist Kostenfaktor, der subjektiven Wert von Belohnungen reduziert (analog zu Zeit-/Wahrscheinlichkeitsdiskontinuation).	Subjektiver Wert sinkt mit Anstrengung; mathematische Funktionen beschreiben Abwertung; individuelle Unterschiede in Diskontinuationsraten.	Wahlverhalten maximiert subjektiven Wert nach Abzug der Anstrengungskosten; erklärt Präferenz für geringe Anstrengung; Magnitude-Effekte.	Quantitativer Rahmen für Anstrengungskosten; Verbindung zur Entscheidungstheorie; anwendbar auf kognitive/physische Anstrengung.	Genaue Funktion unklar; erklärt nicht, <i>warum</i> Anstrengung kostspielig ist.	6

## VII. Synthese, Debatten und zukünftige Richtungen

Die umfassende Literaturrecherche offenbart ein komplexes und dynamisches Bild des Zusammenhangs zwischen kognitiver Anstrengung und Leistung. Eine einfache, lineare Beziehung existiert nur unter bestimmten Bedingungen; generell ist der Zusammenhang nicht-linear und unterliegt dem Einfluss zahlreicher moderierender Faktoren.

### 7.1. Gesamtsynthese

Die zentrale Erkenntnis ist, dass die Beziehung zwischen kognitiver Anstrengung und Leistung typischerweise einer invertierten U-Kurve folgt oder zumindest durch Kapazitätsgrenzen und Ermüdungseffekte nicht-linear wird. Mehr Anstrengung führt nur bis zu einem gewissen Punkt zu besserer Leistung; darüber hinaus kann sie zu Stagnation oder sogar zu Leistungsabfall durch Überlastung, Ermüdung oder Mechanismen wie "Choking under Pressure" führen. Dieser Zusammenhang wird maßgeblich durch Aufgabenmerkmale (Komplexität, Typ, Dauer), individuelle Unterschiede (Motivation, Fähigkeiten, Alter, Selbstwirksamkeit, Ermüdung) und Kontextfaktoren (Stress, Anreize, Feedback) moduliert.

Die Messung beider Konstrukte stellt eine Herausforderung dar. Kognitive Anstrengung wird über subjektive Ratings, eine Reihe physiologischer Indikatoren (Pupillometrie, kardiovaskuläre Maße, EEG, fMRT, fNIRS) und Verhaltensmaße (Wahlverhalten, Persistenz) operationalisiert. Kognitive Leistung wird durch Genauigkeits-, Geschwindigkeits- oder aufgabenspezifische Metriken erfasst. Jede Messmethode hat Vor- und Nachteile, und die Wahl der Operationalisierung beeinflusst die beobachteten Zusammenhänge. Eine multi-modale Erfassung erscheint am vielversprechendsten.

Zur Erklärung der Befunde existieren verschiedene theoretische Modelle.

Ressourcenmodelle betonen Kapazitätslimits, MIT fokussiert auf motivationale Schwellenwerte für Anstrengung basierend auf Schwierigkeit und Zielwert, EVC und Discounting-Modelle rahmen Anstrengung als Kosten-Nutzen-Entscheidung, und CLT konzentriert sich auf die Optimierung der kognitiven Belastung im Lernkontext. Keine Theorie erklärt das Phänomen allein umfassend, aber ihre Integration – z.B. die EVC-basierte Entscheidung zur Allokation begrenzter Ressourcen (Ressourcenmodelle) unter Berücksichtigung motivationaler Grenzen (MIT) – bietet ein reichhaltigeres Verständnis.

Die Forschung bewegt sich zunehmend weg von statischen Modellen hin zu dynamischeren, kontextsensitiven Ansätzen. Es wird immer deutlicher, dass Anstrengungsallokation ein aktiver, adaptiver Prozess ist, der von internen Zuständen, externen Faktoren, Lernerfahrungen und kontinuierlichen Bewertungen von Kosten und Nutzen abhängt.

## 7.2. Zentrale wissenschaftliche Debatten

Mehrere Kernfragen bleiben Gegenstand intensiver wissenschaftlicher Diskussion:

- **Ist Anstrengung inhärent kostspielig oder potenziell wertvoll?** Die traditionelle Sichtweise der Anstrengung als aversiver Kostenfaktor <sup>2</sup>, die durch Discounting-Befunde gestützt wird <sup>6</sup>, steht im Kontrast zu Evidenz, dass Anstrengung unter bestimmten Umständen (z.B. bei Interesse, nach Belohnung von Anstrengung) als wertvoll erlebt oder sogar aktiv gesucht wird.<sup>1</sup> Die Debatte dreht sich darum, ob der Wert in der Anstrengung selbst liegt oder in den damit assoziierten positiven Ergebnissen (z.B. Kompetenzerleben, Antizipation von Belohnung).<sup>2</sup> Diese Frage hat fundamentale Implikationen für Motivations- und Entscheidungstheorien.
- **Mechanismen der mentalen Ermüdung: Ressourcenerschöpfung vs. Motivationale Verschiebung?** Die klassische Erklärung der Ermüdung durch Erschöpfung einer limitierten Ressource <sup>15</sup> wird zunehmend kritisiert, da die "Ressource" schwer fassbar ist und motivationale Einflüsse schwer zu erklären sind.<sup>6</sup> Alternative Modelle betonen Ermüdung als subjektives Signal, das eine Neubewertung der Kosten-Nutzen-Relation anstößt und zu einer Reduktion der Motivation führt, die Anstrengung aufrechtzuerhalten.<sup>30</sup> Die Idee der Abschwächung neuronaler Netzwerkonnektivität bietet eine differenziertere Ressourcenperspektive.<sup>87</sup>
- **Mechanismen des "Choking": Distraction vs. Explizite Überwachung?** Es ist umstritten, ob Leistungsversagen unter Druck primär dadurch entsteht, dass die

Aufmerksamkeit von der Aufgabe *abgelenkt* wird (Distraktion <sup>92</sup>) oder dadurch, dass sie übermäßig und störend *auf* die Ausführung der Fertigkeit gelenkt wird (explizite Überwachung <sup>92</sup>). Die Evidenz deutet darauf hin, dass beide Mechanismen relevant sein können, wobei ihre Dominanz von der Art der Aufgabe (kognitiv/arbeitsgedächtnislastig vs. motorisch/prozedural) und der Art des Drucks abhängen könnte.<sup>94</sup>

- **Altersunterschiede: Kognitiver Abbau vs. Motivationale Veränderungen?** Sind Leistungsunterschiede im Alter primär auf eine nachlassende kognitive Effizienz zurückzuführen, die höhere Anstrengung erfordert <sup>57</sup>, oder spielen auch strategische Anpassungen der Motivation, veränderte Zielprioritäten (z.B. gemäß Socioemotional Selectivity Theory <sup>102</sup>) und Anstrengungsallokationsstrategien (z.B. erhöhte Vorsicht <sup>68</sup>) eine wesentliche Rolle? Die möglicherweise höhere Motivation älterer Versuchspersonen in Laborsituationen <sup>102</sup> kompliziert die Interpretation zusätzlich.

### 7.3. Widersprüchliche Befunde und Forschungslücken

Trotz erheblicher Fortschritte bleiben einige Bereiche widersprüchlich oder untererforscht:

- Die Bedingungen, unter denen lineare vs. nicht-lineare Anstrengungs-Leistungs-Zusammenhänge auftreten, sind nicht immer klar, obwohl Moderatoren wie Aufgabenschwierigkeit eine Schlüsselrolle spielen.
- Die Auswirkungen kognitiver Ermüdung auf die *physische* Leistung sind inkonsistent. Während Meta-Analysen einen negativen Effekt nahelegen <sup>28</sup>, finden einzelne Studien keinen Effekt.<sup>65</sup> Moderatoren wie die Art der physischen Aufgabe (isolierte Muskeln vs. Ganzkörper) könnten hier relevant sein.<sup>31</sup>
- Obwohl Netzwerke wie ECN, SN und DMN konsistent mit Anstrengung und Ermüdung in Verbindung gebracht werden <sup>14</sup>, ist die spezifische Funktion einzelner Regionen (z.B. die genaue Rolle des dACC bei der EVC-Berechnung <sup>23</sup>) und die Rolle von Neurotransmittern (wie Dopamin und Acetylcholin bei der Anstrengungsbewertung und -mobilisierung <sup>26</sup>) noch nicht vollständig geklärt.
- Die Übertragbarkeit von Laborbefunden (z.B. aus N-Back- oder Discounting-Aufgaben) auf reale Anstrengungsleistungen und -entscheidungen ist oft unklar (ökologische Validität).<sup>5</sup>
- Das komplexe Zusammenspiel verschiedener individueller Unterschiede (NFC, Selbstwirksamkeit, WMC, Alter, Persönlichkeit <sup>93</sup>) bei der Vorhersage der Anstrengungsallokation in spezifischen Situationen bedarf weiterer Untersuchung.

### 7.4. Zukünftige Forschungsrichtungen

Aus den Debatten und Lücken ergeben sich wichtige Richtungen für zukünftige Forschung:

- **Theoretische Integration:** Entwicklung umfassenderer Modelle, die Ressourcenaspekte, Kosten-Nutzen-Bewertungen und motivationale Faktoren integrieren. Computational Modeling (z.B. Erweiterungen von EVC <sup>106</sup>, Reinforcement Learning <sup>39</sup>) wird hierbei eine wichtige Rolle spielen.
- **Verbesserte Messung:** Weiterentwicklung und Validierung objektiver, nicht-invasiver Maße, die das subjektive Anstrengungserleben reliabel erfassen. Systematischer Einsatz multi-modaler Messansätze zur Triangulation.
- **Anstrengung als Wert vs. Kosten:** Gezielte Untersuchung der Bedingungen (Lernhistorie, Kontext, individuelle Denkweisen/Mindsets), unter denen Anstrengung als wertvoll bzw. aversiv erlebt wird.



- **Neurobiologie der Ermüdung:** Klärung der neuronalen und neurochemischen Mechanismen mentaler Ermüdung, die über einfache Ressourcenerschöpfungsmodelle hinausgehen.
- **Choking-Mechanismen:** Weitere Differenzierung der Interaktion von Distraction und expliziter Überwachung bei verschiedenen Aufgaben und Fähigkeitsniveaus.
- **Ökologische Validität:** Durchführung von Studien in realitätsnäheren Umgebungen, um die Generalisierbarkeit von Laborbefunden zu prüfen.
- **Interventionen:** Entwicklung und Evaluation von Interventionen zur Optimierung der Anstrengungsallokation, zum Management von Ermüdung und zur Prävention von Choking, angepasst an spezifische Kontexte und Individuen.
- **Entwicklungsperspektive:** Untersuchung der Entwicklung von Anstrengungsbewertung und -allokation über die Lebensspanne.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Forschungsfeld zur kognitiven Anstrengung und Leistung dynamisch ist und sich hin zu komplexeren, kontextabhängigen Modellen bewegt. Die Anerkennung, dass Anstrengung nicht einfach eine lineare Funktion der Anforderung ist, sondern eine adaptive Entscheidung, die von einer Vielzahl interner und externer Faktoren beeinflusst wird, prägt zunehmend die Forschung und Theoriebildung.

## VIII. Schlüsselpublikationen

Die folgende Liste enthält eine Auswahl zentraler Publikationen, die für das Verständnis des Zusammenhangs zwischen kognitiver Anstrengung und Leistung von besonderer Bedeutung sind. Sie umfasst sowohl grundlegende Arbeiten als auch wichtige theoretische Beiträge, Übersichtsarbeiten und neuere empirische Studien oder Meta-Analysen. Die bibliographischen Angaben sind so aufbereitet, dass sie leicht in das APA 7-Format überführt werden können (soweit die Informationen aus den Snippets verfügbar waren).

### 8.1. Seminare Arbeiten und grundlegende Konzepte

- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall. <sup>5</sup>
- Norman, D. A., & Bobrow, D. G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7(1), 44–64. <sup>6</sup>
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459-482. <sup>73</sup>
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191–215. <sup>40</sup>
- Cacioppo, J. T., & Petty, R. E. (1982). The need for cognition. *Journal of Personality and Social Psychology*, 42(1), 116–131. <sup>41</sup>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285. <sup>7</sup>

### 8.2. Wichtige theoretische Rahmenwerke & Übersichtsarbeiten

- Brehm, J. W., & Self, E. A. (1989). The intensity of motivation. *Annual Review of Psychology*, 40, 109–131. <sup>6</sup>
- Shenhav, A., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2013). The Expected Value of Control: An Integrative Theory of Anterior Cingulate Cortex Function. *Neuron*, 79(2), 217–240. DOI: 10.1016/j.neuron.2013.07.007. <sup>17</sup>

- Shenhav, A., Musslick, S., Lieder, F., Kool, W., Griffiths, T. L., Cohen, J. D., & Botvinick, M. M. (2017). Toward a Rational and Mechanistic Account of Mental Effort. *Annual Review of Neuroscience*, 40, 99–124. <sup>7</sup>
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. <sup>7</sup>
- Westbrook, A., & Braver, T. S. (2015). Cognitive effort: A neuroeconomic approach. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 15(2), 395–415. <sup>6</sup>
- 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. <sup>40</sup>
- Hockey, G. R. J. (2013). *The psychology of fatigue: Work, effort and control*. Cambridge University Press. <sup>40</sup>
- Baumeister, R. F. (1984). Choking under pressure: Self-consciousness and paradoxical effects of incentives on skillful performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 46(3), 610–620. <sup>80</sup>
- Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2001). On the fragility of skilled performance: What governs choking under pressure? *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 701–725. <sup>92</sup>

### 8.3. Wichtige Meta-Analysen & neuere empirische Befunde

- van Cutsem, J., Marcora, S. M., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The effects of mental fatigue on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 47(8), 1569–1588. <sup>27</sup>
- Brown, D. M. Y., Graham, J. D., & Innes, K. K. (2020). Effects of Prior Cognitive Exertion on Physical Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(10), 1799–1819. <sup>28</sup>
- Hufton, J. R., et al. <sup>107</sup> Meta-study on clutch performance. *International Review of Sport & Exercise Psychology*. <sup>107</sup>
- Sitzmann, T., & Yeo, G. (2013). A meta-analytic investigation of the within-person self-efficacy domain: Is self-efficacy a product of past performance or a driver of future performance? *Personnel Psychology*, 66(3), 531–568. <sup>103</sup>
- Milyavskaya, M., Inzlicht, M., Hope, N., & Koestner, R. (2021). More Effort, Less Fatigue: The Role of Interest in Increasing Effort and Reducing Mental Fatigue. *Frontiers in Psychology*, 12, 755858. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.755858. <sup>40</sup>
- Clay, G., Korb, F. M., Mlynski, C., et al. (2022). Rewarding cognitive effort increases the intrinsic value of mental labor. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(6), e2111785119. DOI: 10.1073/pnas.2111785119. <sup>1</sup>
- Ostaszewski, P., Białaszek, W., & Izydorczyk, D. (2017). Physical and cognitive effort discounting across different reward magnitudes: Tests of discounting models. *PLoS ONE*, 12(7), e0182353. DOI: 10.1371/journal.pone.0182353. <sup>18</sup>
- Hess, T. M., & Ennis, G. E. (2012). Age differences in the effort and costs associated with cognitive activity. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 67(4), 447–455. DOI: 10.1093/geronb/gbr129. <sup>57</sup>
- Saunders, B., et al. (2023). A meta-analytic review of the association between mental effort and negative affect. *Nature Human Behaviour*. <sup>20</sup>

- Lieder, F., Shenhav, A., Musslick, S., Griffiths, T. L. (2019). Learning Expected Value of Control (LEVC) Theory. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. <sup>106</sup>
- van Steenbergen, H., Band, G. P., & Hommel, B. (2015). Does conflict help or hurt cognitive control? Initial evidence for an inverted U-shape relationship between perceived task difficulty and conflict adaptation. *Frontiers in Psychology*, 6, 974. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.00974. <sup>55</sup>
- DeCaro, M. S., Thomas, R. D., Albert, N. B., & Beilock, S. L. (2011). Choking under pressure: Multiple routes to skill failure. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(3), 390–406. <sup>94</sup>

(Anmerkung: Diese Liste basiert primär auf den bereitgestellten Snippets und bekannten Schlüsselwerken. Eine erschöpfende bibliographische Recherche würde weitere relevante Publikationen identifizieren. Die Formatierung ist an APA 7 angelehnt, kann aber aufgrund fehlender Details in den Snippets unvollständig sein.)

## Referenzen

1. Learning to enjoy cognitive effort - ScienceDaily, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/01/220127104233.htm>
2. Rewarding cognitive effort increases the intrinsic value of mental labor - PNAS, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2111785119>
3. Cognitive Performance: What it is and how to boost yours - HPRC-online.org, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.hprc-online.org/mental-fitness/performance-psychology/cognitive-performance-what-it-and-how-boost-yours>
4. Cognitive Tests and Performance Validity Tests - Psychological Testing in the Service of Disability Determination - NCBI, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK305230/>
5. Measuring cognitive effort without difficulty - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10050044/>
6. Cognitive effort: A neuroeconomic approach - PMC - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/>
7. Mental effort: One construct, many faces? - Cognitive Science Society, Zugriff am April 14, 2025, <https://cognitivesciencesociety.org/cogsci20/papers/0001/0001.pdf>
8. Can EEG Be Adopted as a Neuroscience Reference for Assessing Software Programmers' Cognitive Load? - MDPI, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/7/2338>
9. Toward understanding the relationship between task complexity and task performance - SciSpace, Zugriff am April 14, 2025, <https://scispace.com/pdf/toward-understanding-the-relationship-between-task-4thjudvzit.pdf>
10. Task Complexity: A Review and Analysis - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/243768060\\_Task\\_Complexity\\_A\\_Review\\_and\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/243768060_Task_Complexity_A_Review_and_Analysis)
11. Challenging Cognitive Load Theory: The Role of Educational Neuroscience and Artificial Intelligence in Redefining Learning Efficacy - PMC - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11852728/>

12. (PDF) Complexity affects performance, cognitive load, and awareness - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/383915256\\_Complexity\\_affects\\_performance\\_cognitive\\_load\\_and\\_awareness](https://www.researchgate.net/publication/383915256_Complexity_affects_performance_cognitive_load_and_awareness)
13. Cognitive workload estimation using physiological measures: a review - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/376833135\\_Cognitive\\_workload\\_estimation\\_using\\_physiological\\_measures\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/376833135_Cognitive_workload_estimation_using_physiological_measures_a_review)
14. Facing successfully high mental workload and stressors: An fMRI study - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8764488/>
15. Bridging Exercise Science, Cognitive Psychology, and Medical Practice: Is "Cognitive Fatigue" a Remake of "The Emperor's New Clothes"? - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2018.01246/full>
16. Understanding mental fatigue and its detection: a comparative analysis of assessments and tools - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10460155/>
17. Short-term memory capacity predicts willingness to expend cognitive effort for reward, Zugriff am April 14, 2025, <http://biorxiv.org/cgi/content/full/2024.02.12.579951v1>
18. Physical and cognitive effort discounting across different reward magnitudes: Tests of discounting models, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5536267/>
19. effort foraging task reveals positive correlation between individual differences in the cost of cognitive and physical effort in humans - Princeton University, Zugriff am April 14, 2025, <http://www.princeton.edu/~ndaw/boltbscd23.pdf>
20. A Meta-Analytic Review of the Association Between Mental Effort and Negative Affect, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.simplypsychology.org/a-meta-analytic-review-of-the-association-between-mental-effort-and-negative-affect.html>
21. Cognitive effort: A neuroeconomic approach - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/272189061\\_Cognitive\\_effort\\_A\\_neuroeconomic\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/272189061_Cognitive_effort_A_neuroeconomic_approach)
22. Do cognitive and physical effort costs affect choice behavior similarly?, Zugriff am April 14, 2025, <https://ccn.psych.purdue.edu/papers/lim-effort.pdf>
23. The Expected Value of Control: An Integrative Theory of Anterior Cingulate Cortex Function, Zugriff am April 14, 2025, [https://usmai-fsu.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi\\_pubmedcentral\\_primary\\_oai\\_pubmedcentral\\_nih\\_gov\\_3767969&context=PC&vid=01USMAI\\_FSU:FSU\\_ORT&lang=en&search\\_scope=DN\\_and\\_CI&adaptor=Primo%20Central&query=null%2C%2C265%2CAND&facet=citing%2Cexact%2Ccdi\\_FETCH-LOGICAL-c539t-e46e714ea6ff92f44c96ad356891820e405f0282f407b285527c333c3836ac6d3&offset=0](https://usmai-fsu.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi_pubmedcentral_primary_oai_pubmedcentral_nih_gov_3767969&context=PC&vid=01USMAI_FSU:FSU_ORT&lang=en&search_scope=DN_and_CI&adaptor=Primo%20Central&query=null%2C%2C265%2CAND&facet=citing%2Cexact%2Ccdi_FETCH-LOGICAL-c539t-e46e714ea6ff92f44c96ad356891820e405f0282f407b285527c333c3836ac6d3&offset=0)
24. The expected value of control: An integrative theory of anterior cingulate cortex function - PMC - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3767969/>

25. Trying harder: how cognitive effort sculpts neural representations during working memory - PMC - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/>
26. Cognitive effort and reward. Functional imaging of time on task and the involvement of dopaminergic and cholinergic substrates | bioRxiv, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2024.12.12.628171v3.full-text>
27. Evaluation of cognitive load in team sports: literature review - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8504464/>
28. Effects of Prior Cognitive Exertion on Physical Performance: A Systematic Review and Meta-analysis - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/338148169\\_Effects\\_of\\_Prior\\_Cognitive\\_Exertion\\_on\\_Physical\\_Performance\\_A\\_Systematic\\_Review\\_and\\_Meta-analysis](https://www.researchgate.net/publication/338148169_Effects_of_Prior_Cognitive_Exertion_on_Physical_Performance_A_Systematic_Review_and_Meta-analysis)
29. Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/322912500\\_Cognitive\\_fatigue\\_effects\\_on\\_physical\\_performance\\_A\\_systematic\\_review\\_and\\_meta-analysis](https://www.researchgate.net/publication/322912500_Cognitive_fatigue_effects_on_physical_performance_A_systematic_review_and_meta-analysis)
30. Mental Fatigue and Sports Performance of Athletes: Theoretical Explanation, Influencing Factors, and Intervention Methods - MDPI, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-328X/14/12/1125>
31. Revised Manuscript The effect of ego depletion or mental fatigue on subsequent physical endurance performance: a meta-analysis - OSF, Zugriff am April 14, 2025, <https://osf.io/mr5pk/download>
32. The Unfolding of Cognitive Effort During Sentence Processing: Pupillometric Evidence From People With and Without Aphasia - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9150667/>
33. (PDF) Refining the prediction of effort: Brehm's distinction between potential motivation and motivation intensity - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/280683142\\_Refining\\_the\\_prediction\\_of\\_effort\\_Brehm's\\_distinction\\_between\\_potential\\_motivation\\_and\\_motivation\\_intensity](https://www.researchgate.net/publication/280683142_Refining_the_prediction_of_effort_Brehm's_distinction_between_potential_motivation_and_motivation_intensity)
34. Is there a difference between cognitive control versus cognitive effort? | ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.researchgate.net/post/Is-there-a-difference-between-cognitive-control-versus-cognitive-effort>
35. Decomposing the motivation to exert mental effort - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8528169/>
36. Cognitive load and cognitive effort: Probing the psychological reality of a conceptual difference | Request PDF - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/369255543\\_Cognitive\\_load\\_and\\_cognitive\\_effort\\_Probing\\_the\\_psychological\\_reality\\_of\\_a\\_conceptual\\_difference](https://www.researchgate.net/publication/369255543_Cognitive_load_and_cognitive_effort_Probing_the_psychological_reality_of_a_conceptual_difference)
37. The impact of task complexity and translating self-efficacy belief on students' translation performance: Evidence from process and product data - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2022.911850/full>
38. Cognitive cost as dynamic allocation of energetic resources - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4547044/>

39. cognitive effort required: Topics by Science.gov, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.science.gov/topicpages/c/cognitive+effort+required.html>
40. More Effort, Less Fatigue: The Role of Interest in Increasing Effort and Reducing Mental Fatigue - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8639495/>
41. The economics of cognitive effort - CDN, Zugriff am April 14, 2025, <https://bpb-us-w2.wpmucdn.com/sites.wustl.edu/dist/1/1008/files/2017/10/braverwestbrookedited-1ivtjl7.pdf>
42. (PDF) More Effort, Less Fatigue: The Role of Interest in Increasing Effort and Reducing Mental Fatigue - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/356387271\\_More\\_Effort\\_Less\\_Fatigue\\_The\\_Role\\_of\\_Interest\\_in\\_Increasing\\_Effort\\_and\\_Reducing\\_Mental\\_Fatigue](https://www.researchgate.net/publication/356387271_More_Effort_Less_Fatigue_The_Role_of_Interest_in_Increasing_Effort_and_Reducing_Mental_Fatigue)
43. An inverted U-shaped relationship between chronic stress and the motivation to expend effort for reward - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/390554748\\_An\\_inverted\\_U-shaped\\_relationship\\_between\\_chronic\\_stress\\_and\\_the\\_motivation\\_to\\_expend\\_effort\\_f\\_or\\_reward](https://www.researchgate.net/publication/390554748_An_inverted_U-shaped_relationship_between_chronic_stress_and_the_motivation_to_expend_effort_f_or_reward)
44. Cognitive performance - (Cognitive Psychology) - Vocab, Definition, Explanations | Fiveable, Zugriff am April 14, 2025, <https://library.fiveable.me/key-terms/cognitive-psychology/cognitive-performance>
45. What is cognition? - Cambridge Cognition, Zugriff am April 14, 2025, <https://cambridgecognition.com/what-is-cognition/>
46. Measuring Situational Cognitive Performance in the Wild: A Psychometric Evaluation of Three Brief Smartphone-Based Test Procedures - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11292980/>
47. Heterogeneous Indicators of Cognitive Performance and Performance Variability Across the Lifespan - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/aging-neuroscience/articles/10.3389/fnagi.2020.00062/full>
48. Diagnostic accuracy of CompCog: reaction time as a screening measure for mild cognitive impairment - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9387195/>
49. A Literature Review on Reaction Time - Co-Mind Lab, Zugriff am April 14, 2025, <http://www.cognaction.org/cogs105/readings/clemson.rt.pdf>
50. Both Reaction Time and Accuracy Measures of Intraindividual Variability Predict Cognitive Performance in Alzheimer's Disease - PMC - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5900796/>
51. Both Reaction Time and Accuracy Measures of Intraindividual Variability Predict Cognitive Performance in Alzheimer's Disease - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/human-neuroscience/articles/10.3389/fnhum.2018.00124/full>
52. Cognitive effort assessment through pupillary responses: Insights from multinomial processing tree modeling and neural interconn, Zugriff am April 14, 2025,

<https://www.ojcmt.net/download/cognitive-effort-assessment-through-pupillary-responses-insights-from-multinomial-processing-tree-14196.pdf>

53. Full article: Investigating mental workload across task modalities: a multimodal analysis using pupillometry - Taylor & Francis Online, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00140139.2024.2414203?af=R>
54. Brightening the Study of Listening Effort with Functional Near-Infrared Spectroscopy: A Scoping Review - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10147513/>
55. (PDF) Does conflict help or hurt cognitive control? Initial evidence for an inverted U-shape relationship between perceived task difficulty and conflict adaptation - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/280525795\\_Does\\_conflict\\_help\\_or\\_hurt\\_cognitive\\_control\\_Initial\\_evidence\\_for\\_an\\_inverted\\_U-shape\\_relationship\\_between\\_perceived\\_task\\_difficulty\\_and\\_conflict\\_adaptation](https://www.researchgate.net/publication/280525795_Does_conflict_help_or_hurt_cognitive_control_Initial_evidence_for_an_inverted_U-shape_relationship_between_perceived_task_difficulty_and_conflict_adaptation)
56. Archive ouverte UNIGE Advancing Issues in Motivation Intensity Research: Updated Insights from the Cardiovascular System, Zugriff am April 14, 2025, <https://access.archive-ouverte.unige.ch/access/metadata/b6a49d31-0f10-4762-8b34-7f28eeff0758/download>
57. The Impact of Age and Motivation on Cognitive Effort: Implications for Cognitive Engagement in Older Adulthood - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3788706/>
58. Age Differences in the Effort and Costs Associated With Cognitive Activity - Oxford Academic, Zugriff am April 14, 2025, <https://academic.oup.com/psychsocgerontology/article-pdf/67/4/447/1515308/gbr129.pdf>
59. Age Differences in the Effort and Costs Associated With Cognitive Activity - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/51843880\\_Age\\_Differences\\_in\\_the\\_Effort\\_and\\_Costs\\_Associated\\_With\\_Cognitive\\_Activity](https://www.researchgate.net/publication/51843880_Age_Differences_in_the_Effort_and_Costs_Associated_With_Cognitive_Activity)
60. Cognitive Load and Brain Fatigue: How to Train Smarter, Not Harder - Enophones, Zugriff am April 14, 2025, <https://getenophone.com/blogs/news/cognitive-load-and-brain-fatigue-how-to-train-smarter-not-harder>
61. Distinguishing cognitive effort and working memory load using scale-invariance and alpha suppression in EEG, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7134389/>
62. Brain and effort: brain activation and effort-related working memory in healthy participants and patients with working memory deficits - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/human-neuroscience/articles/10.3389/fnhum.2013.00140/full>
63. Acute stress reduces effortful prosocial behaviour - eLife, Zugriff am April 14, 2025, <https://elifesciences.org/reviewed-preprints/87271v1/pdf>
64. Acute stress reduces effortful prosocial behaviour - eLife, Zugriff am April 14, 2025, <https://elifesciences.org/reviewed-preprints/87271v2/pdf>



65. (PDF) Prolonged cognitive activity increases perception of fatigue but does not influence perception of effort, affective valence or performance during subsequent isometric endurance exercise. - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/343510976\\_Prolonged\\_cognitive\\_activity\\_increases\\_perception\\_of\\_fatigue\\_but\\_does\\_not\\_influence\\_perception\\_of\\_effort\\_affective\\_valence\\_or\\_performance\\_during\\_subsequent\\_isometric\\_endurance\\_exercise](https://www.researchgate.net/publication/343510976_Prolonged_cognitive_activity_increases_perception_of_fatigue_but_does_not_influence_perception_of_effort_affective_valence_or_performance_during_subsequent_isometric_endurance_exercise)
66. Effects of cognitive task complexity and online planning on second language learners' argumentative writing - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2023.1121994/full>
67. Yes, I Can: The Interplay of Need for Cognition and Task Confidence in Cognitive Task Performance - MDPI, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.mdpi.com/2079-3200/12/12/128>
68. Age differences in sustained attention tasks: A meta-analysis - PMC - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8642381/>
69. The Importance of Measuring Reaction Time and Its Relation to Cognitive Performance, Zugriff am April 14, 2025, <https://pison.com/insight/pison-wrist-worn-devices-provide-greater-accuracy-and-convenient-testing-for-measuring-cognitive-performance/>
70. Evidence for the Beneficial Effect of Reward on Working Memory: A Meta-Analytic Study, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11433210/>
71. Using resource allocation theory and dual-task methods to increase the sensitivity of assessment in aphasia | Request PDF - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/246427643\\_Using\\_resource\\_allocation\\_theory\\_and\\_dual-task\\_methods\\_to\\_increase\\_the\\_sensitivity\\_of\\_assessment\\_in\\_aphasia](https://www.researchgate.net/publication/246427643_Using_resource_allocation_theory_and_dual-task_methods_to_increase_the_sensitivity_of_assessment_in_aphasia)
72. Refining the Prediction of Effort: Brehm's Distinction between Potential Motivation and Motivation Intensity | Request PDF - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/227642165\\_Refining\\_the\\_Prediction\\_of\\_Effort\\_Brehm's\\_Distinction\\_between\\_Potential\\_Motivation\\_and\\_Motivation\\_Intensity](https://www.researchgate.net/publication/227642165_Refining_the_Prediction_of_Effort_Brehm's_Distinction_between_Potential_Motivation_and_Motivation_Intensity)
73. Performing Up to Par? Performance Pressure Increases Undergraduates' Cognitive Performance and Effort, Zugriff am April 14, 2025, <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10328496>
74. The Effect of Incentives in Nonroutine Analytical Team Tasks | Journal of Political Economy, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/729443>
75. Emotionality and the Yerkes-Dodson Law - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/10085762\\_Emotionality\\_and\\_the\\_Yerkes-Dodson\\_Law](https://www.researchgate.net/publication/10085762_Emotionality_and_the_Yerkes-Dodson_Law)
76. Yerkes–Dodson Law - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/278706353\\_Yerkes-Dodson\\_Law](https://www.researchgate.net/publication/278706353_Yerkes-Dodson_Law)
77. Cognitive, Endocrine and Mechanistic Perspectives on Non-Linear Relationships Between Arousal and Brain Function - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2657838/>



78. The Temporal Dynamics Model of Emotional Memory Processing: A Synthesis on the Neurobiological Basis of Stress-Induced Amnesia, - Digital Commons @ USF - University of South Florida, Zugriff am April 14, 2025, [https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2348&context=psy\\_facpub](https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2348&context=psy_facpub)
79. Different underlying mechanisms for high and low arousal in probabilistic learning in humans | bioRxiv, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2021.02.26.431959v2.full>
80. (PDF) Choking in sport: A review - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/232834289\\_Choking\\_in\\_sport\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/232834289_Choking_in_sport_A_review)
81. (PDF) Choking under pressure: The neuropsychological mechanisms of incentive-induced performance decrements - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/272840129\\_Choking\\_under\\_pressure\\_The\\_neuropsychological\\_mechanisms\\_of\\_incentive-induced\\_performance\\_decrements](https://www.researchgate.net/publication/272840129_Choking_under_pressure_The_neuropsychological_mechanisms_of_incentive-induced_performance_decrements)
82. The Temporal Dynamics Model of Emotional Memory Processing: A Synthesis on the Neurobiological Basis of Stress-Induced Amnesia, Flashbulb and Traumatic Memories, and the Yerkes-Dodson Law - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1906714/>
83. The Relationship Between Anxiety and Performance: A Cognitive-Behavioral Perspective - CiteSeerX, Zugriff am April 14, 2025, <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=92d9cefa6388ed52bba07ac49f656d423d2b6c7a>
84. When Cognitive Proximity Leads to Higher Evaluation Decision Quality: A Study of Public Funding Allocation - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2021.697989/full>
85. Mental fatigue impairs physical performance in humans | Journal of Applied Physiology, Zugriff am April 14, 2025, <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
86. Quantifying the Motivational Effects of Cognitive Fatigue Through Effort-Based Decision Making - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2018.00843/full>
87. An Integrative Model of Effortful Control - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/systems-neuroscience/articles/10.3389/fnsys.2019.00079/full>
88. Fatigue and Human Performance: An Updated Framework - PMC - PubMed Central, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9807493/>
89. Choking under pressure: the neuropsychological mechanisms of incentive-induced performance decrements - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/>
90. Enhancing athlete performance under pressure: the role of attribution training in mitigating choking - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2025.1435374/full>
91. Mental toughness and choking susceptibility in athletes - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11298806/>

92. Full article: Choking interventions in sports: A systematic review, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1750984X.2017.1408134>
93. Factors of choking under pressure in musicians - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7787383/>
94. Choking Under Pressure: Multiple Routes to Skill Failure - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/51129135\\_Choking\\_under\\_pressure\\_Multiple\\_routes\\_to\\_skill\\_failure](https://www.researchgate.net/publication/51129135_Choking_under_pressure_Multiple_routes_to_skill_failure)
95. The Expected Value of Control: An Integrative Theory of Anterior Cingulate Cortex Function, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/253332086\\_The\\_Expected\\_Value\\_of\\_Control\\_An\\_Integrative\\_Theory\\_of\\_Anterior\\_Cingulate\\_Cortex\\_Function](https://www.researchgate.net/publication/253332086_The_Expected_Value_of_Control_An_Integrative_Theory_of_Anterior_Cingulate_Cortex_Function)
96. Motivation towards closure and effort investment in the performance of cognitive tasks - PMC, Zugriff am April 14, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5442255/>
97. Conversion of Reactance Motives Into Effortful Goal Pursuit: Implications of Brehm's Theory of Motivation Intensity - Hogrefe eContent, Zugriff am April 14, 2025, <https://econtent.hogrefe.com/doi/10.1027/2151-2604/a000228>
98. Conversion of Reactance Motives Into Effortful Goal Pursuit: Implications of Brehm's Theory of Motivation Intensity - Hogrefe eContent, Zugriff am April 14, 2025, <https://econtent.hogrefe.com/doi/abs/10.1027/2151-2604/a000228>
99. Negative Moderating Effect of General Self-Efficacy on the Relationship between Need for Cognition and Cognitive Effort - Cornell eCommons, Zugriff am April 14, 2025, <https://ecommons.cornell.edu/server/api/core/bitstreams/87052769-6662-42e4-b086-a1cc0068f0fe/content>
100. Full article: Comparison of working memory performance in athletes and non-athletes: a meta-analysis of behavioural studies - Taylor & Francis Online, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09658211.2024.2423812>
101. Self-efficacy and Strategy on Complex Tasks - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/228023361\\_Self-efficacy\\_and\\_Strategy\\_on\\_Complex\\_Tasks](https://www.researchgate.net/publication/228023361_Self-efficacy_and_Strategy_on_Complex_Tasks)
102. The ironic effect of older adults' increased task motivation - Campbell Neurocognitive Aging Lab, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.brockcnalab.com/uploads/1/0/0/2/100281740/ryan\\_campbell\\_2021\\_psychonomic\\_bulletin\\_review.pdf](https://www.brockcnalab.com/uploads/1/0/0/2/100281740/ryan_campbell_2021_psychonomic_bulletin_review.pdf)
103. A Meta-Analytic Investigation of the Within-Person Self-Efficacy Domain: Is Self-Efficacy a Product of Past Performance or a Driver of Future Performance? - ResearchGate, Zugriff am April 14, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/264479041\\_A\\_Meta-Analytic\\_Investigation\\_of\\_the\\_Within-Person\\_Self-Efficacy\\_Domain\\_Is\\_Self-Efficacy\\_a\\_Product\\_of\\_Past\\_Performance\\_or\\_a\\_Driver\\_of\\_Future\\_Performance](https://www.researchgate.net/publication/264479041_A_Meta-Analytic_Investigation_of_the_Within-Person_Self-Efficacy_Domain_Is_Self-Efficacy_a_Product_of_Past_Performance_or_a_Driver_of_Future_Performance)
104. The Expected Value of Control: An Integrative Theory of Anterior Cingulate Cortex Function - Florida Atlantic University Libraries, Zugriff am April 14, 2025, [https://fau-flvc.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi\\_pubmedcentral\\_primary\\_oai\\_pubmedcentral\\_nih\\_gov\\_3767969&context=PC&vid=01FALSC\\_FAU:FAU&lang=en&search\\_scope=MyInst\\_and\\_CI&adaptor=Primo%20Central&query=null%2C%2C17](https://fau-flvc.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi_pubmedcentral_primary_oai_pubmedcentral_nih_gov_3767969&context=PC&vid=01FALSC_FAU:FAU&lang=en&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Primo%20Central&query=null%2C%2C17)

[18&facet=citedby%2Cexact%2Ccdi\\_FETCH-LOGICAL-c593t-f9ada4f224bae603c35046ebba25c4b6cb97045751c637c153c5b5818e202c823&offset=0](#)

105. Expected Value of Control and the Motivational Control of Habitual Action - Frontiers, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2019.01812/full>
106. UC Merced - eScholarship.org, Zugriff am April 14, 2025, <https://escholarship.org/content/qt7w0223v0/qt7w0223v0.pdf>
107. Psychological skills and strategies enhance athlete performance under pressure - PsyPost, Zugriff am April 14, 2025, <https://www.psypost.org/psychological-skills-and-strategies-enhance-athlete-performance-under-pressure/>