* **Zusammenhang zwischen kognitiver Anstrengung und kognitiver Leistung: Ein Literaturüberblick**

**Definitionen und Konzepte**

**Kognitive Anstrengung** (oft auch *mental effort* genannt) bezeichnet den mentalen Aufwand oder die **Ressourcen**, die eine Person bei der Bewältigung einer kognitiv anspruchsvollen Aufgabe aufwendet. Es handelt sich um das Maß an geistiger Energie, Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis, das eingesetzt wird, um eine Aufgabe **zielgerichtet** zu bearbeiten​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=performance1%20%E2%80%93%2024,dysfunction%20are%20often%20comorbid%2028%E2%80%9310). Im Alltag spiegelt sich kognitive Anstrengung in dem subjektiven Gefühl wider, dass eine mentale Tätigkeit „anstrengend“ oder „ermüdend“ ist​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=). Trotz des alltagspsychologisch klaren Erlebens existiert in der Forschung **keine einheitliche Definition** von kognitiver Anstrengung​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=Cognitive%20effort%20has%20been%20implicated,than%20do%20traditional%20markers%20of)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=Yet%20despite%20these%20numerous%20implications%2C,very%20little%20about%20the%20neural). Häufig wird kognitive Anstrengung als **begrenzte Ressource** betrachtet, die bewusst eingesetzt werden muss, um die Leistung zu steigern​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=performance1%20%E2%80%93%2024,dysfunction%20are%20often%20comorbid%2028%E2%80%9310). So definieren manche Autoren Anstrengung als *“Einsatz einer allgemeinen kognitiven Ressource zur Leistungssteigerung”*​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=performance1%20%E2%80%93%2024,dysfunction%20are%20often%20comorbid%2028%E2%80%9310). Andere fassen Anstrengung als **Kostenfaktor** auf, den Menschen nach Möglichkeit **minimieren** möchten​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=that%20a%20cognitive%20task%20is,Oppenheimer%2C%202008%20%3B%20%2024)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=Yet%20despite%20these%20numerous%20implications%2C,very%20little%20about%20the%20neural). Beispielsweise gehen ökonomische und neuroökonomische Ansätze davon aus, dass Entscheidende versuchen, mentalen Aufwand zu vermeiden, sofern der erwartete Nutzen nicht hoch genug ist​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=Yet%20despite%20these%20numerous%20implications%2C,of%20the%20problem%20is%20that). Es gibt allerdings auch individuelle Unterschiede: Manche Menschen **suchen kognitive Herausforderungen aktiv** (z.B. Personen mit hoher „Need for Cognition“; vgl. Cacioppo & Petty, 1982) und empfinden geistige Anstrengung als weniger aversiv​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=bias%20against%20effort%20in%20the,very%20little%20about%20the%20neural).

**Kognitive Leistung** bezieht sich auf die **Effektivität und Effizienz** kognitiver Funktionen bei der Lösung von Aufgaben. Damit ist gemeint, *wie gut* das Gehirn Informationen verarbeiten, speichern, abrufen und nutzen kann, um **Probleme zu lösen, zu lernen oder Entscheidungen zu treffen**​[mdpi.com](https://www.mdpi.com/2076-3417/14/15/6424#:~:text=MDPI%20www,22%5D.%20This). Kognitive Leistung wird in unterschiedlichen Domänen gemessen, etwa als Gedächtnisleistung, **Aufmerksamkeitsfähigkeit**, Verarbeitungsgeschwindigkeit, Problemlösefähigkeit oder Verständnistiefe. Im Allgemeinen lässt sich sagen: *Hohe kognitive Leistung* zeigt sich beispielsweise in **korrekten und schnellen Antworten** in Tests, im fehlerfreien Ausführen komplexer Handlungen oder im kreativen Finden geeigneter Lösungen. Oft werden dafür Kennwerte wie **Genauigkeit (Fehlerrate)** und **Reaktionszeit** herangezogen, um die Leistung in kognitiven Aufgaben zu quantifizieren. So gelten z.B. höhere Trefferquoten und kürzere Reaktionszeiten typischerweise als Indikatoren besserer Leistung in Aufmerksamkeits- oder Gedächtnisaufgaben.

In verschiedenen Disziplinen werden diese Begriffe ähnlich verwendet, jedoch mit **unterschiedlicher Betonung**. In der **kognitiven Psychologie** steht oft die Aufteilung begrenzter mentaler Ressourcen im Vordergrund (z.B. Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis), während die **Neurowissenschaften** die zugrundeliegenden **Gehirnmechanismen** (Aktivität bestimmter Areale, neurophysiologische Parameter) fokussieren. Die **Ökonomie** betrachtet kognitive Anstrengung teils analog zu einem „Kostenfaktor“ in Entscheidungsprozessen – beispielsweise spricht man von „mentalen Kosten“, die den Nutzen einer Entscheidung schmälern können​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=that%20a%20cognitive%20task%20is,Oppenheimer%2C%202008%20%3B%20%2024)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=Yet%20despite%20these%20numerous%20implications%2C,of%20the%20problem%20is%20that). In der **Biologie** und Ergonomie wird kognitive Leistung manchmal im Kontext von **mentaler Ermüdung** und physiologischen Reaktionen (Stresshormone, neuronaler Energieverbrauch) diskutiert. Trotz dieser unterschiedlichen Blickwinkel besteht Konsens, dass kognitive Anstrengung und Leistung **eng verzahnt** sind: Die investierte mentale Energie beeinflusst direkt das **Ergebnis** kognitiver Prozesse, wobei dieser Zusammenhang von vielen Faktoren abhängt.

**Lineare Zusammenhänge zwischen Anstrengung und Leistung**

Intuitiv erwartet man, dass **mehr Einsatz** auch zu **besserer Leistung** führt – bis zu einem gewissen Maximum. Tatsächlich zeigen viele Studien einen *positiven Zusammenhang*: Erhöht man die **kognitive Anstrengung**, etwa durch stärkere Konzentration oder längeres Üben, verbessert sich häufig die **kognitive Leistung**. So wird **Motivation** in Form von Anstrengungsbereitschaft oft als Mechanismus gesehen, der höhere Leistung ermöglicht​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=Undoubtedly%2C%20motivation%20and%20cognition%20interact,one%20or%20the%20other%20on). Empirisch lässt sich dies z.B. daran beobachten, dass Personen in schwierigeren Bedingungen (die **mehr Anstrengung erfordern**) langsamere Reaktionszeiten, aber *höhere Genauigkeit* erzielen, verglichen mit leichten Bedingungen​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=Participants%20were%20precued%20whether%20WM,conclude%20that%20the%20gain%20of)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=observed%20robust%20persistent%20activity%20in,representations%20stored%20in%20visual%20cortex). Das deutet darauf hin, dass die investierte Anstrengung hier die Leistung (Genauigkeit) gesteigert hat, obwohl es mehr Zeit kostete.

Ein klassisches theoretisches Konzept hierzu stammt von **Norman & Bobrow (1975)**, die Aufgaben in *„ressourcen-begrenzt“* versus *„daten-begrenzt“* unterteilten​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=%28Norman%20%26%20Bobrow%2C%201975%29,Consider%2C%20for). Bei **ressourcen-begrenzten Aufgaben** kann die Leistung durch **mehr Einsatz von kognitiven Ressourcen** weiter **verbessert** werden – mit anderen Worten: Je mehr mentale Energie man investiert, desto besser das Ergebnis​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=%28Norman%20%26%20Bobrow%2C%201975%29,Consider%2C%20for). Dagegen sind **daten-begrenzte Aufgaben** so beschaffen, dass die Leistung primär von der Qualität der Information oder des Stimulus abhängt; hier bringt zusätzliche Anstrengung *keinen weiteren Gewinn*​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=%28Norman%20%26%20Bobrow%2C%201975%29,Consider%2C%20for). Einfaches Beispiel: Wenn eine Rechenaufgabe lösbar aber schwierig ist, hilft mehr Konzentration (Ressource) vermutlich, um weniger Fehler zu machen – die Aufgabe ist *ressourcen-begrenzt*. Ist eine Aufgabe aber aufgrund fehlender oder widersprüchlicher Informationen unlösbar (*daten-begrenzt*), nützt auch enorme Anstrengung nichts.

In vielen alltagsnahen kognitiven Tätigkeiten (Lernen, Problemlösen, Erinnern) finden wir Hinweise auf *linear steigende Leistungsfunktionen*, solange die Aufgabe **innerhalb der kognitiven Kapazität** bleibt. Zum Beispiel führt **tiefergehende Verarbeitung** von Lernmaterial (mehr geistige Mühe beim Lernen) zu besseren Gedächtnisleistungen – ein Effekt, der in der Gedächtnispsychologie seit langem bekannt ist (Levels-of-Processing-Theorie). Ebenso zeigen Personen, die sich **stärker konzentrieren** und ablenkende Reize unterdrücken, häufig bessere Leistungen in Aufmerksamkeitsaufgaben als Personen mit geringerem Aufwand. Diese linearen Zusammenhänge werden auch durch **metaanalytische Befunde** gestützt: So korreliert in vielen Studien das **subjektive Beanspruchungserleben** (wie anstrengend eine Aufgabe war) positiv mit objektiven Leistungsindikatoren​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39101924/#:~:text=feature%3A%20All%20used%20the%20NASA,suggest%20that%20mental%20effort%20is)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39101924/#:~:text=association%20between%20mental%20effort%20and,2024%20APA%2C%20all%20rights%20reserved) – bis zu dem Punkt, an dem andere Faktoren limitierend wirken (siehe nächster Abschnitt).

Allerdings ist wichtig zu betonen, dass *lineare Leistungszuwächse* durch Anstrengung nur gelten, **solange die verfügbaren Ressourcen ausreichen und keine negativen Effekte auftreten**. Bis zu einer individuellen Grenze kann mehr Anstrengung also mehr Leistung bringen (z.B. intensiveres Training verbessert die Fähigkeiten, höhere Konzentration steigert kurzfristig die Genauigkeit). **Über diese Grenze hinaus** flacht die Leistungssteigerung jedoch ab oder kehrt sich sogar um. Damit leiten wir zu den nicht-linearen Zusammenhängen über.

**Nicht-lineare Zusammenhänge und Überforderungs-Effekte**

Während moderate Anstrengung oft leistungssteigernd wirkt, zeigen viele Untersuchungen **nicht-lineare Zusammenhänge**: Zu **wenig** Anstrengung führt zu suboptimaler Leistung – aber **zu viel** Anstrengung bzw. Druck **ebenfalls**. Ein bekanntes Prinzip hierzu ist das **Yerkes-Dodson-Gesetz (1908)**, welches einen *invers U-förmigen* Zusammenhang zwischen **Erregungsniveau (Arousal)** und Leistung postuliert​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere). Demnach gibt es ein **optimales mittleres Erregungs- und Anstrengungsniveau**, bei dem die Leistung maximal ist. Ist eine Person **unterstimuliert** (zu wenig wach/engagiert) sinkt die Leistung, und ist sie **übermäßig gestresst oder übererregt**, nimmt die Leistung ebenfalls wieder ab​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere). Besonders bei **komplexen oder ungeübten Aufgaben** kann übermäßiger Druck die Leistung **verschlechtern**​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere). Höhere Erregung durch Anstrengung verbessert Leistung vor allem bei **einfachen oder routinierten Aufgaben**, während sie bei schwierigen, neuartigen Aufgaben eher schadet​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere). Dies liegt unter anderem daran, dass bei großem Druck zusätzliche Sorgen, Angst oder **Ablenkungen** auftreten, die die kognitiven Ressourcen **belegen**.

Ein prominentes Phänomen in diesem Zusammenhang ist das **„Choking under Pressure“** (Versagen unter Druck). Es bezeichnet den **Leistungseinbruch unter hoher Leistungsanstrengung und Leistungsdruck**, selbst bei Personen, die eigentlich fähig und motiviert sind​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=In%20contrast%20to%20the%20assumption,arousal%20account%29.%20Recent%20neuroimaging%20studies)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=may%20produce%20performance%20decrements%20in,induced%20choking%2C%20supporting). Beispielsweise kann ein*e Sportler*in im Training konstant Topleistungen zeigen, aber im **entscheidenden Wettkampf** unter hohem Erfolgsdruck plötzlich versagen. Klassische Studien von Baumeister (1984) und anderen definierten *Choking* als **Leistungsminderung gerade dann, wenn die Situation hohe Anstrengung und Motivation erwarten lässt**​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6707866/#:~:text=Choking%20under%20pressure%20is%20defined,induced%20pressure). Die Ursachen werden in verschiedenen, einander nicht ausschließenden Erklärungen gesucht: Zum einen kann **starker Druck ablenken**, weil Sorgen über die Konsequenzen die **Aufmerksamkeit vom Task wegziehen** (Distraction Theory)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=human%20behavior%2C%20for%20good%20or,This%20review%20aims%20to). Zum anderen kann übermäßiges Bemühen dazu führen, dass gut gelernte **automatische Abläufe durch zu viel bewusste Kontrolle gestört** werden (Explicit Monitoring Theory)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=human%20behavior%2C%20for%20good%20or,This%20review%20aims%20to). Schließlich spielt auch **Übererregung/Stress** eine Rolle: Sehr hohe Anspannung kann das **kognitive System überlasten** (Over-Arousal)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=human%20behavior%2C%20for%20good%20or,This%20review%20aims%20to). Neuere neuropsychologische Reviews (z.B. Yu, 2015) bestätigen, dass hoher **sozialer oder leistungsbezogener Stress** die Aktivität von Hirnarealen verändert und so zu Fehlern führt, insbesondere bei komplexen Aufgaben​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=may%20produce%20performance%20decrements%20in,induced%20choking%2C%20supporting)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere). Interessanterweise sind oft **sehr fähige Personen** besonders vom Choking-Effekt betroffen, weil sie unter Druck ihre üblichen leistungsförderlichen Strategien (etwa Nutzung des Arbeitsgedächtnisses) nicht voll nutzen können – so fanden Beilock und Carr (2005), dass Proband\*innen mit **hoher Arbeitsgedächtnisspanne** unter Druck bei Matheaufgaben *stärker* einbrachen als solche mit geringerer Kapazität​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17484426/#:~:text=Recent%20findings%20,WMC%2C%20because%20of%20their%20anxiety)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17484426/#:~:text=problems%20with%20high%20working%20memory,findings%20have%20strong%20implications%20for).

Neben Leistungsdruck können auch **Überforderung durch Aufgabenschwierigkeit** und **mentale Ermüdung** zu nicht-linearen Effekten führen. Wenn eine Aufgabe die **Kapazitätsgrenzen** des Arbeitsgedächtnisses überschreitet, resultiert **kognitive Überlastung**: Die Fehler nehmen sprunghaft zu, während zusätzliche Anstrengung kaum noch Verbesserung bringt. Dieses Prinzip ist zentral in der **Cognitive-Load-Theorie** der Pädagogischen Psychologie – zu hohe *kognitive Last* (z.B. durch zu komplexe Informationen auf einmal) führt zu **Lern- und Leistungsabfall**, anstatt zu Verbesserung, selbst wenn Lernende mehr Zeit oder Anstrengung investieren. **Langanhaltende Aufgaben** können zu **mentaler Erschöpfung (fatigue)** führen, bei der die Leistung typischerweise nach einem anfänglichen Plateau deutlich abnimmt. Dieses als **Vigilanzabfall** bekannte Phänomen wurde etwa in Wachsamkeitsaufgaben (z.B. dem monotonen Radarschirm-Beobachtungstest von Mackworth) dokumentiert: In den ersten 30 Minuten gelingt die Fehlerentdeckung gut, doch mit fortschreitender Zeit sinkt die Trefferquote deutlich, trotz weiter bestehendem Bemühen. Hier zeigt sich, dass **andauernde Anstrengung** zu **abnehmender kognitiver Leistungsfähigkeit** führt – ein *Ermüdungseffekt*, der physiologische und motivationale Ursachen hat (dazu mehr unter Moderatoren).

Nicht-linear ist auch der Effekt von **Belohnungsanreizen**: Moderate Anreize (z.B. ein Lob oder kleine Geldbeträge) **steigern** oft die Anstrengung und folglich die Leistung, während **exzessiv hohe Anreize** paradoxerweise zu Leistungseinbußen führen können​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=In%20contrast%20to%20the%20assumption,arousal%20account%29.%20Recent%20neuroimaging%20studies)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=may%20produce%20performance%20decrements%20in,induced%20choking%2C%20supporting). Eine aufsehenerregende Studie von Ariely et al. (2009) zeigte in Feldexperimenten in Indien, dass extrem hohe Geldprämien die Leistung bei kognitiven und motorischen Aufgaben **verschlechterten** im Vergleich zu mittleren Prämien​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=However%2C%20recent%20laboratory%20experiments%20with,arousal%20model). Offensichtlich erzeugten die höchsten Belohnungen einen **übermäßigen Druck** („Jetzt *muss* ich unbedingt maximal leisten“), der zu Fehlern und ineffizienten Strategien führte. Solche Befunde widersprechen einfachen ökonomischen Annahmen, wonach mehr Lohn immer mehr Produktivität bringt, und verdeutlichen die *inverse U-Beziehung*: **Zu wenig Anreiz -> geringe Anstrengung -> schlechte Leistung; mittlerer Anreiz -> höchste Leistung; sehr hoher Anreiz -> Stress/Fehler -> schlechtere Leistung**.

Zusammenfassend belegen *nicht-lineare Zusammenhänge*, dass **kognitive Anstrengung bis zu einem optimalen Punkt leistungsförderlich** ist, aber jenseits davon **detrimentale Effekte** eintreten können. Überforderung, Stress und Ermüdung führen zu **Diminishing Returns** oder gar negativen Effekten der Anstrengung auf die Performance. Diese Phänomene sind Gegenstand zahlreicher Studien und haben wichtige Implikationen – etwa dafür, **Arbeitsbelastung** oder **Prüfungsstress** optimal zu gestalten, um Überforderung und daraus resultierendes Versagen zu vermeiden.

**Moderierende Faktoren des Anstrengungs-Leistungs-Zusammenhangs**

Ob und wie stark Anstrengung die Leistung beeinflusst, hängt von **zahlreichen moderierenden Faktoren** ab. Wichtig sind Eigenschaften der Aufgabe, **individuelle Unterschiede** der Person sowie **Kontextbedingungen**. Im Folgenden werden einige Schlüsselfaktoren und Befunde vorgestellt:

**a) Aufgabenmerkmale**

* **Schwierigkeit und Komplexität der Aufgabe:** Die *Aufgabenschwierigkeit* verändert die Wirkung von Anstrengung dramatisch. Bei **einfachen Aufgaben** (oder hoch geübten Tätigkeiten) kann ein **höheres Erregungs- und Anstrengungsniveau** die Leistung zunächst steigern oder zumindest nicht schaden – im Sinne des Yerkes-Dodson-Gesetzes​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere). **Komplexe, neue Aufgaben** profitieren zwar anfangs von mehr Anstrengung (man *muss* sich konzentrieren, um überhaupt erfolgreich zu sein), aber hier schlägt Übererregung schneller in Leistungsabfall um​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere). Zudem gilt: Ist eine Aufgabe **so schwierig, dass sie die verfügbaren kognitiven Ressourcen übersteigt**, bringt zusätzliche Anstrengung keinen Vorteil mehr (vgl. *daten-begrenzt* vs. *ressourcen-begrenzt*​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=%28Norman%20%26%20Bobrow%2C%201975%29,Consider%2C%20for)). In der Praxis bedeutet das: Bei einer mittelschweren Aufgabe kann jemand durch mehr Anstrengung seine Fehlerquote verringern, während bei einer extrem schweren Aufgabe die Fehler selbst mit höchster Konzentration nicht weiter sinken, da das Problem an der **Aufgabeninformation** selbst liegt (zu wenig Hinweise, unlösbare Widersprüche etc.). Außerdem beeinflusst die **Art der Aufgabe** den optimalen Anstrengungsgrad: Routineaufgaben oder **motorische Fertigkeiten** (z.B. Tippen, Sportbewegungen) können durch *zu viel* bewusste Kontrolle gestört werden – hier ist oft ein **automatisches „Flow“-Ausführen** besser (Experten sprechen von „paradoxen Effekten“, wenn z.B. ein Golf-Profi beim **Zuviel-Nachdenken** seinen Schwung verschlechtert). **Kreative oder analytische Aufgaben** dagegen erfordern gezielte mentale Kontrolle; aber auch Kreativität kann leiden, wenn hoher Leistungsdruck konvergentes statt divergentes Denken fördert. Insgesamt moduliert die *Beschaffenheit der Aufgabe* (einfach vs. komplex, automatisch vs. kontrolliert, kurz vs. ausdauernd) maßgeblich, wie Anstrengung und Leistung zusammenhängen.
* **Aufgabendauer und Ermüdung:** Die *zeitliche Dauer* bzw. **Wiederholung** einer Aufgabe wirkt sich über **mentale Ermüdung** auf den Zusammenhang aus. Anfangs mag eine Person durch hohe Anstrengung noch beste Leistung erzielen, aber mit fortschreitender Zeit können **Erschöpfungsprozesse** eintreten, die die Leistung trotz weiterer Anstrengung mindern. Untersuchungen zeigen, dass längeres Durchführen kognitiv fordernder Tätigkeiten zu einem **subjektiven Müdigkeitsgefühl** und **nachlassender Motivation** führt, weiter maximalen Aufwand zu investieren​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=Prolonged%20active%20engagement%20on%20cognitively,only%20a%20handful%20of%20studies)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=2000%20%29,lack%20of%20formal%20studies%20could). Diese mentale Ermüdung äußert sich objektiv in Leistungseinbußen – ein Phänomen, das als **Leistungsabfall unter kognitiver Ermüdung** bezeichnet wird. Interessanterweise liegt das nicht nur an einer „leeren Batterie“ im Gehirn, sondern auch daran, dass Ermüdung die **Prioritäten** verschiebt​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=and%20Chute%2C%201947%20%3B%20Kahneman%2C,Yet%2C%20this): Man ist weniger bereit, sich anzustrengen, wenn man schon lange unter hoher Last gearbeitet hat​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=2000%20%29,lack%20of%20formal%20studies%20could). Modelle wie die **kompensatorische Kontrolltheorie** (Hockey, 1997) beschreiben, dass Menschen unter Müdigkeit zwar durch **zusätzliche Anstrengung** eine Zeit lang die Leistung **aufrechterhalten** können, dies aber mit wachsendem **Unwohlsein** und Stress erkaufen​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=even%20though%20that%20is%20still,effort%20allocation%20and%20goal%20selection). Irgendwann kommt der Punkt, wo sie die **Ziele herunterschrauben oder die Aufgabe abbrechen** (Leistung fällt ab). Als Beispiel: In einer zweistündigen Klausur können Studierende am Ende trotz Anstrengung Konzentrationsfehler machen, weil die **mentale Energie und Motivation** nachlassen. Empirisch wurde gezeigt, dass bei längerer Aufgabenbearbeitung die **Leistung oft erst stabil bleibt (durch Willensanstrengung)**, dann aber deutlich sinkt, wenn die ermüdete Person sich nicht mehr aufraffen kann​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=2000%20%29,lack%20of%20formal%20studies%20could)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=even%20though%20that%20is%20still,effort%20allocation%20and%20goal%20selection). Pausen und Erholungsphasen können diesen Effekt mildern, indem sie die Bereitschaft zur Anstrengung wiederherstellen.
* **Feedback und Erfolgswahrscheinlichkeit:** Auch ob eine Aufgabe lösbar erscheint und ob man **Rückmeldungen** erhält, moderiert den Effort-Performance-Link. Wird **kein Fortschritt** gesehen oder bleibt Erfolg aus, neigen Personen dazu, die Anstrengung **zu reduzieren** (Lernende geben z.B. frustriert auf, wenn sie trotz Mühe keine Lösung finden). Umgekehrt kann positives **Feedback** wie Teilerfolge dazu motivieren, weiter hohen Aufwand zu treiben, was die Leistung länger hochhält. Aufgaben mit **klaren Zielen und Feedbackschleifen** ermöglichen es, Anstrengung effizient in Leistung umzusetzen, während bei Aufgaben mit Unsicherheit über Erfolg (z.B. unklare Aufgabenstellung) Personen oft zögern, überhaupt maximale Anstrengung zu investieren.

**b) Individuelle Unterschiede**

* **Motivation und Anreizlage:** Die *persönliche Motivation* bestimmt wesentlich, wie viel Anstrengung jemand **bereit ist** einzusetzen, was natürlich die Performance beeinflusst. Nach der **Motivationsintensitätstheorie** (Brehm & Self, 1989) investieren Personen nur so viel **Energie**, wie sie für nötig halten, um ein Ziel zu erreichen – und nur wenn das Ziel ihnen wichtig ist​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=and%20Chute%2C%201947%20%3B%20Kahneman%2C,Yet%2C%20this). Ist die *Erfolgsmotivation* hoch (z.B. jemand möchte unbedingt eine gute Note), wird tendenziell **mehr Anstrengung** aufgebracht, was – bis zur Überforderungsgrenze – die Leistung steigern kann. Bei *geringer Motivation* hingegen wird oft frühzeitig auf geringem Effort-Niveau „sparsam“ agiert, was dann zu niedrigerer Leistung führt. Wichtig ist aber das Zusammenspiel mit der Aufgabenschwierigkeit: Menschen **dosieren** ihren Aufwand nach der subjektiven Erfolgswahrscheinlichkeit (nach dem Motto: *so viel wie nötig, so wenig wie möglich*). Sehr hohe Motivation kann im Falle von **Übermotivation** auch ins Negative kippen (siehe *choking*). Zudem können **intrinsische Motivation** (Interesse, Spaß an der Sache) vs. **extrinsische Motivation** (Belohnungen) unterschiedlich wirken: Intrinsische Motivation sorgt oft für **konstantere und freudigere Anstrengung**, während rein extrinsische Anreize bei Wegfall der Belohnung zu rapidem Motivationsverlust führen können. Beispielsweise fanden **Clay et al. (2022)**, dass einmal belohnte Anstrengung die Leute **auch ohne weitere Belohnung** zu freiwillig mehr Anstrengung motivierte – sie hatten den Wert kognitiver Anstrengung *gelernt* (was die **intrinsische Wertigkeit** erhöht hat).
* **Fähigkeiten und Expertise:** Individuelle **kognitive Fähigkeiten** (Intelligenz, Arbeitsgedächtniskapazität, Vorwissen) bestimmen, wie effektiv Anstrengung in Leistung umgesetzt werden kann. Eine Person mit **hoher Fähigkeit** kann eine gegebene Aufgabe mit weniger Aufwand meistern (hohe *Effizienz*), während eine Person mit geringerer Fähigkeit deutlich mehr Anstrengung aufbringen muss, um dieselbe Leistung zu erzielen. Es kann sogar passieren, dass Personen mit sehr hoher Fähigkeit unter niedriger Anstrengung schon nahe **Deckenniveau** erreichen – zusätzliche Anstrengung verbessert die Leistung kaum, weil sie ohnehin schon fast das Maximum liefern. Interessant ist, dass hohe Fähigkeiten in stressigen Situationen nicht immer schützen: Wie erwähnt, sind z.B. Personen mit hoher **Arbeitsgedächtnisspanne** bei komplizierten Aufgaben normalerweise überlegen, aber unter hohem Leistungsdruck können gerade sie **überproportional einbrechen**, weil der Druck ihre üblichen Strategien stört​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17484426/#:~:text=Recent%20findings%20,WMC%2C%20because%20of%20their%20anxiety)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17484426/#:~:text=problems%20with%20high%20working%20memory,findings%20have%20strong%20implications%20for). **Experten** in einem Gebiet haben oft automatisierte Strategien; wenn sie *zu viel nachdenken*, kann ihre Performance leiden (ein Neuling hingegen profitiert vom intensiven Nachdenken). Somit moderiert der *Expertisegrad* den optimalen Anstrengungsgrad – Anfänger müssen bewusst und angestrengt vorgehen, Experten eher intuitiv. Zudem haben Personen mit höheren kognitiven **Kapazitäten** mehr Puffer, bevor Überlastung eintritt. Das bedeutet: Die **Leistungsfähigkeit** setzt gewissermaßen die Skala, innerhalb derer *mehr Anstrengung noch mehr Leistung* bringt. Ein Individuum mit geringerer Kapazität erreicht seine Grenze früher – danach verpufft zusätzliche Anstrengung, während ein leistungsstärkeres Individuum in diesem Bereich noch linear profitieren könnte.
* **Alter:** **Ältere Erwachsene** berichten häufig, dass geistige Aufgaben sie „mehr Anstrengung kosten“ als Jüngere – und Forschung bestätigt diese subjektive Einschätzung teilweise. Ennis et al. (2013) zeigten z.B., dass **ältere Personen** bei steigender Aufgabenschwierigkeit **stärkere physiologische Anstrengungsreaktionen** (z.B. Blutdruckanstieg) aufweisen als jüngere, um eine bestimmte Leistung aufrechtzuerhalten​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23421325/#:~:text=cognitive%20activities,higher%20levels%20of%20task%20difficulty). Ältere mussten also **mehr Effort mobilisieren**, um ähnliche Leistungen zu erzielen, und bei sehr hohen Anforderungen brachen sie häufiger die Anstrengung ab (Disengagement)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23421325/#:~:text=and%20task%20engagement,also%20found%20that%2C%20relative%20to)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23421325/#:~:text=difficulty%2C%20and%20this%20increase%20was,of%20motivation%20to%20engage%20in). Dies deutet darauf hin, dass mit höherem Alter die **„Kosten“ jeder kognitiven Leistungseinheit steigen**, was dazu führen kann, dass Ältere schneller an einen Punkt gelangen, wo zusätzliche Anstrengung subjektiv nicht mehr lohnt oder möglich ist​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23421325/#:~:text=successful%20performance%20in%20the%20former,support%20of%20demanding%20cognitive%20activities). Interessanterweise hängt das auch von der Motivation ab: Ältere Erwachsene, die eine Aufgabe für **wichtig** halten, zeigen *überproportionalen Anstrengungsanstieg* und können damit Defizite etwas kompensieren​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23421325/#:~:text=successful%20performance%20in%20the%20former,support%20of%20demanding%20cognitive%20activities). Insgesamt steigt im Alter tendenziell die **Anstrengungsbereitschaft pro Aufgabe**, aber gleichzeitig auch die **Anfälligkeit für Ermüdung**. Somit beeinflusst das Alter die Effort-Performance-Kurve: Jüngere können eventuell länger linear profitieren, während Ältere früher ein Plateau oder einen Abfall erleben, wenn die Anstrengung sie erschöpft.
* **Ermüdungszustand:** Nicht nur lang andauernde Aufgaben, auch der *aktuelle Erschöpfungsgrad* einer Person moderiert den Zusammenhang. Nach bereits absolvierter mentaler Anstrengung (z.B. nach einem anstrengenden Arbeitstag) zeigt sich oft eine **verringerte kognitive Leistung** in nachfolgenden Aufgaben – ein Effekt, der im Labor als **Ego Depletion** untersucht wurde. Hierbei erledigen Probanden erst eine anspruchsvolle Mentalaufgabe und anschließend eine andere; vielfach fand man, dass die Leistung in der zweiten Aufgabe **signifikant schlechter** war als ohne vorherige Belastung (Hagger et al., 2010, Meta-Analyse). Die gängige Erklärung war lange, dass eine *begrenzte Ressource* (mentale Energie oder Glukose) teilweise **aufgebraucht** wurde. Neuere Theorien (Inzlicht et al., 2014) betonen jedoch, dass es eher ein **motivationaler Mechanismus** ist: Nach großer Anstrengung verschiebt sich die **Motivation** weg von der Aufgabe hin zu *Schonung oder Belohnung* (z.B. möchte man sich lieber ausruhen oder etwas Angenehmes tun)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=2000%20%29,lack%20of%20formal%20studies%20could)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=and%20Chute%2C%201947%20%3B%20Kahneman%2C,Yet%2C%20this). Dadurch investiert man in die zweite Aufgabe **weniger Anstrengung**, was die schlechtere Leistung erklärt. Ermüdung reduziert also **kurzfristig die verfügbare Willenskraft**, weiter hohe Effort-Level zu halten, und damit moderiert sie negativ den direkten Effort->Performance-Effekt. Personen unterscheiden sich zudem darin, wie **widerstandsfähig** sie gegen mental fatigue sind – manche können erstaunlich lange hochfokussiert arbeiten, andere zeigen früh Leistungsabfälle.
* **Selbstwirksamkeit und subjektive Überzeugungen:** Ein oft unterschätzter individueller Faktor sind die *Glaubenssätze* einer Person über die eigene Fähigkeit und Ausdauer. **Selbstwirksamkeit** (Bandura) bezeichnet das Vertrauen, durch eigene Anstrengung gewünschte Leistungen erbringen zu können. Hohe Selbstwirksamkeit geht mit **höherer Anstrengungsbereitschaft** und **Beharrlichkeit** einher, insbesondere bei Herausforderungen​[frontiersin.org](https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2020.01008/full#:~:text=Self,positively%20associated%20with%20increased%20performance). Wer überzeugt ist "*Ich schaffe das*" wird bei Schwierigkeiten **eher nochmal zulegen**, statt aufzugeben, was letztlich die Chance auf gute Leistung steigert. Empirisch fanden zahlreiche Studien positive Zusammenhänge zwischen Selbstwirksamkeitsüberzeugung und Leistung – vermittelt über **größeres Engagement und Ausdauer**​[frontiersin.org](https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2020.01008/full#:~:text=Self,positively%20associated%20with%20increased%20performance). Umgekehrt führen Zweifel an der eigenen Kompetenz dazu, dass Personen aus Angst vor Misserfolg oder vermeintlicher Sinnlosigkeit **weniger Effort investieren** und schneller resignieren. Auch Überzeugungen über **Willenskraft** moderieren Effekte der Ermüdung: Wer glaubt, mentale Energie sei begrenzt, zeigt stärkere Leistungseinbußen nach Anstrengung (da er Ermüdung als *Signal zum Aufhören* interpretiert), während Leute, die glauben "*Willenskraft ist eher unbegrenzt*", länger Leistung halten. Solche Befunde zeigen, dass **psychologische Faktoren** – Glaube, Erwartung, Einstellung – als Moderatoren wirken, indem sie bestimmen, *wie viel Anstrengung überhaupt mobilisiert wird*, was dann die Leistung beeinflusst.

**c) Kontextfaktoren**

* **Stress und emotionale Belastung:** Die **Umgebung und Situation** einer Aufgabe (ruhig oder stressig, unterstützend oder druckbeladen) haben erheblichen Einfluss. **Stressoren** wie Lärm, Zeitdruck, soziale Evaluation oder Leistungsdruck wurden bereits angesprochen – sie modulieren das optimale Anstrengungsniveau. **Leichter Stress** kann stimulierend wirken und kurzfristig die Ressourcenmobilisierung erhöhen (durch Sympathikus-Aktivierung, Adrenalin), was bei einfachen Aufgaben die Leistung steigert. Aber **hoher Stress** führt zu Ablenkung, Angst oder Übererregung, die trotz größerer Anstrengung die Performance mindern​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=may%20produce%20performance%20decrements%20in,induced%20choking%2C%20supporting)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere). Kontextfaktoren wie ein *enger Zeitrahmen* (Deadlines) können dazu führen, dass Personen ihre Anstrengung **massiv steigern** (Last-Minute-Endeavour), was manchmal die Effizienz reduziert (Hektik, Flüchtigkeitsfehler). **Soziale Kontextfaktoren** spielen ebenfalls eine Rolle: Die *Anwesenheit anderer* kann je nach Situation motivierend oder hemmend wirken (Social Facilitation vs. Inhibition). Zajonc (1965) zeigte in klassischen Experimenten: Die Präsenz eines Publikums steigert die Leistung bei **leichten Routinetätigkeiten** (durch erhöhtes Arousal), verschlechtert sie aber bei **schwierigen, ungeübten Aufgaben** – ein Moderationseffekt des sozialen Kontexts​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=Specific%20to%20social%20situations%2C%20the,FNE)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=of%20evaluation%2C%20which%20leads%20to,The). **Bewertungsangst** (z.B. vor Kritik oder negativer Beurteilung) kann dazu führen, dass trotz hoher angestrengter Bemühung die **kognitive Effizienz sinkt**, weil ein Teil der kognitiven Kapazität mit Sorge belegt ist. Ein unterstützendes Umfeld ohne Angst fördert dagegen, dass Anstrengung ungehindert in Leistung umgesetzt werden kann.
* **Anreize und Belohnungen:** Externe **Incentives** wie Geldprämien, Noten, Auszeichnungen oder auch Wettbewerb verändern die Psychologie der Anstrengungsinvestition. Angemessene Anreize steigern in der Regel die **Motivation**, was zu höherer Anstrengung und dadurch besserer Leistung führt (siehe Abschnitt linear). Allerdings hat die **Höhe und Art** der Anreize einen moderierenden Effekt: *Sehr hohe* mögliche Belohnungen (oder sehr schwere Bestrafungen bei Scheitern) können **übermäßigen Druck** erzeugen, der die Performance untergräbt​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=In%20contrast%20to%20the%20assumption,arousal%20account%29.%20Recent%20neuroimaging%20studies)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=may%20produce%20performance%20decrements%20in,induced%20choking%2C%20supporting). **Art der Aufgabe und Persönlichkeit** moderieren dies zusätzlich – manche Personen sind unter Wettbewerbsdruck hochmotiviert und steigern sich, andere „verkrampfen“. **Interessanterweise** können *nicht-monetäre Anreize* (z.B. Spaß an der Sache, Lernzuwachs) manchmal nachhaltiger die Anstrengung fördern als Geld. Ein aktueller Ansatz in der Forschung ist, **Anstrengung selbst belohnend** zu machen – etwa indem man durch Spiel-Elemente oder positives Feedback ein Gefühl der **Kompetenz und Autonomie** vermittelt. Solche Kontexte erhöhen die Bereitschaft, *freiwillig* Anstrengung einzusetzen (intrinsische Motivation), was langfristig die Leistungsfähigkeit erhöhen kann. Umgekehrt führen **aversive Kontexte** (z.B. angsteinflößende Atmosphäre, Überwachung) dazu, dass Anstrengung sich nicht voll entfaltet oder ineffizient wird, weil mentale Ressourcen in Stressbewältigung fließen.
* **Rahmenbedingungen und Physischer Zustand:** Schließlich spielen praktische Kontextfaktoren eine Rolle, wie **Tageszeit**, **Ernährungs- und Schlafzustand**, sowie **körperliche Fitness**. Eine ausgeruhte Person am Morgen kann für dieselbe Aufgabe mehr effektive Anstrengung erübrigen als eine übermüdete Person spätabends. **Körperliche Fitness** und Ernährung beeinflussen die *Resilienz* gegenüber mentaler Ermüdung – z.B. moderate Bewegung und gute Durchblutung fördern die kognitive Leistungsfähigkeit bei gegebener Anstrengung. Substanzen wie **Koffein** können den wahrgenommenen Aufwand verringern und kurzzeitig die Leistung steigern, aber bei zu hoher Dosis (Nervosität) wiederum die Leistung durch Overarousal senken (auch hier zeigt sich oft ein invers U-förmiger Effekt). Diese Faktoren moderieren indirekt, indem sie die **Effizienz der Anstrengungsumsetzung** verändern: Eine Person in gutem Zustand kann Anstrengung **fokussierter** nutzen und erreicht bessere Performance, während eine erschöpfte Person trotz Willensanstrengung vielleicht nicht mehr die volle kognitive Kapazität mobilisieren kann.

Zusammengefasst gibt es *zahlreiche Moderatoren*, die beeinflussen, **wann und für wen** kognitive Anstrengung zu besserer Leistung führt. Aufgabenvariablen, individuelle Unterschiede und Kontextfaktoren interagieren komplex. Die Forschung bemüht sich, diese Faktoren zu verstehen, um z.B. **Leistungsvorhersagen** unter verschiedenen Bedingungen zu ermöglichen und **Maßnahmen zur Leistungsoptimierung** abzuleiten (etwa Training, Stressmanagement, ergonomische Aufgabengestaltung).

**Theoretische Modelle zur Erklärung des Effort-Leistungs-Zusammenhangs**

Über die Jahrzehnte wurden verschiedene **Theorien und Modelle** entwickelt, um zu erklären, *warum* und *wann* kognitive Anstrengung die Leistung beeinflusst. Im Folgenden ein Überblick über zentrale Modelle, ihre Annahmen und Vorhersagen:

* **Aufmerksamkeits- und Kapazitätstheorien (Kahneman, 1973):** Frühe Modelle betrachteten kognitive Anstrengung als **steuerbare Aufmerksamkeitsressource**. Kahneman verglich die mentale Energie mit einem **begrenzten Gesamtpool**, der je nach Aufgabenerfordernis verteilt wird. Leistung steigt, wenn der **Aufgabeneinsatz** (Allocation) erhöht wird – bis die **Kapazitätsgrenze** erreicht ist. *Flaggt* die Leistung, registriert ein *Überwachungsmechanismus* dies und erhöht das **Ressourceninvestment**, was subjektiv als mehr *Anstrengung* empfunden wird​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=also%20how%20that%20bias%20is,regulated%20and%20overcome)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=Earlier%20theories%20,resource%20or%20of%20the%20cost). So erklären diese Modelle, dass wir z.B. bei schwierigen Aufgaben automatisch **angestrengter denken** (mehr Ressourcen zuteilen), um unsere Performance aufrechtzuerhalten. Ist keine Reserve mehr übrig, kann die Leistung nicht weiter gesteigert werden. Norman & Bobrow (1975) erweiterten diese Sicht mit der Idee der **Daten- vs. Ressourcenlimitierung** (s.o.), was erklärt, warum Anstrengung nicht immer nützt. Insgesamt machen Kapazitätstheorien die Vorhersage, dass **Leistung positiv mit investierter Ressourcenmenge korreliert**, solange Ressourcen verfügbar sind – bei **Ressourcenerschöpfung** oder **datenbegrenzten Situationen** entkoppeln sich Anstrengung und Leistung.
* **Optimaler Erregungsgrad und Yerkes-Dodson-Law:** Dieses klassische Modell (bereits 1908 formuliert) postuliert ein **optimum modicum** an Anstrengung/Arousal für maximale Leistung​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere). Es vereint den Gedanken der *Unterforderung* (bei zu wenig Wachheit sinkt die Leistung) und *Überforderung* (zu viel Stress schadet). Theorien wie die **Cue-Utilization-Theorie** von Easterbrook (1959) konkretisieren dies: Mit steigendem Arousal fokussiert sich die Aufmerksamkeit auf wesentliche Reize; bis zu einem Punkt verbessert das die Leistung (irrelevante Cues werden ausgeblendet), aber bei Übererregung werden *zu viele* Cues ignoriert oder die kognitive Verarbeitung wird rigid, was die Leistung in komplexen Tasks mindert. Das Modell sagt einen **invers U-förmigen Verlauf** voraus und erklärt Phänomene wie Lampenfieber: Ein gewisses Maß an Lampenfieber (Erregung) schärft die Performance, zu viel lässt einen *zittern*. Moderne Ansätze fügen hinzu, dass der optimale Punkt von der *Aufgabenart* abhängt (für einfache Aufgaben liegt er bei höherem Arousal als für komplexe​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=to%20the%20Yerkes%E2%80%93Dodson%20law%20,social%20situations%20creates%20an%20atmosphere)).
* **Motivational-Intensity-Theorie (Brehm, 1983; Brehm & Self, 1989):** Dieses sozialpsychologische Modell fokussiert darauf, *wie viel Anstrengung mobilisiert* wird. Kernaussage: Menschen **investieren nur so viel Anstrengung, wie erforderlich und subjektiv lohnend** ist, um ein Ziel zu erreichen – nicht mehr und nicht weniger​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=and%20Chute%2C%201947%20%3B%20Kahneman%2C,Yet%2C%20this). Die Theorie unterscheidet zwei Fälle: Bei **klar definierter Aufgabe** mit bekanntem Schwierigkeitsgrad wird **genau die nötige Anstrengung** aufgewendet, um das Ziel zu erreichen (solange das Ziel wichtig und erreichbar scheint). Wird die Aufgabe schwieriger, *erhöht* man die Anstrengung bis zur persönlichen **Maximalgrenze**. Ist das Ziel dann immer noch außer Reichweite (zu schwierig), *gibt man auf* – die Anstrengung kollabiert. Im zweiten Fall, bei **unklarer Aufgabenschwierigkeit**, investiert man zunächst ein moderates (*potenzielles*) Anstrengungsniveau und *steigert es*, bis entweder Erfolg eintritt oder die eigene **Maximalkraft** erreicht ist (dann gibt man auf). Diese Theorie erklärt, warum **Aufgabenbewertung und -Wichtigkeit** so zentral sind: Ist ein Ziel sehr wichtig (z.B. hohe Belohnung) wird man auch nahe der Erschöpfung noch versuchen, Aufwand zu mobilisieren – es sei denn, man bewertet die Aufgabe als *unmöglich*. **Vorhersagen:** Die Leistung wird in diesem Modell von der *jeweils investierten Anstrengung* bestimmt; diese wiederum hängt von der **Aufgabendifficulty und Motivation** ab. So ergibt sich eine Art **Kosten-Nutzen-Kalkulation**: Höhere Belohnung oder höhere Wichtigkeit erhöhen die *bereit*gestellte Anstrengung, während zu hohe Difficulty diese deckelt. Physiologische Studien (z.B. von Wright, 1996) messen dazu **kardiale Indikatoren** (Blutdruckanstieg als Effort-Index) und fanden Unterstützung: Bei steigender Schwierigkeit steigt der SBP bis zur „Abbruchschwelle“, an der Personen mental kapitulieren.
* **Selbstkontrollressourcen und Ego-Depletion (Baumeister et al., 1998):** Dieses einflussreiche Modell betrachtete kognitive Anstrengung – insbesondere bei willentlichen Selbstkontrollakten – als von einer **gemeinsamen Ressource** abhängig, oft bildhaft als *Willenskraft-Muskel* beschrieben. Jede anspruchsvolle mentale Aufgabe (z.B. Impulskontrolle, schwieriges Denken) verbraucht etwas dieser **limitierten Ressource**, wodurch für eine nachfolgende Aufgabe *weniger übrig* bleibt. Die Vorhersage ist, dass **aufeinanderfolgende** anstrengende Aufgabenleistung schlechter wird, auch wenn die zweite für sich genommen machbar wäre. Als Mechanismus vermutete man zunächst einen **physiologischen Energieverbrauch** (Glukoseverbrauch im Gehirn); es gab Hinweise, dass nach intensiver Selbstkontrolle der Glukosespiegel sank und ein Drink mit Zucker die Leistung wiederherstellen konnte (Gailliot et al., 2007). Allerdings ist die Evidenz widersprüchlich – neuere Analysen zeigen, dass das Gehirn bei kognitiven Aufgaben gar nicht so viel **zusätzliche Glukose** verbraucht (vielleicht <1% mehr als in Ruhe)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=Kurzban%2C%202010%3B%20Raichle%20%26%20Mintun%2C,during%20vigorous%20task%20engagement), sodass rein metabolische Erklärungen fraglich sind. Daher wurde das Modell weiterentwickelt: In neueren Varianten (z.B. *Process Model* von Inzlicht & Schmeichel, 2014) wird Ego-Depletion als **motivationaler Wechsel** gedeutet. Nach einer Anstrengung verschiebt das Gehirn die **Priorität** hin zu Belohnung oder Erholung – Anstrengung fühlt sich *aversiver* an und man *entscheidet sich unbewusst*, nicht mehr 100% in die nächste Aufgabe zu stecken​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=2000%20%29,lack%20of%20formal%20studies%20could)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=and%20Chute%2C%201947%20%3B%20Kahneman%2C,Yet%2C%20this). Die Erschöpfung ist also eher **subjektiv** (man *will* nicht mehr), als dass objektiv gar nichts mehr ginge. Dennoch bleibt die Kernvorhersage ähnlich: **Anhaltende oder wiederholte Anstrengung führt zu Leistungsabfall**, sofern keine Gegenmaßnahmen greifen. Diese Theorie hat eine große Debatte ausgelöst – Meta-Analysen (Hagger et al., 2010; zweifelnd: Carter et al., 2015) und Replikationsstudien lieferten gemischte Befunde. In der heutigen Sicht kombiniert man: Es gibt sowohl **begrenzende physiologische Faktoren** (z.B. Neurotransmitter-Verfügbarkeit, vielleicht Akkumulation von Metaboliten wie Amyloid-β bei langem Denken​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=A%20recent%20metabolic,beta%20removal%20by%20boosting%20clearance)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=production,Much%20more%20evidence%20is)) als auch **motivationale Faktoren**, die die Anstrengungsbereitschaft steuern.
* **Wert-Erwartungs-Modelle und die ökonomische Perspektive:** Ein neuzeitlicher theoretischer Rahmen ist die Betrachtung von Anstrengung als Teil einer **Kosten-Nutzen-Abwägung** bei der Handlungssteuerung. Zwei wichtige Modelle sind hier das **Expected Value of Control (EVC)**-Modell von *Shenhav, Botvinick & Cohen (2013)* und das **Opportunitätskosten-Modell** von *Kurzban et al. (2013)*. Beide sind **computationale Ansätze**, welche erklären sollen, *wie das Gehirn entscheidet*, **wann es sich lohnt, kognitive Kontrolle (Anstrengung) einzusetzen**.
  + Das **EVC-Modell**​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=economic%20decision,high%2C%20control%20is%20implemented%20more) nimmt an, dass der dorsale anteriore cinguläre Kortex (ACC) als eine Art *Regulator* fungiert, der für verschiedene mögliche Ziele/Handlungen die **erwarteten Gewinne abwägt gegen die Anstrengungskosten**. Kontrollprozesse (wie Fokus, Aufrechterhalten von Aufmerksamkeit, Unterdrücken von Impulsen) werden demnach nur in dem Ausmaß mobilisiert, wie es **wirtschaftlich sinnvoll** erscheint – d.h. wenn der *erwartete Wert* des Erfolgs höher ist als die *Kosten*​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=economic%20decision,high%2C%20control%20is%20implemented%20more). Wenn z.B. ein Fehler große Konsequenzen hätte oder eine Belohnung winkt, wird mehr Anstrengung bereitgestellt. Sinkt der erwartete Wert (Aufgabe ist wenig lohnend) oder steigen die erwarteten Kosten (Aufgabe ist extrem anstrengend/lange), wird weniger Kontrolle ausgeübt. Das Modell integriert so Motivation und Schwierigkeit mathematisch. **Vorhersage:** Die optimale Anstrengung ist dort, wo *Grenznutzen = Grenzkosten*. Das EVC-Modell kann auch erklären, warum manchmal „Faulheit“ rational ist – wenn Kosten hoch und Nutzen niedrig sind, ist Nichtstun der *wertmaximierende* Zustand. Experimentell hat man Hinweise gefunden, dass neuronale Signale im ACC tatsächlich **Kosten-Nutzen-Infos** über Anstrengungskonflikte repräsentieren (z.B. stärker feuern, wenn eine schwierige Entscheidung mit lohnendem Ergebnis ansteht).
  + Das **Opportunitätskosten-Modell** (Kurzban et al.) geht einen Schritt weiter in der Interpretation, *warum Anstrengung sich aversiv anfühlt*. Hier wird argumentiert, dass die **subjektive Mühe (effort)** eigentlich das *Gefühl der entgangenen Gelegenheit* ist: Wenn wir an einer mental anspruchsvollen Aufgabe sitzen, können wir in der Zeit nichts Anderes tun, was vielleicht belohnender wäre​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=%28Inzlicht%20et%20al,but%20they%20may%20become%20conscious). Diese **“opportunity costs”** akkumulieren sich – wir spüren sie als wachsende Unlust, weiterzumachen​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=%28Inzlicht%20et%20al,but%20they%20may%20become%20conscious). So gesehen hat das Gehirn immer andere potenzielle Handlungsziele im Hintergrund, und je länger wir einen **einzigen fokussierten Task** bearbeiten, desto stärker „argumentieren“ diese anderen Ziele (etwa: du könntest jetzt entspannen oder etwas Angenehmes tun) dagegen, weiter Energie in den aktuellen Task zu stecken​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=the%20next,test%20whether%20presenting%20incidental%20cues). Daraus resultiert das Phänomen mentaler Ermüdung: Es ist ein **Signal**, dass die *Opportunitätskosten* der weiteren Anstrengung hoch werden. Das Modell sagt vorher, dass man die empfundenen Kosten **künstlich senken** kann, indem man den *alternativen Aktivitäten* Wert entzieht (oder belohnendere Elemente in die aktuelle Aufgabe einbaut). Es betont, dass **Anstrengungsvermeidung** nicht unbedingt bedeutet, dass Ressourcen physisch erschöpft sind, sondern dass das **Kosten-Wert-Verhältnis** ungünstig geworden ist. Diese Idee wird unterstützt durch Befunde, dass Menschen mit höherer **Belohnungssensitivität** schneller ermüden (weil Alternativbelohnungen locken) und dass **monotone Aufgaben** besonders anstrengend wirken, während abwechslungsreiche kognitive Herausforderungen oft länger toleriert werden. Ferner spiegelt sich das in der Beobachtung wider, dass **Langeweile** kognitive Anstrengung mindert – ein Zustand, der ja genau die *Wahrnehmung fehlenden Sinns/wertvoller Alternativen* ausdrückt.
* **Neurowissenschaftliche Modelle (Neuronale Signaturen der Anstrengung):** Einige Theorien fokussieren auf die **biologischen Mechanismen** hinter Effort und Performance. Z.B. das **Adaptive Gain Theory** (Aston-Jones & Cohen, 2005) beschreibt, wie das **locus-coeruleus noradrenerge System** das *Energielevel* im Gehirn reguliert: Hoher **Tonischer Noradrenalin-Ausstoß** korreliert mit Ablenkbarkeit und Task-Wechsel (niedrige fokussierte Anstrengung), während ein moderates Niveau an **phasischer Noradrenalinaktivität** mit hohem Fokus und Ausdauer einhergeht. Wird ein Task als zu wenig lohnend erachtet, schaltet das System auf *Exploration* (man wendet sich ab). Das passt zu oben genannten Kosten-Nutzen-Modellen, jetzt aber auf Neurochemie-Ebene. Auch **Dopamin** wird oft genannt: Es kodiert erwarteten Belohnungswert und könnte die **Bereitschaft zur kognitiven Anstrengung** mitsteuern (hohe erwartete Belohnung -> mehr Dopamin -> Anstrengung erscheint lohnender). In Patientenstudien zeigt sich etwa, dass **Parkinson-Patienten** (niedriger Dopamin) oft apathischer gegenüber mentaler Anstrengung sind, was diese Hypothese stützt. **Hirnareale**: Der bereits genannte ACC gilt als Schlüsselstelle, die **Konflikt, Fehler und nötige Anstrengung** registriert und dann dorsolaterale **präfrontale** Areale rekrutiert, um mehr kognitive Kontrolle auszuüben. Bei **hoher Anstrengung** (z.B. knifflige Aufgaben) findet man vermehrte **Theta-Band EEG-Aktivität** über dem medialen Frontalcortex (Marker für kognitive Kontrolle)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=Fatigue%2C%20performance%20and%20effort%3A%20an,old%20tradition)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=and%20Chute%2C%201947%20%3B%20Kahneman%2C,Yet%2C%20this). Solche neurowissenschaftlichen Modelle erklären den Effort-Leistungs-Zusammenhang dadurch, dass bestimmte **Neuronensignale den „Schalter“ für mehr/weniger Einsatz** umlegen, je nachdem welche *Gewinn-zu-Kosten-Signale* sie verarbeiten. In gewisser Weise objektivieren sie die zuvor beschriebenen psychologischen Modelle in messbaren Hirnprozessen.
* **Weitere Modelle:** In der Arbeitspsychologie existieren **Regulationsmodelle** (Hockey, 1997; 2011), die vorschlagen, dass Menschen eine **Zielhierarchie** haben: Oberstes Ziel ist Performance aufrecht erhalten, zweites Ziel ist Wohlbefinden (nicht zu viel Stress). Bei Belastung versuchen wir erst, durch mehr Effort das Leistungsziel zu halten (auf Kosten des Wohlbefindens: Stress steigt). Wenn die Belastung zu hoch wird und Wohlbefinden massiv bedroht ist, opfern wir schließlich die Leistung, um uns zu schützen. Diese Modelle verbinden Effort und Performance mit Stressregulation. **Zielsetzungstheorie** (Locke & Latham) aus der Organisationspsychologie ist ebenfalls relevant: Setzt man sich klare, anspruchsvolle Ziele, steigt die **Anstrengung und Ausdauer**, was die Leistung verbessert. Hier wirkt also das *Ziel* als Moderator, aber das Modell an sich erklärt gut, wie kognitive Anstrengung vom Commitment abhängt. **Selbstwirksamkeitstheorie** (Bandura) hatten wir erwähnt – sie würde vorhersagen, dass Personen mit hoher Selbstwirksamkeit auch bei Rückschlägen die Anstrengung aufrechterhalten, was zu besserer Performance führt, während bei geringer Selbstwirksamkeit nach Misserfolg die Anstrengung (und damit Leistung) einbricht.

Man sieht, die Modellpalette reicht von **physiologischen Konzepten** über **ökonomisch-rationale Kalküle** bis zu **sozial-kognitiven Ansätzen**. Ein integratives Verständnis entsteht zunehmend dadurch, dass diese Ebenen kombiniert werden. Westbrook & Braver (2015) etwa argumentieren, dass ein **neuroökonomischer Ansatz** – Anstrengung als Entscheidung unter Kosten/Nutzen – fruchtbar ist, um die Befunde zu Effort und Performance zusammenzubringen​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=tasks,approach%20toward%20understanding%20the%20cognitive)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=intuitive%20and%20epistemologically%20valuable%20treatment,to%20phenomenal%2C%20subjective%20cognitive%20effort). Generell erklären die Theorien konsistent, dass **kognitive Anstrengung kein Selbstzweck** ist, sondern vom kognitiven System **dynamisch reguliert** wird, um optimale Leistung mit minimaler „Verausgabung“ zu erreichen. Unterschiede liegen in der Frage, *was* genau diese Regulation antreibt (physische Limitierung, gelernte Aversivität, Alternativhandlungen, Ziele…).

**Operationalisierung und Messung von Anstrengung und Leistung**

Um die Zusammenhänge empirisch zu untersuchen, müssen **kognitive Anstrengung** und **kognitive Leistung** quantifizierbar gemacht werden. In der Literatur haben sich verschiedene **Messmethoden** etabliert:

**Kognitive Anstrengung messen:**

* *Subjektive Ratingverfahren:* Am einfachsten wird Anstrengung über **Selbsteinschätzung** erhoben. Proband\*innen bewerten beispielsweise auf einer Skala, **wie anstrengend** oder **mental belastend** sie eine Aufgabe empfanden. Gängige Instrumente sind etwa die **NASA Task Load Index (NASA-TLX)**, die verschiedene Dimensionen mentaler Belastung abfragt (u.a. Anstrengung, Frustration, geistige Nachfrage)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39101924/#:~:text=tasks%20%28e,educated%20populations%20and%20non)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39101924/#:~:text=feature%3A%20All%20used%20the%20NASA,suggest%20that%20mental%20effort%20is), oder die **Rating Scale of Mental Effort (RSME)**, eine eindimensionale Skala für wahrgenommene mentale Anstrengung. Solche subjektiven Maße korrelieren häufig mit *objektiven* Belastungsindikatoren und sind leicht zu erheben – sie erfassen aber vor allem die **phänomenologische Komponente** („Wie *schwer* fiel es mir?“).
* *Physiologische Maße:* Da kognitive Anstrengung mit **Aktivierung des autonomen Nervensystems** einhergeht, lassen sich verschiedene **Körperreaktionen** als Indikator verwenden. Häufig genutzt wird die **Pupillometrie** – die Messung der Pupillengröße. Die Pupille weitet sich unter kognitiver Belastung in charakteristischer Weise; größere Pupillen während einer Aufgabe deuten auf **höhere mental effort** hin​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=Participants%20were%20precued%20whether%20WM,conclude%20that%20the%20gain%20of). Ebenso werden **Herz-Kreislauf-Parameter** herangezogen: Eine erhöhte **Herzfrequenz** oder speziell ein *Anstieg des systolischen Blutdrucks* während mentaler Arbeit gilt als Zeichen für investierte Anstrengung​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23421325/#:~:text=cognitive%20activities,higher%20levels%20of%20task%20difficulty). Umgekehrt sinkt die **Herzratenvariabilität (HRV)** – ein Maß für parasympathische Aktivität – typischerweise, wenn die sympathische Erregung durch anhaltende mentale Beanspruchung steigt​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=during%20effortful%20task%20performance,have%20all%20been%20used)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=increased%20peripheral%20vasoconstriction%20and%20decreased,Though%20sympathetic%20arousal%20may%20accompany). Studien zeigen etwa bei schwierigen Aufgaben gleichzeitig **erhöhten Blutdruck und reduzierte HRV**, was auf **angespannte Konzentration** schließen lässt​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=during%20effortful%20task%20performance,have%20all%20been%20used)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=increased%20peripheral%20vasoconstriction%20and%20decreased,Though%20sympathetic%20arousal%20may%20accompany). Weitere Marker sind **Hautleitfähigkeit** (Schweißsekretion der Handflächen; steigt bei Stress/Anstrengung)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=2011%20%3B%20Gendolla%20et%20al,Though%20sympathetic%20arousal%20may%20accompany), **Atmungsfrequenz** (wird oft unregelmäßiger unter kognitiver Last) und **periphere Durchblutung** (kann durch Vasokonstriktion reduziert werden)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=during%20effortful%20task%20performance,have%20all%20been%20used)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=increased%20peripheral%20vasoconstriction%20and%20decreased,Though%20sympathetic%20arousal%20may%20accompany). Wichtig ist jedoch: Diese physiologischen Indikatoren sind **unspezifisch** – sie reagieren auch auf Emotionen, Temperatur etc. Daher müssen sie meist in kontrollierten Bedingungen und relativ zur Basislinie interpretiert werden​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=other%20sympathetic%20response%20variables%2C%20including,be%20equated%20with%20cognitive%20effort). Dennoch liefern sie objektive Evidenz, wann eine Person mental mehr „Gas gibt“.
* *Neurophysiologische Maße:* In der kognitiven Neurowissenschaft nutzt man **EEG** und **fMRT**, um Anstrengung zu quantifizieren. So zeigt sich bei steigender mentaler Anstrengung häufig ein **Anstieg der theta-Band Aktivität** im **frontalen Mittelhirnareal** (frontal-midline theta), was mit **kognitiver Kontrolle** assoziiert ist. Zudem verändern sich **ereigniskorrelierte Potentiale**: Die **P3-Amplitude** z.B. kann bei hoher task load kleiner werden (interpretiert als Zeichen, dass Ressourcen gebunden sind). **fMRT-Studien** messen Durchblutungsänderungen im Gehirn – hier dienen etwa die Aktivität im **dorsalen ACC** oder im **dorsolateralen Präfrontalcortex** als Indikatoren: Je stärker diese Kontrollareale aktiv sind, desto mehr kognitive Anstrengung wird offenbar aufgewendet. Zum Beispiel korrelierte in einer Studie die Höhe der **präfrontalen Aktivität** mit der **Verbesserung der Gedächtnisleistung** unter erhöhtem Anstrengungsniveau​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=hard%20trials%20suggesting%20our%20manipulation,representations%20stored%20in%20visual%20cortex). Allerdings sind solche Messungen teuer und eher in Laborstudien üblich. Sie helfen, die *Mechanismen* zu verstehen, sind aber weniger praktikabel für breite Anwendung.
* *Verhaltensmaße indirekter Art:* Manchmal schätzt man Anstrengung auch ab durch Effekte auf **sekundäre Aufgaben**. Beim sogenannten **Doppelaufgaben-Paradigma** bekommt eine Person eine Hauptaufgabe und gleichzeitig eine leichte Nebenaufgabe (z.B. alle paar Sekunden einen Knopf drücken, wenn ein Ton ertönt). Wenn die *Hauptaufgabe* mehr Anstrengung erfordert, **verschlechtert** sich die Performance in der Nebenaufgabe (z.B. langsamere Reaktion auf den Ton). Aus diesem *Interferenzmaß* kann man rückschließen, wie viel **mentale Kapazität** die Hauptaufgabe in Anspruch nimmt. So ein Ansatz war in der klassischen Aufmerksamkeitsforschung beliebt, um **mentalen Workload** zu quantifizieren. Ähnlich nutzt man **Reaktionszeit**-Verzögerungen oder **Fehlerraten** in Sekundäraufgaben als **implizite Effort-Marker**.

Zusammengefasst werden **kognitive Anstrengung** also über *subjektive Berichte*, *physiologische Stressindikatoren* und *neurologische Aktivitätsmuster* operationalisiert. Häufig kombiniert man mehrere Maße, um ein umfassendes Bild zu erhalten (z.B. parallele Erfassung von **Pupillenweitung und subjektiver Anstrengung**).

[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=during%20effortful%20task%20performance,82%20Beatty)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=2011%20%3B%20Gendolla%20et%20al,Though%20sympathetic%20arousal%20may%20accompany) *Forscher nutzen vielfältige Indikatoren als Index kognitiver Anstrengung: Dazu zählen Veränderungen im Herz-Kreislauf-System wie ein erhöhter Blutdruck und verringerte Herzratenvariabilität während anspruchsvoller Aufgaben, ebenso wie eine verstärkte Hautleitfähigkeit und insbesondere eine Erweiterung der Pupillen. All diese Reaktionen des sympathischen Nervensystems wurden erfolgreich als Maße für mentalen Aufwand eingesetzt.* Allerdings weisen diese **Arousal-Marker** auch auf allgemeine **Stressreaktionen** hin und sind nicht *exklusiv* für kognitive Anstrengung – daher wird sorgfältig darauf geachtet, andere Einflussfaktoren zu kontrollieren​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=other%20sympathetic%20response%20variables%2C%20including,be%20equated%20with%20cognitive%20effort).

**Kognitive Leistung messen:**

Die Erfassung der Leistungsseite richtet sich nach der **Art der kognitiven Aufgabe**. Einige gängige Messgrößen sind:

* **Genauigkeit und Fehlerquoten:** Bei Aufgaben mit richtig/falsch-Antworten (Gedächtnistests, Aufmerksamkeitstests, Problemlösen) ist die **Anzahl korrekter Lösungen** ein direkter Leistungsindikator. Man erfasst Prozent korrekter Antworten, Anzahl Fehler, ausgelassene Targets etc. Eine höhere **Trefferquote** bzw. niedrigere Fehlerquote bedeutet bessere Leistung. In vielen Effort-Studien wird die Veränderung der Genauigkeit zwischen Bedingungen (z.B. mit vs. ohne Ablenkung, hoher vs. niedriger Motivation) gemessen, um Effekte auf die Leistung zu bestimmen.
* **Reaktionszeiten (RT):** Die Geschwindigkeit, mit der Aufgaben bearbeitet werden, ist ebenfalls zentral. Kürzere Reaktions- oder Bearbeitungszeiten bei vergleichbarer Genauigkeit sprechen für **effizientere kognitive Verarbeitung**. Oft betrachtet man den Trade-off zwischen Schnelligkeit und Genauigkeit: Wenn höhere Anstrengung z.B. die Genauigkeit steigert, kann sie evtl. mit etwas längeren RT einhergehen (Person konzentriert sich mehr und nimmt sich Zeit, siehe auch oben WM-Studie​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=Participants%20were%20precued%20whether%20WM,conclude%20that%20the%20gain%20of)). Manche Studien berechnen **kombinierte Maße** wie den *„inverse efficiency score“* (RT / Trefferquote), um beide Aspekte zusammenzuführen.
* **Kapazitätsmaße:** In Gedächtnisaufgaben wird Leistung etwa als **Spanne** (wie viele Items können gemerkt werden) oder **Anzahl richtig erinnerter Items** gemessen. In Intelligenz- und Denkaufgaben können es **Punktwerte** sein (z.B. IQ-Score), bei denen höhere Werte bessere Leistung bedeuten. In Lerntests: **Wieviel wurde gelernt** (z.B. Recall im Test, Transferleistung).
* **Fehlerarten und Strategiewechsel:** Bei komplexeren kognitiven Aufgaben wird die Leistung nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ beurteilt. Beispielsweise analysiert man, ob unter hoher Anstrengung **bestimmte Fehlerarten** ab- oder zunehmen (z.B. mehr impulsive Fehler bei Ermüdung). Oder ob Personen ihre **Lösungsstrategie ändern** (z.B. von sorgfältig zu heuristisch), was dann Leistungsimplikationen hat.
* **Dauer durchgehaltener Leistung:** In Vigilanz- und Daueraufmerksamkeitsaufgaben kann auch die **Stabilität der Leistung** über die Zeit ein Indikator sein – wie schnell tritt ein Leistungsabfall ein. Das wird insbesondere in Ermüdungsstudien genutzt.

In Experimenten zu Effort vs. Performance manipuliert man häufig die **Anstrengung (unabhängige Variable)** – z.B. durch Anreize, Instruktionen („Gib dir besonders Mühe!“), Schwierigkeitsgrad oder dopaminerge Medikamente – und misst dann die **Leistungsänderungen (abhängige Variable)** mit obigen Kenngrößen. Zusätzlich erhebt man per **Fragebogen** das subjektive Empfinden, um zu prüfen, ob die Manipulation tatsächlich als unterschiedlich anstrengend erlebt wurde (Manipulation Check).

**Zusammenhänge messen:** Um den Zusammenhang quantitativ auszudrücken, verwendet man oft **Korrelationen** zwischen Anstrengungsmaßen und Leistungsmaßen oder vergleicht die Leistung bei verschiedenen Effort-Leveln. Metaanalysen wie *David et al. (2024)* fassen solche Zusammenhänge über Studien hinweg zusammen – z.B. fanden sie, dass mentaler Aufwand (NASA-TLX Effort) **stark positiv** mit negativem Affekt korreliert war (d.h. anstrengendere Aufgaben fühlten sich unangenehmer)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39101924/#:~:text=feature%3A%20All%20used%20the%20NASA,suggest%20that%20mental%20effort%20is)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39101924/#:~:text=association%20between%20mental%20effort%20and,2024%20APA%2C%20all%20rights%20reserved), was indirekt die Annahme unterstützt, dass hohes Effort auch irgendwann Performance drückt, wenn es aversiv wird.

Abschließend sei erwähnt: **Kognitive Anstrengung** und **kognitive Leistung** sind *keine direkt beobachtbaren* Entitäten, sondern werden über diese **Proxy-Variablen** erschlossen. Daher bleibt eine Herausforderung der Forschung, immer bessere, **validere Messungen** zu entwickeln – z.B. Anstrengung zu quantifizieren, ohne dass steigende Schwierigkeit (und damit sinkende Leistung) als Confound drinsteckt​[link.springer.com](https://link.springer.com/10.3758/s13415-023-01065-9#:~:text=An%20important%20finding%20in%20the,of%20success%20and%20thereby%20the)​[link.springer.com](https://link.springer.com/10.3758/s13415-023-01065-9#:~:text=problem%20with%20existing%20measures%20of,discounting%20results%20with%20the%20NST). Fleming et al. (2023) stellten hierzu einen neuen Test vor, der Anstrengungswahl unabhängig von Schwierigkeit messen soll​[link.springer.com](https://link.springer.com/10.3758/s13415-023-01065-9#:~:text=problem%20with%20existing%20measures%20of,discounting%20results%20with%20the%20NST). Insgesamt stützen jedoch convergente Befunde aus subjektiven, physiologischen und leistungsbezogenen Maßen die zentralen Aussagen.

**Synthese der Befundlage**

**Zusammengefasst** zeigt die Literatur, dass der Zusammenhang zwischen kognitiver Anstrengung und kognitiver Leistung **vielschichtig** ist. Eine *einfache Formel* “mehr Anstrengung = mehr Leistung” greift zu kurz, da zahlreiche **Moderatoren und Schwellen** eingreifen:

Einerseits gibt es einen breiten Befundkonsens, dass **ausreichende kognitive Anstrengung eine notwendige Bedingung für hohe Leistung** ist. Ohne genügend mentalen Einsatz bleiben Potentiale ungenutzt – dieses Prinzip spiegelt sich in alltäglichen Erfahrungen (wer sich beim Lernen keine Mühe gibt, wird schlechter abschneiden). Empirisch belegen dies Studien, in denen **erhöhte Motivation** oder **verstärkte Konzentration** die Leistungen verbesserten​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=Undoubtedly%2C%20motivation%20and%20cognition%20interact,one%20or%20the%20other%20on)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723420/#:~:text=performance1%20%E2%80%93%2024,dysfunction%20are%20often%20comorbid%2028%E2%80%9310). Auch **Trainings- und Übungseffekte** beruhen darauf, dass Personen wiederholt **Aufwand investieren**, was zu Leistungssteigerungen (z.B. schnellere Reaktionszeiten, größerer Wortschatz) führt. *Lineare Zuwächse* sind insbesondere in Bereichen mit **Skill Acquisition** (Fertigkeitserwerb) gut dokumentiert: Anfangs steigert mehr Üben (was Anstrengung erfordert) kontinuierlich die Performance, bevor sich allmählich Plateaus einstellen.

Andererseits wird ebenso deutlich, dass **zu viel** Anstrengung oder falsch gerichtete Anstrengung der Leistung **abträglich** sein kann. Extreme Beispiele sind das erwähnte **Choking under Pressure** bei Experten​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4322702/#:~:text=may%20produce%20performance%20decrements%20in,induced%20choking%2C%20supporting) oder **kognitive Überladung** in Lernsituationen, wo Lernende vor lauter Anstrengung den Überblick verlieren und schlechter abschneiden als mit einem moderateren Ansatz. Die Befundlage hierzu ist *differenziert*: Einige Studien finden klare **inverse U-Kurven**, andere beobachten ein Plateau (Leistung saturiert trotz weiterem Effort). Unterschiede in **Aufgaben und Individuen** erklären viel dieser Varianz. So ist ein wichtiges allgemeines Ergebnis, dass **Aufgabentypen die Form des Effort-Leistungs-Zusammenhangs modulieren** – simple Tasks folgen eher dem linearen oder Sättigungsverlauf, komplexe Tasks zeigen häufiger Überforderungs-Kurven. **Individuelle Unterschiede** sind ebenfalls bedeutsam: Leistungsstarke Personen können meist **mehr Anstrengung tolerieren** bevor negative Effekte eintreten, während leistungsschwächere früher an Grenzen stoßen oder entmutigt werden​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23421325/#:~:text=and%20task%20engagement,also%20found%20that%2C%20relative%20to). Hoch motivierte Persönlichkeiten investieren mehr, profitieren aber auch mehr – außer wenn ihre emotionale Regulation nicht standhält (dann droht das Choking).

Die Forschung hat auch einige **scheinbare Widersprüche** aufgedeckt: Z.B. *Mehr Druck steigert Leistung* vs. *Mehr Druck schadet Leistung*. Diese lassen sich meist durch die **Moderatoren** auflösen – es kommt *darauf an*, wie der Druck empfunden wird (Herausforderung vs. Bedrohung), wie komplex die geforderte Leistung ist, etc. Ein anderes kontroverses Thema war die Frage, ob **kognitive Ressourcen mit Gebrauch erschöpft** werden (Ego Depletion) oder ob es primär eine Frage der Motivation ist. Hier gab es widersprüchliche Befunde: manche Experimente zeigten starke Leistungseinbußen nach mentaler Erschöpfung, andere konnten das nicht replizieren. Aktuell tendiert die Mehrheit der Arbeiten zu einem **interaktiven Verständnis**: Es gibt sicherlich *temporäre physiologische Veränderungen* (z.B. Neurotransmitter-Verbrauch), die bei andauernder Anstrengung eine Rolle spielen, aber im Alltag sind *motivationale Faktoren* (Wille, Belohnung, Abwechslung) ebenso entscheidend dafür, ob man nach einer ersten Anstrengung noch volle Leistung bringen kann​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=Researchers%20as%20early%20as%20Thorndike,The%20Motivational%20Control%20Model%20by)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=and%20Chute%2C%201947%20%3B%20Kahneman%2C,Yet%2C%20this). Dieses integrative Bild wird etwa im **„Motivational Control“-Modell** von Hockey (2011) gezeichnet, das sagt: Leistung wird immer durch das Zusammenspiel von **Fähigkeit, Motivation und Müdigkeit** bestimmt – fällt einer dieser Faktoren ab, können die anderen eine Zeitlang kompensieren, aber nicht unbegrenzt​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=even%20though%20that%20is%20still,effort%20allocation%20and%20goal%20selection)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=may%20also%20act%20to%20shift,2008).

**Offene Forschungsfragen** bleiben zahlreich. Einige zentrale Diskussionen derzeit sind:

* *Was ist die* ***psychologische Natur*** *von „Anstrengung“?* Ist es primär ein **aversives Gefühl**, das Verhalten steuert, wie viele Modelle annehmen? Die Meta-Analyse von David et al. (2024) stützt dies, indem sie nahezu ubiquitär einen **Zusammenhang von mentaler Anstrengung und negativem Affekt** fand​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39101924/#:~:text=feature%3A%20All%20used%20the%20NASA,suggest%20that%20mental%20effort%20is)​[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39101924/#:~:text=association%20between%20mental%20effort%20and,2024%20APA%2C%20all%20rights%20reserved). Dennoch gibt es Hinweise, dass Anstrengung **nicht immer** als aversiv erlebt wird – unter bestimmten Umständen kann sie sogar positiv konnotiert sein (z.B. „Flow“ bei optimaler Herausforderung, Stolz nach intensiver Denkarbeit). Hier ist die Frage: **Kann kognitive Anstrengung „gelernt“ werden, weniger aversiv zu sein?** Die PNAS-Studie 2022 von Clay et al. deutet an, dass **Belohnungserfahrungen** die *intrinsische Wertschätzung* von kognitiver Mühe erhöhen können. Es bleibt aber offen, wie dauerhaft solche Effekte sind und welche Gehirnmechanismen dahinterstehen.
* *Wie hängen* ***mentale und körperliche Anstrengung*** *zusammen?* Es gibt spannende Interdisziplinäre Befunde, dass **geistige Ermüdung** auch die **körperliche Leistungsfähigkeit** mindert (z.B. Marathonläufer laufen langsamer nach anspruchsvollen mentalen Aufgaben und *umgekehrt*). Die energetischen und motivatonalen Systeme für physische und kognitive Effort scheinen verbunden. Neuere Arbeiten untersuchen, ob es eine **gemeinsame zentrale „Anstrengungs-Bewertung“** im Gehirn gibt (manche vermuten den ACC als Integrator für alle Arten von Aufwand). Diese Fragen berühren auch klinische Aspekte: Bei **Depression** oder **Fatigue-Syndromen** ist die Antriebslosigkeit ein Problem – hier könnte ein gestörtes Effort-Valuation-System zugrunde liegen, das mentale Anstrengung *übermäßig kostspielig* erscheinen lässt. Erste Hinweise zeigen, dass depressive Personen tatsächlich **weniger bereit sind, Anstrengung für Belohnung zu investieren**, was in line mit veränderter Dopaminfunktion steht.
* *Was sind die* ***biologischen Limits*** *kognitiver Anstrengung?* Die metabolischen Studien (z.B. zu Glukose oder Amyloid-β​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=A%20recent%20metabolic,beta%20removal%20by%20boosting%20clearance)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=production,Much%20more%20evidence%20is)) kratzen an der Frage: Gibt es sowas wie „mentale Erschöpfung“ auch auf **physiologischer Ebene** – etwa temporärer Mangel an Neurotransmittern, Sauerstoff oder Ansammlung von neuronen-schädlichen Nebenprodukten – der unabhängig von Motivation die Leistung begrenzt? Wenn ja, könnte dies Implikationen haben, z.B. dass **Erholungsphasen** biologisch nötig sind, damit die *Hardware* sich regeneriert. Bisherige Ergebnisse sind nicht eindeutig; einige Studien fanden z.B., dass **Schlafmangel** die subjektive Anstrengung stark erhöht und auch metabolische Abfallstoffe im Gehirn ansteigen​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=A%20recent%20metabolic,beta%20removal%20by%20boosting%20clearance)​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4445645/#:~:text=production,Much%20more%20evidence%20is). Aber ein kausaler Zusammenhang ist schwer nachzuweisen. Diese Frage ist offen und wichtig für Arbeitszeitregelungen etc.
* *Wie lässt sich das Effort-Leistungs-Verhältnis* ***gezielt verbessern****?* – sprich: Können wir Menschen helfen, **effizienter** zu denken, sodass weniger gefühlte Anstrengung für gleiche Leistung nötig ist (ähnlich wie ein Training Muskeln effizienter macht)? Ansätze dazu gibt es: z.B. **Mentale Trainingstechniken**, **Neurofeedback**, **Pharmakologische Stimulanzien** (Ritalin, Modafinil) – diese sollen die *kognitive Ausdauer* erhöhen oder die *Ablenkbarkeit reduzieren*. Teils zeigen Studien Verbesserung in spezifischen kognitiven Aufgaben, teils sind Effekte nur kurzfristig. Die Frage bleibt, wie man **nachhaltig** die *Kapazität oder die Motivation* erhöhen kann, um auf hohem Effort-Niveau lange performen zu können, ohne negative Folgen.
* *Methodische Fragen:* Wie angesprochen ist die **Messung** von Anstrengung eine Herausforderung. Neue **Paradigmen** wie Effort-Discounting-Aufgaben (wo Probanden zwischen einer leichten Aufgabe mit kleinem Lohn vs. einer schweren Aufgabe mit höherem Lohn wählen) quantifizieren *indirekt*, wie viel zusätzliche Belohnung jemand benötigt, um mehr Anstrengung zu akzeptieren. Solche Maße erlauben es, individuelle **„Kostenkurven“** zu erstellen. Eine offene Frage ist, ob diese *dispositionellen Effort-Kosten* stabil sind und Leistungen vorhersagen (z.B. neigt jemand, der mentalen Aufwand stark scheut, dazu, schneller bei komplexen Aufgaben nachzulassen?). Erste Ergebnisse deuten an, dass solche Zusammenhänge bestehen, aber weitere Forschung muss die Reliabilität dieser neuen Messmethoden bestätigen​[link.springer.com](https://link.springer.com/10.3758/s13415-023-01065-9#:~:text=An%20important%20finding%20in%20the,of%20success%20and%20thereby%20the)​[link.springer.com](https://link.springer.com/10.3758/s13415-023-01065-9#:~:text=will%20be%20unaffected%20by%20the,the%20Need%20for%20Cognition%20scale).

Insgesamt lassen sich einige **Praxis-Leitlinien** aus der Literatur ableiten: Um kognitive Spitzenleistungen zu erzielen, sollte man **ausreichend motivieren** (Anstrengung aktivieren), aber **Überforderungssignale im Blick behalten**. *Pausen, moderate Stresspegel, passende Aufgaben* sorgen dafür, dass die Anstrengung *optimal dosiert* ist. Individuelle Unterschiede machen personalisierte Ansätze nötig – was für den einen eine beflügelnde Challenge ist, mag den anderen schon stressen. Die Theorien betonen die **adaptive Regulierung**: Unser kognitives System versucht ständig, ein **Balanceoptimum** zu halten zwischen Leistung erreichen und Ressourcen schonen​[pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5988875/#:~:text=may%20also%20act%20to%20shift,2008). Die beste Performance entsteht, wenn äußere und innere Bedingungen so gestaltet sind, dass dieses Optimum möglichst lange gehalten werden kann.

Abschließend kann man sagen, dass **kognitive Anstrengung und Leistung** in einem *komplizierten, aber nachvollziehbaren Verhältnis* stehen. Die Beziehung ist **nicht starr**, sondern wird dynamisch moduliert. Forschung aus Psychologie, Neurowissenschaft und angrenzenden Feldern hat in den letzten Jahren viel Licht auf diese Dynamik geworfen, aber gleichzeitig neue Fragen eröffnet. Derzeit bewegen wir uns auf ein integratives Modell zu, in dem **kognitive Kontrolle, Motivation, Physiologie und Kontext** zusammen betrachtet werden, um den *Fluss von Anstrengung in Leistung* vollständig zu verstehen.

**Schlüsselpublikationen (Auswahl)**

Zur Vertiefung sind hier einige wichtige Studien, Reviews und Meta-Analysen zum Thema angeführt. Die Angaben umfassen Autoren, Jahr, Titel, Journal und DOI, um eine einfache Auffindbarkeit und APA-7-Konformität zu ermöglichen:

* **Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908).** *The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation*. **Journal of Comparative Neurology and Psychology, 18**, 459–482. DOI: 10.1002/cne.920180503  
  (Klassische Studie, die das **invers U-förmige** Gesetz von Erregung und Leistung formulierte.)
* **Norman, D. A., & Bobrow, D. G. (1975).** *On data-limited and resource-limited processes*. **Cognitive Psychology, 7**, 44–64. DOI: 10.1016/0010-0285(75)90004-3  
  (Weichenstellende Arbeit zur Unterscheidung von **ressourcenlimitierten** vs. **datenlimitierten** Aufgaben – theoretische Grundlage für Effort-Leistungs-Zusammenhänge.)
* **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. DOI: 10.1037/0022-3514.46.3.610  
  (Klassische Demonstration des **Choking under Pressure**-Phänomens mit theoretischer Erklärung durch *übermäßige Selbstaufmerksamkeit*.)
* **Brehm, J. W., & Self, E. A. (1989).** *The intensity of motivation*. **Annual Review of Psychology, 40**, 109–131. DOI: 10.1146/annurev.ps.40.020189.000545  
  (Übersichtsartikel, der die **Motivational Intensity Theory** darlegt – wann investieren Menschen wie viel Anstrengung? – Grundlegend für spätere Effort-Studien.)
* **Westbrook, A., & Braver, T. S. (2015).** *Cognitive effort: A neuroeconomic approach*. **Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 15**(2), 395–415. DOI: 10.3758/s13415-015-0334-y  
  (Umfassendes **Review** der Literatur zu kognitiver Anstrengung; integriert psychologische Theorien mit neuroökonomischen Ansätzen, diskutiert Definitionen und Messmarker kritisch.)
* **Kurzban, R., Duckworth, A. L., Kable, J. W., & Myers, J. (2013).** *An opportunity cost model of subjective effort and task performance*. **Behavioral and Brain Sciences, 36**(6), 661–679. DOI: 10.1017/S0140525X12003196  
  (Einflussreiche theoretische Arbeit, welche vorschlägt, dass **gefühlte Anstrengung** die *Opportunitätskosten* der aktuellen Aufgabe reflektiert. Mit umfangreichem Kommentarteil anderer Forscher.)
* **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  
  (Schlüsselartikel, der das **Expected Value of Control (EVC)**-Modell vorstellt – eine formale Theorie zur Effort-Allokation; verbindet Anstrengungskosten, Nutzen und neuronale Umsetzung im ACC.)
* **Inzlicht, M., Schmeichel, B. J., & Macrae, C. N. (2014).** *Why self-control seems (but may not be) limited*. **Trends in Cognitive Sciences, 18**(3), 127–133. DOI: 10.1016/j.tics.2013.12.009  
  (Positionspapier, das die klassische **Ego-Depletion**-Sicht in Frage stellt und ein **Prozessmodell** vorschlägt: nach Anstrengung wechseln Motivation und Aufmerksamkeit; wichtig für Verständnis von mentaler Ermüdung.)
* **Ariely, D., Gneezy, U., Loewenstein, G., & Mazar, N. (2009).** *Large Stakes and Big Mistakes*. **Review of Economic Studies, 76**(2), 451–469. DOI: 10.1111/j.1467-937X.2009.00534.x  
  (Bekanntes Feldexperiment aus der Verhaltensökonomie: Extrem hohe **Incentives** führten zu schlechterer Leistung – belegt Grenzen linearer Motivation-Leistungs-Annahmen.)
* **Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2005).** *When high-powered people fail: Working memory and "choking under pressure" in math*. **Psychological Science, 16**(2), 101–105. DOI: 10.1111/j.0956-7976.2005.00789.x  
  (Empirische Studie, die zeigt, dass bei schwierigen Matheaufgaben **hochbegabte (hohe WMC) Personen unter Druck** überproportional Leistung verlieren; Evidenz für Interaktion von Fähigkeit und Stress.)
* **Ennis, G. E., Hess, T. M., & Smith, B. T. (2013).** *The impact of age and motivation on cognitive effort: Implications for cognitive engagement in older adulthood*. **Psychology and Aging, 28**(2), 495–504. DOI: 10.1037/a0031255  
  (Studie, die mit physiologischen Messungen zeigt, dass **ältere Erwachsene mehr Anstrengung** aufwenden müssen und bei hoher Schwierigkeit eher **disengagieren**; illustriert Altersunterschiede in Effort-Leistung.)
* **David, L., Vassena, E., & Bijleveld, E. (2024).** *The unpleasantness of thinking: A meta-analytic review of the association between mental effort and negative affect*. **Psychological Bulletin, 150**(9), 1070–1093. DOI: 10.1037/bul0000443  
  (Frische **Meta-Analyse** über 170 Studien, die bestätigt, dass mentale Anstrengung **generell als aversiv** empfunden wird und kaum Moderatoren diesen Zusammenhang abschwächen. Untermauert die Auffassung von Effort als „Kosten“.)
* **Clay, G., Mlynski, C., Korb, F. M., Goschke, T., & Job, V. (2022).** *Rewarding cognitive effort increases the intrinsic value of mental labor*. **Proceedings of the National Academy of Sciences, 119**(5), e2111785119. DOI: 10.1073/pnas.2111785119  
  (Aktuelle Studie, die zeigt, dass **Belohnung von Denk-Anstrengung** dazu führen kann, dass Personen auch ohne äußere Anreize später mehr kognitive Herausforderungen wählen – Anstrengung wird also *weniger gemieden*. Bedeutend für motivationspsychologische Anwendungen.)
* **Yu, R. (2015).** *Choking under pressure: The neuropsychological mechanisms of incentive-induced performance decrements*. **Frontiers in Behavioral Neuroscience, 9**, 19. DOI: 10.3389/fnbeh.2015.00019  
  (Review-Artikel, der die **neurologischen und psychologischen Grundlagen** des Choking unter Druck zusammenfasst – inkl. Ablenkungs-, Überwachungs- und Übererregungs-Theorien – und neuronale Befunde diskutiert.)