

Das Arbeitsgedächtnis als limitierender Faktor mentaler Belastung bei digital vernetzter Arbeit Annäherung an eine mentale Dauerbelastungsgrenze

Ein Projekt des Institutes und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Arbeitsgruppe für angewandte Medizin und Psychologie in der Arbeitswelt (AMPA)

Das Arbeitsgedächtnis als limitierender Faktor mentaler Belastung bei digital vernetzter Arbeit

Annäherung an eine mentale Dauerbelastungsgrenze

Ein Projekt des Instituts und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin,
Arbeitsgruppe für angewandte Medizin und Psychologie in der Arbeitswelt (AMPA)

Das Arbeitsgedächtnis als limitierender Faktor mentaler Belastung bei digital vernetzter Arbeit
Annäherung an eine mentale Dauerbelastungsgrenze

Diese Broschüre ist im Rahmen des Forschungsprojekts LedivA entstanden:



Herausgeber: Institut und Poliklinik für Arbeits-, Umwelt- und Sozialmedizin, Klinikum der Ludwigs-Maximilians-Universität, Ziemssenstraße 5, 81377 München

Autorinnen: Dr. Barbara Heiden, Prof. Dr. Britta Herbig

Abbildungen, soweit nicht anders vermerkt: Dr. Barbara Heiden; Titelbild: Pixabay GmbH

Erscheinungsdatum: April 2022

Inhalt

Interdisziplinäre Betrachtung des Begriffs „mental“ im Kontext von Belastung	2
Veränderungen in der Bedeutung und Betrachtung mentaler Belastungen im Zeitverlauf	2
Mentale versus physische Belastungsgrenze	3
Informationsverarbeitung im Zeitalter digitaler Technologien	4
Merkmale digital vernetzter Arbeit	7
Von der analogen nicht vernetzten über die vernetzte zur digital vernetzten Arbeit	7
Digital vernetzte Arbeit als komplexes System	7
Mentale Anforderungen digital vernetzter Arbeit	8
Die Funktionalität des Arbeitsgedächtnisses als limitierender Faktor bei der Bewältigung mentaler Anforderungen digital vernetzter Arbeit	10
Grundlagen der Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis	10
Veränderte Informationsmerkmale und die Auswirkung auf den Erwerb und den Abruf von Wissen bei digital vernetzter Arbeit	11
Nutzbarkeit eines Konzepts der „absoluten“ Grenze mentaler Belastungen auf Grundlage des Arbeitsgedächtnisses	14
Beanspruchungsfolgen kognitiver Anforderungen digital vernetzter Arbeit	15
Referenzen	18

Interdisziplinäre Betrachtung des Begriffs „mental“ im Kontext von Belastung

Seit langem wird in verschiedenen Forschungsfeldern (z.B. Psychologie, Soziologie, Medizin, Pädagogik, Human Factors, Ingenieurwissenschaften) versucht, mit Hilfe von Modellen eines Phänomens habhaft zu werden, das Beschäftigte im Kontext der zunehmenden Computerisierung/Digitalisierung als Be- und Überlastung erleben, und das nicht Folge körperlicher, sondern „mentaler“ (Über-)Anstrengung ist. Dabei nimmt beinahe jede Disziplin ihre eigene Definition des „Mentalen“ im Belastungskontext vor, insbesondere im englischsprachigen Raum, wo vielfach von „mental load“ oder „mental workload“, aber gleichzeitig auch von „cognitive load“ die Rede ist und sich hinter diesen Begriffen unterschiedliche Konzept-Definitionen verbergen, die je nach Disziplin bzw. Zielsetzung einen etwas anderen Fokus haben. Unterschiede finden sich bereits bei der grundlegenden Charakterisierung von Anforderungen, aber ebenso bei der Beschreibung von Verarbeitungsmechanismen und Beanspruchungsmerkmalen. So werden darunter zum einen allgemein psychische Belastungen und Beanspruchungen gefasst, zum anderen aber auch – in Abgrenzung zu emotionalen Belastungen und Beanspruchungen und somit etwas spezifischer – geistige oder kognitive Anforderungen und Beanspruchungen.

In ihrem Review geben Van Acker et al. (2017) einen Überblick über die unterschiedliche Verwendung des Begriffs „mental workload“ im Rahmen verschiedener Konzepte. Gemäß dem Dictionary for Human Factors/Ergonomics (Stramler, 1992) wird „mental workload“ verstanden als „any measure of the amount of mental effort required to perform a task“ mit einem Fokus auf Leistungskriterien (Performance) wie zum Beispiel Qualität oder Sicherheit. Im Bereich der Erziehungswissenschaften findet sich ein ähnliches Verständnis, allerdings – ergänzend zur Performance – mit Lernen als weiterer Beanspruchungsfolge (Sweller 1988, 1994). In der Kognitionspsychologie wird „cognitive load“ z.T. als die Belastung verstanden, die durch die Bearbeitung von und/oder die Ablenkung durch eine sekundäre Aufgabe verursacht wird (Ricker et al., 2014; Sweller, 2011), z.T. aber auch in einem weiteren Sinn als ein Aspekt der Schwierigkeit einer Aufgabe (Martin et al., 2018; Paas et al. 2003; Sörqvist et al. 2016).

Einig ist man sich jedoch über das zugrundeliegende „Problem“, mit dem man sich bei der Analyse und Bewertung des „Mentalen“ konfrontiert sieht: Das Gehirn als Black Box, dessen Prozesse und Mechanismen naturwissenschaftlich nach wie vor weder im Detail beobachtet, geschweige denn in Gänze verstanden oder nachvollzogen werden können. Zwar macht die Diagnostik, u.a. die Bildgebung, Fortschritte, gleichzeitig wird mit jedem Zugewinn an diagnostischen Möglichkeiten die Komplexität der Abläufe deutlicher und die Herstellung valider Kausalitätsbezüge zwischen physiologischen sowie biochemischen Prozessen und psychischen Belastungen und Beanspruchungen vorerst nicht wahrscheinlicher. So können zwar zerebrale Aktivitätsmuster oder Signale mit gleichzeitig stattfindenden (psychischen) Aktivitäten korreliert werden (etwa bei fMRT- oder EEG-Untersuchungen), eine potenziell parallel vorhandene, tatsächliche „mentale“ 1:1-Abbildung der Aktivität beim Tätigen, geschweige denn eine ggf. auftretende Erfahrung von Überanstrengung sind aber nicht nachverfolgbar (Ayres et al., 2021; Matthews, 2015; Paas & van Merriënboer, 2020).

Das spiegelt sich auch in existierenden Modellen und Theorien wider, die versuchen, mentale Prozesse abzubilden und mit Mess- und Anwendungsmethoden zu verbinden (z.B. Cognitive Load Theory, Sweller 1994; Multiple Resource Theory, Wickens 2008). In deren Fokus steht die Betrachtung und Analyse von Informationsverarbeitungsprozessen des Gehirns. Es gelingt dabei zwar, einzelne Modellelemente schlüssig darzustellen, zu verbinden und zu belegen, aufgrund der Komplexität bzw. der nach wie vor unklaren Funktionsweise des Gesamtsystems fehlt aber noch immer eine umfassende Theorie, die mit Blick auf die Messbarkeit mentaler Belastung/Beanspruchung alle relevanten Aspekte erfolgreich integriert.

Veränderungen in der Bedeutung und Betrachtung mentaler Belastungen im Zeitverlauf

Bezogen auf die Veränderung der Forschungslandschaft findet sich eine erste Welle experimenteller Studien zum Thema „mentale Belastung“ im Zuge der Automatisierung, häufig im Rahmen sicherheitskritischer Tätigkeiten, z.B. im militärischen Umfeld, der Überwachung von Atomkraftwerken oder im Bereich der Flugsicherung. In diesem Zusammenhang standen v.a. der Sicherheitsaspekt und die Verhinderung gravierender Auswirkungen menschlicher

Fehler im Umgang mit der Technik im Vordergrund. Sie haben einen wesentlichen Beitrag geleistet, um die Zusammenhänge zwischen verschiedenen geistigen Arbeitsanforderungen, dem Erleben (u.a. Ermüdung, Monotonie, Sättigung) von Beschäftigten und ihren Konsequenzen (v.a. fehlerhaftes Verhalten) besser zu verstehen. Diese Studien erfolgten vorwiegend unter Laborbedingungen zur Betrachtung einzelner, reproduzierbarer Anforderungsbedingungen, die eine Steuerung und Messung von Belastung und Beanspruchung erlauben. Auch methodengemischte Arbeitsanalysen wurden durchgeführt, bei denen allerdings die Erfassung der mentalen Belastung gerade auch im Zeitverlauf nur indirekt erschließend möglich war und ist (Zolg et al. 2021).

Im Zuge der Digitalisierung ist in den letzten Jahren eine zweite Welle an Forschungsprojekten zu verzeichnen, bei denen erneut Informationsverarbeitungsprozesse im Zentrum des wissenschaftlichen Interesses stehen. Ein wesentlicher Treiber dürften dabei die inzwischen sektorenübergreifende Relevanz dieser Entwicklung und die erwarteten gravierenden Auswirkungen auf die Arbeitswelt und die Beschäftigungssituation sein. Entsprechend gewinnt die Notwendigkeit tragfähiger Arbeits- und Gesundheitsschutz-Maßnahmen für „digitale“ Tätigkeiten eine höhere gesellschaftliche Bedeutung.

Mentale versus physische Belastungsgrenze

Bereits das Forschungsprogramm „Humanisierung der Arbeit“ in den 70er und 80er Jahren verfolgte einen ganzheitlichen Ansatz mit Blick auf die physische UND psychische Gesundheit der Beschäftigten (für einen kurzen Überblick im Kontext „Industrie 4.0“ s. Hartmann, 2015). In dieser Phase wurden erstmalig psychische Belastungen als relevante Quelle von Fehlbeanspruchungen in den Fokus der Aufmerksamkeit gebracht, in erster Linie allerdings psychische Beanspruchungen, die aus einem „Zuwenig“ an geistiger Anforderung respektive Aktivität entstanden und in Anforderungserweiterungskonzepten wie Job Enrichment oder (teil)autonomer Gruppenarbeit mündeten. Ein wesentliches Augenmerk, v.a. auf Seiten der Arbeitsmedizin, lag damals noch auf dem Schutz der Beschäftigten vor physischer Überlastung bei manuellen Tätigkeiten. In diesem Bestreben lässt sich eine Zweigleisigkeit der Entwicklung nachvollziehen: Einerseits findet sich auf wissenschaftlicher Ebene die Suche nach einer absoluten Grenze der körperlichen Belastbarkeit, andererseits geht es um eine sozialpartnerschaftliche Auseinandersetzung um eine praktische und praktikable Limitierung körperlicher Anforderungen im konkreten Arbeitsalltag. Sämtliche rechtlichen Regelungen sind – stets unter Einbindung der jeweils vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse – letztlich Ergebnis dieses Aushandlungsprozesses. Es stellt sich die Frage, ob eine vergleichbare Annäherung an eine (praxistaugliche) mentale Dauerbelastungsgrenze wissenschaftlich zulässig und praktisch möglich ist.

Bei der Betrachtung einer körperlichen Belastungsgrenze muss berücksichtigt werden, dass zwischen statischer und dynamischer Muskularbeit unterschieden wird, und bei letzterer zusätzlich zwischen einseitiger dynamischer und schwerer dynamischer Muskularbeit. Statische Muskularbeit kann nur für einen sehr kurzen Zeitraum geleistet werden, dann reicht die Blutzufuhr zur Muskulatur für die Versorgung nicht mehr aus (Reduzierung des Blutflusses durch den Muskelnenddruck). Einseitig dynamische Arbeit hingegen kann über einen langen Zeitraum schädigungsfrei aufrechterhalten werden. Hier liegt die Limitierung in einer Schädigung der anatomischen Strukturen. Schwere dynamische Arbeit kann so lange geleistet werden, bis die Energiereserven aufgebraucht bzw. nicht mehr schnell genug regeneriert werden können. Historisch beschränkte sich die Forderung nach einer Begrenzung der Belastungen – gesundheits-, aber auch sozialpolitisch – lange auf diese Form der schweren körperlichen Arbeit. In der wissenschaftlichen Annäherung an eine Dauerbelastungsgrenze wurde dabei die begrenzte physiologische Leistungsfähigkeit der Muskulatur als Ausgangspunkt gewählt und die maximal zulässige Belastung in Form eines Prozentsatzes der Belastung bei – ergometrisch ermittelter – Maximalleistung definiert und nach Zeitdauer differenziert (zwei, vier oder acht Stunden), d.h. letztlich wurde sie auf Messungen unter Laborbedingungen begründet (Frauendorf, 1990; Hartmann et al., 2018a; Hartmann et al. 2018b; Hettinger, 1981; Müller & Karrasch, 1956; REFA, 1978; Laurig, 1992; Rohmert & Laurig, 1975; Seifrin et al., 2018). Die Festlegung einer intolerablen Obergrenze in dieser Form ist somit in gewisser Weise willkürlich bzw. Resultat eines Aushandlungsprozesses. Die Messung der konkreten, individuellen Belastung und Beanspruchung bleibt weiterhin schwierig. Dennoch wird diese Grenze mehrheitlich akzeptiert und dient als Grundlage für weitere Verfeinerung und Verbesserung, z.B. in Form einer Berücksichtigung der tätigkeitsbezogenen Ausführungsbedingungen (z.B. Leitmerkalmethode, BAuA, 2019).

Eine vergleichbare Herangehensweise mit Blick auf eine mentale Dauerbelastungsgrenze ist nur vorstellbar, wenn sich für das Gesamtsystem der „mentalen Arbeit“ zum einen ein vergleichbares, limitierendes Teilsystem benennen lässt wie die „Energiebereitstellung“ für das Gesamtsystem der „Muskelarbeit“, und sich zum anderen dafür auf der Beanspruchungsseite ein Pendant der Maximalleistung findet.

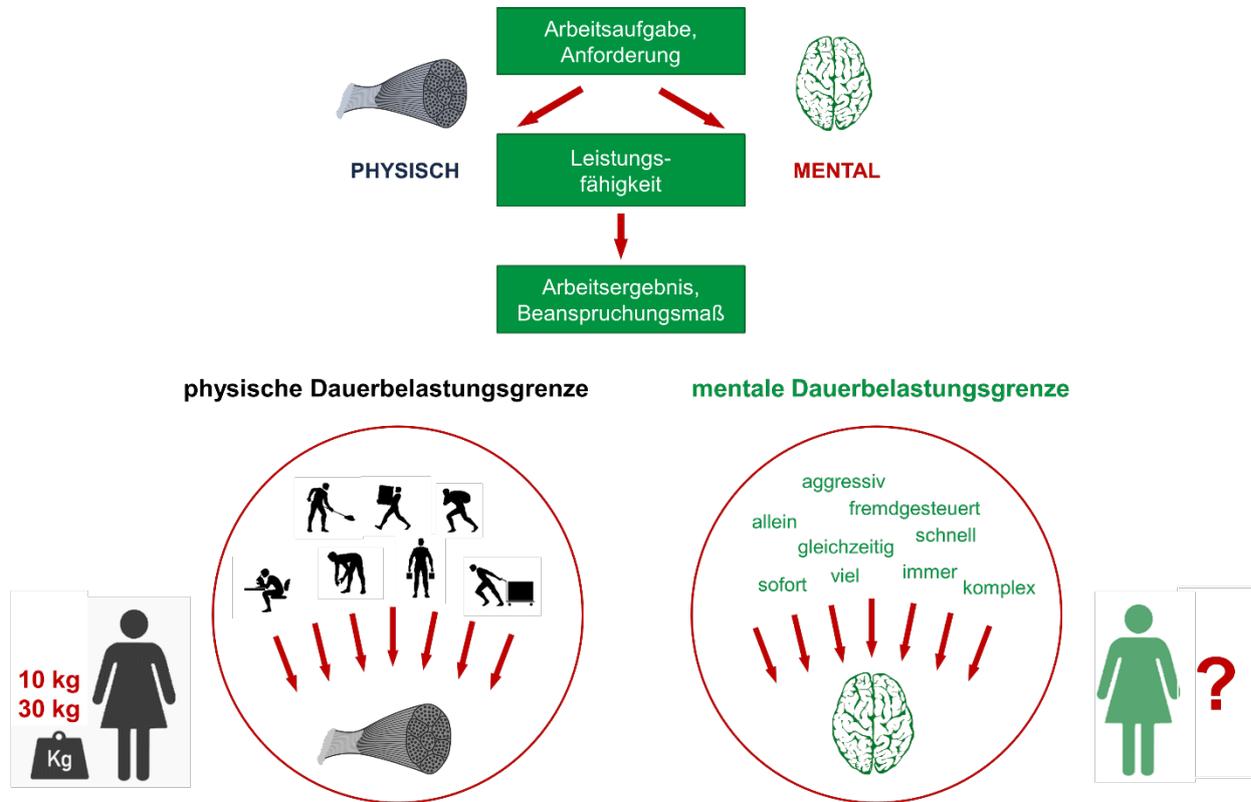


Abbildung 1: Annäherung an eine physische und mentale Dauerbelastungsgrenze

Eine Annäherung an ein mögliches limitiertes Korrelat „mentaler Arbeit“ setzt zunächst voraus, übergreifend relevante mentale Belastungen und Beanspruchungen der veränderten/neuen Tätigkeitsprofile zu spezifizieren sowie allgemeine menschliche kognitive Fähigkeitsbereiche zu identifizieren, die einen limitierenden Einfluss haben könnten.

Informationsverarbeitung im Zeitalter digitaler Technologien

Mensch und Computer sind in der Lage, eine immense Menge an Daten und Informationen zu speichern und zu verarbeiten. Folgt man dem Grundgedanken der sog. „Wissenspyramide“ (z.B. Rowley 2007), in der Daten als primäre Einheit stehen und Informationen bereits eine (Sinn-)Verbindung von mindestens zwei Daten enthalten, zeigt sich allerdings bereits ein deutlicher Unterschied: Während Computer herausragend mit Daten umgehen können, liegt die Stärke menschlicher Kognition in der Verarbeitung von Informationen, ihrer Wahrnehmung bzw. Aufnahme sowie der Entschlüsselung/Verarbeitung und dem Abruf. Der Mensch kann über seine verschiedenen Sinne Reize unterschiedlichster Qualität wahrnehmen, ohne ihnen bewusst Aufmerksamkeit schenken zu müssen. Dieses gleichzeitige Erfassen multimodaler Daten (die damit bereits Informationen im obengenannten Sinn sind) aus verschiedenen Quellen (externen wie auch internen), aber auch das Erinnern und (Neu-)Verknüpfen gelingt über die parallele Erregung multipler neuronaler Netzwerke im Gehirn mit seinen bis zu 100 Milliarden Neuronen und bis zu 10.000 Synapsen pro Neuron. Computer (mit Ausnahme der neuesten Entwicklungen im Bereich Quantencomputer) sind hingegen primär nur zu einer seriellen (algorithmischen) Verarbeitung binärer Daten in der Lage – auch wenn diese durch die enormen Geschwindigkeiten der Verarbeitungen oft wie parallele Prozesse erscheinen –, die in ihrer Logik der jeweiligen Programmierung folgt (Maschinenlernen im Kontext künstlicher Intelligenz bedingt ausgenommen, d.h. die „Lernvorgaben“ sind hier zwar algorithmisch festgelegt, die „Ergebnisse“, auf deren Basis z.T. weiter gelernt wird, aber nicht

vorhersehbar). Daten, in diesem „klassischen“ Sinn, haben im Gegensatz zu multimodalen Informationen keinen „bildlich/sprechenden“ Charakter, sondern entsprechen in ihrer Gestalt am ehesten „abstrakten/stummen“ Zeichen, deren Bedeutung nur im Zusammenhang mit anderen Daten erschlossen werden kann und deren symbolischer Gehalt bekannt sein bzw. gelernt werden muss, um sie zu interpretieren.

Nach wie vor ist der Mensch dem Computer in der Wahrnehmung und entsprechend auch der „Nutzbarmachung“ multimodaler, analoger „Daten“ überlegen. So ist diese Form der parallelen Informationsverarbeitung nach heutigem Stand der Wissenschaft eine Grundlage höherer kognitiven Funktionen (z.B. komplexes Problemlösen). Hingegen haben Computer und digitale Technologien bei der Verarbeitung und Speicherung binärer, virtueller Daten in ihrer Kapazität und Geschwindigkeit die Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns längst weit überschritten. Seit längerem wird im Bereich der Robotik und Künstlichen Intelligenz (KI) versucht, sowohl bei der Wahrnehmung als auch der parallelen Informationsverarbeitung physiologische Prozesse zu imitieren. Trotz großer Fortschritte erreicht man bislang aber längst nicht das Niveau des menschlichen Gehirns und es bleibt fraglich, ob dies in bestimmten Bereichen überhaupt gelingen kann (#Link#siehe Exkurs zur Künstlichen Intelligenz, KI).

Gerade in der Bearbeitung von Aufgaben mit einem hohen Maß an kognitiven Anforderungen, wie sie bei Prozessen mit höheren intellektuellen Regulationsanforderungen (z.B. Lösung komplexer Probleme, Umgang mit Unsicherheit/Unplanbarkeit) entstehen, liegen entsprechend weiterhin die Stärken des Menschen. Der unterstützende Einsatz digitaler Technologien kann aber in zweifacher Hinsicht entlasten: Zum einen können durch eine Externalisierung algorithmisierbarer Aufgabenteile freie Kapazitäten für die kognitiven (Kern-)Anteile der Aufgabe geschaffen werden. Zum anderen kann das Risiko von Fehlern reduziert werden, wenn eine große Menge abstrakter/binärer Daten berücksichtigt werden muss.

Beim Lösen eines komplexen Problems ist der Mensch z.B. gefordert, gleichzeitig das Problem selbst präsent zu halten, Zwischenziele und -ergebnisse zu berücksichtigen und diese vorausschauend (bzw. teilweise auch rückblickend) wie auch strategisch zu verknüpfen (Kotovsky et al. 1985, Sweller 1988). Um dabei die immense Menge an Informationen be-/verarbeitbar zu halten, versucht er oftmals durch eine – meist unbewusste – Informationsreduktion eine Vereinfachung des „Problemraums“ herzustellen, damit er besser und weniger belastend agieren kann. Diese Vereinfachung birgt das Risiko falscher Schlussfolgerungen und Fehlhandlungen, z.B., wenn bei einem vermeintlichen Zuviel an Rückmeldungen eines Programms Teile einfach gelöscht werden, obwohl sie potenziell relevante Informationen beinhalteten. Die Aufbereitung von Daten durch digitale Technologien verdichtet vorhandene Informationen bei gleichzeitiger Minimierung des Risikos eines Informationsverlusts sowie „illegaler Operationen“ und kann so das Gehirn entlasten.

In dem Maß, in dem digitale Technologien Arbeit prägen, verändern sich Qualität und Quantität von Daten bzw. Informationen, mit denen Beschäftigte an ihrem Arbeitsplatz konfrontiert sind. Bei vielen Tätigkeiten vollzieht sich eine durch die Technik erzwungene Veränderung der Arbeitsgrundlage von Informationen hin zu Daten, sowohl in der Zurverfügungstellung als auch im Abruf. In Folge ist die Arbeitsrealität heute mittlerweile immer öfter Spiegelbild der Logik digitaler Technologien und ihrer Notwendigkeiten, nicht Resultat einer aktiven Gestaltung durch den Menschen. Menschliche Fähigkeiten bleiben ungenutzt, d.h. dem Menschen wird die Möglichkeit genommen, all seine Fähigkeiten optimal zu nutzen. Fehlbeanspruchungen sind dann eine logische Konsequenz.

Geht man von der Unterstützung und Entlastung des Menschen als ursprünglich prioritärem Ziel des Technologie-Einsatzes aus, muss man bei hohem Digitalisierungsgrad und einer entsprechend hohen Kapazität digitaler Technologien inzwischen eine tendenziell gegenläufige Schlussfolgerung ziehen: Die Anzahl externalisierter Prozesse und die Fülle der daraus entstehenden, abstrahierten Ergebnisse ist so immens, dass diese virtuellen/abstrakten Daten erst wieder in den individuellen, konkreten Arbeitskontext „übersetzt“ (= analogisiert) und zu nutzbaren Informationen gemacht und integriert werden müssen. Damit kann, bezogen auf die Anforderungen an die kognitiven Fähigkeiten, die Arbeitssituation selbst unter Umständen zu einem komplexen Problem werden.

Exkurs: Künstliche Intelligenz

Die „Kapitulation“ der Psychologie und anderer Disziplinen vor der Herausforderung, präzise zu definieren, was menschliche Intelligenz ist (operationale Definition „Intelligenz ist, was ein Intelligenztest misst“), setzt sich auch in der Geschichte der Entwicklung und Definition Künstlicher Intelligenz (KI) fort:

Bereits Mitte der 1950er Jahre wurde der Begriff der Künstlichen Intelligenz (KI) geprägt; es folgten Jahrzehnte einer grenzenlosen und enthusiastischen Erwartung, dass Computer „in der Lage sein würden, Aufgaben zu lösen, zu deren Lösung Intelligenz notwendig ist, wenn sie vom Menschen durchgeführt werden“ (Marvin Minsky, Pionier der KI). Die Erwartung, dass Computer „wie Menschen“ denken würden, nur eben (am Ende der Entwicklung) schneller, genauer und fehlerfreier, erfüllte sich in den Folgejahren nicht. Schnell wurden kritische Auseinandersetzungen mit dem Konzept der KI als „bessere“ menschliche Intelligenz laut (lesenswert z.B. Dreyfus & Dreyfus, 1986). Mit der zunehmenden technischen Leistungsfähigkeit von Computern und Entwicklungen wie Expertensystemen, hat sich seit den 1990ern die begriffliche Nutzung verschoben: Künstliche Intelligenz – meist weiterhin als nicht natürliches System verstanden, das kognitive Fähigkeiten des Menschen nachahmt – bezeichnet nun Systeme, die mithilfe künstlicher neuronaler Netze und Maschinenlernalgorithmen anhand großer Datenmengen („Big Data“) trainieren, Muster zu erkennen und auf dieser Basis selbst Regeln zu entwickeln, nach denen dann weitere Daten durchsucht werden können, um z.B. Vorhersagen zu treffen. Die Fülle der Anwendungen erscheint riesig und wird in den nächsten Jahren weiter zunehmen. Heute wird zwischen starker und schwacher KI unterschieden – starke KI ist (wie der Mensch) unabhängig von einem konkreten Bereich oder einer konkreten Aufgabe lernfähig, während schwache KI meist ein Algorithmus ist, der für eine spezielle Aufgabe entwickelt wurde.

In der Mustererkennung und der Entdeckung von Zusammenhängen ist KI Menschen aufgrund ihrer schiereren Rechenleistung bereits jetzt weit voraus. Was bisher aber kaum oder nur höchst spezialisiert gelingt und KI-Forscher umtreibt ist, KI ein „Verständnis“ für Kausalität beizubringen (z.B. Max-Planck-Forschung 3/2021, „Künstliche Intelligenz macht sich schlau“, #Link#https://www.mpg.de/17670795/MPF_2021_3) – was Menschen als Ursache-Wirkung-Beziehung meist sehr schnell und intuitiv wahrnehmen, ist für KI selbst im aktuellen Entwicklungsstatus oft unmöglich:

Ein einfaches, in Statistikvorlesungen oft genutztes Beispiel, das bei den meisten Menschen oft unmittelbar Erstaunen und Erheiterung hervorruft, ist die hochsignifikante positive Korrelation von $r=0.62$ zwischen der Anzahl von Storchenpaaren und der menschlichen Geburtenrate in 17 europäischen Ländern (Matthews, 2000). Die Erheiterung speist sich dabei vermutlich aus mehreren Quellen: 1. einer ersten Umsetzung der Korrelation in eine Kausalbeziehung zu der Menschen („Der Storch bringt die Babys“), 2. ein Wiedererkennen (also eine Gedächtnisleistung) dieses Satzes (aber oft auch zugehöriger Bilder und Karikaturen) als eine „gängige“ Erzählung für Kinder, die man noch nicht aufklären möchte, mit möglicherweise einhergehenden Erinnerungen an solche Erzählungen, und 3. die kontrastierenden biologischen Fakten, die ebenfalls aus dem Gedächtnis zur Verfügung gestellt werden. Diese Intelligenzleistung lässt die meisten Menschen in Millisekunden erkennen, dass wir es mit einem (amüsanten) Zusammenhang zu tun haben, der eben nicht kausal ist und durch weitere Variablen bedingt sein muss (in diesem Fall etwa durch eine höhere Dichte an Storchenpaaren in ländlicheren Regionen, in denen der sozioökonomische Status geringer ist und mehr Kinder geboren werden). KI, die eine solche Korrelation in einem großen Datensatz mit Leichtigkeit findet, hat dieses „Weltwissen“ nicht und müsste – gerade bei schwierig zu interpretierenden Zusammenhängen – mit unzähligen, im Vorhinein eigentlich nicht festzulegenden, Wissensbasen „gefüttert“ werden. Dies wird noch schwieriger, wenn auf Basis von Faktenwissen viele Zusammenhänge kausal möglich erscheinen und es nur durch „Metawissen“ und „Metakognition“, d.h. ein reflektierendes Nachdenken über den Zusammenhang und sein Zustandekommen, gelingen kann, auch alternative Erklärungen (u.a. systematische Fehler in der Datenbasis!) in Betracht zu ziehen. Traurige Berühmtheit haben hier mittlerweile KI-Anwendungen erlangt, deren Vorhersagen „rassistisch“ sind, weil die zugrundeliegenden Daten bereits von einem rassistischen Bias geprägt sind, wenn z.B. afroamerikanischen Straftätern eine wesentliche höhere Rückfallquote zugeschrieben wird als weißen, ohne dass dies der Realität entspricht. Der Problematik liegt allgemein zu Grunde, dass eine ganze Gruppe von Menschen ignoriert wird, weil ihre Daten gar nicht erst erhoben und/oder in die KI eingespeist werden, z.B. der sogenannte „Gender Data Gap“ in medizinischen KI-gestützten Diagnosetools oder in Spracherkennungssystemen, die durchgängig weibliche Stimmen schlechter erkennen als männliche.

Merkmale digital vernetzter Arbeit

Von der analogen nicht vernetzten über die vernetzte zur digital vernetzten Arbeit

Klassische, an den Betrieb gebundene, nicht vernetzte Arbeit bedeutet für das Individuum, dass es seine eigentliche Arbeitsaufgabe dort ausführt, wo es ist, und auch das Arbeitsergebnis vor Ort entsteht. In „Reinform“ (v.a. in der Produktion) sind Arbeitsgegenstand und -mittel analog und konkret, und haben spezifische, multimodale Eigenschaften. Sofern Kooperation und Interaktion ein Bestandteil der Arbeitsaufgabe sind, werden diese strukturell über die Organisation oder die Technik in einer quasi unmittelbaren Form vorgegeben und ermöglicht. In zunehmend vernetzten Arbeitszusammenhängen entfällt immer häufiger diese Unmittelbarkeit und die Beschäftigten sind gezwungen mit Akteuren (Menschen und Technologien) zusammenzuarbeiten, zu denen sie physisch nicht in Kontakt stehen. Kooperation und Interaktion verlieren ihre Unmittelbarkeit im Arbeitshandeln und damit einen Teil ihrer Sinnlichkeit. Es findet ein Transfer der „Begegnung“ in den virtuellen Raum statt. Hinzu kommt, dass das Zurverfügungstellen, der Abruf und die Nutzung von (Zwischen-)Ergebnissen in der Zusammenarbeit tendenziell nicht mehr in einer vorgegebenen, aufeinander bezogenen zeitlichen Abfolge stattfinden muss, sondern häufig in voneinander unabhängigen, abgegrenzten und zergliederten Einheiten erfolgt. In Summe findet eine räumliche, sinnliche und zeitliche Entkopplung der Akteure statt.

Diese Entkopplung trifft das gesamte Arbeitshandeln und vollzieht sich im gesamten Arbeitsprozess. Mit Zunahme der Digitalisierung befinden sich auch Arbeitsaufgabe und Arbeitsergebnis (z.B. Wartung von Endgeräten) nicht mehr zwingend am selben und nicht unbedingt nur an einem Ort. Der Arbeitsgegenstand ist oftmals virtuell/abstrakt. Die Arbeitsmittel (Computer-Soft-/Hardware) sind globaler einsetzbar und in Erscheinungsform und Handhabung in weiten Teilen unspezifisch und vom zu erzielenden Ergebnis primär unabhängig. Beides verliert seine sensorische Vielfalt und reduziert sich im Extrem auf die Bearbeitung optisch dargebotener digitaler Daten. Damit der Mensch deren Bedeutung erfassen und verstehen kann, muss eine Transformation in eine vom Menschen wahrnehm- und handhabbare Form erfolgen. Ein Beispiel ist die Visualisierung auftretender Störungen in Produktions- oder Logistikketten.

Für das Individuum bedeutet diese Veränderung der Arbeitsrealität den Verlust des mehrdimensionalen, spezifischen „Koordinatensystems“ (sensorische Eigenschaften von Arbeitsgegenstand und Arbeitsmitteln, Zeit, Ort) der jeweiligen Arbeitstätigkeit. Entsprechend ist der/die Einzelne gefordert, selbst ein Modell seiner Aufgabenstruktur(en) herzustellen und zu „vergegenständlichen“ sowie dieses Modell kontinuierlich mit der Realität abzugleichen und zu aktualisieren. Diese Situationsdefinition muss quasi in jedem Moment des Arbeitstages und z.T. sogar darüber hinaus erfolgen und lässt sich letztlich nie finalisieren.

Der Transfer in den virtuellen Raum und zurück, wie auch der kontinuierliche Abgleich zwischen analoger und digitaler Welt, stellen hohe Anforderungen an die mentale Leistungsfähigkeit. Während die Arbeit an und mit „Nicht-Gegenständlichem“ im Bereich der Wissensarbeit quasi ein definitorisches Merkmal ist, hätte sich diese Veränderung in anderen Sektoren wie der Produktion oder der Logistik ohne die Entwicklungen der Digitalisierung nicht vollzogen. Mittlerweile hat sich jedoch diese Form mentaler Anforderung zu einer generalisierten Leistungsanforderung im Arbeitskontext entwickelt. Selbst wenn die eigentliche Arbeitsaufgabe keine hohen mentalen Anforderungen stellt, ist die Aktivierung einer permanenten mentalen Grundleistung notwendig, um überhaupt handlungsfähig zu sein. Das Aktivierungslevel hängt vom Digitalisierungsgrad der Arbeitstätigkeit ab.

Digital vernetzte Arbeit als komplexes System

Im Extrem entspricht digital vernetzte Arbeit in ihren strukturellen Voraussetzungen den Kriterien eines komplexen Systems (Dörner & Funke, 2017): Es existiert eine Vielzahl an unterschiedlichen Akteuren (Menschen und Technologien), die in unterschiedlicher Weise miteinander verknüpft sind. Die Anzahl der Verknüpfungen ist hoch, der Grad der Interdependenz bzw. Autonomie unterschiedlich. Stattfindende Aktionen und Aktivitäten sind aufgrund dieser Vernetztheit in ihrer Abfolge nicht-linear. Die Akteure agieren primär autonom, d.h. nach eigenen Regeln und in ihrer eigenen Logik. In Summe ist der Zustand des Gesamtsystems dynamisch. Für alle Elemente des Gesamtsystems verlässlich anwendbare Regeln und Ziele existieren nicht. Die Vorhersage eines konkreten „Systemzustands“ ist, bei einer immensen Menge theoretisch möglicher „Systemzustände“, schwer bis gar nicht möglich. (Kopetz, 2019; Perrow, 1987; Reeves et al., 2020; Sweller, 1988). Hinzu kommt die enorme Geschwindigkeit, mit der sich Technik/Technologien, aber auch Strukturen ändern (Unternehmensstrukturen, Projektstrukturen, Zuständigkeiten).

Dabei beinhaltet die Nicht-Linearität auch zeitliche Zusammenhänge: die aufzugreifende Arbeitsaufgabe kann zeitlich aktuell, zurückliegend oder zukünftig verortet sein. Konsequenzen der eigenen Handlung sind aufgrund der Vernetztheit, Nicht-Linearität und unklaren Interdependenz schwer vorhersehbar/unsicher, können aber gravierend sein. Diese komplexen Rahmenbedingungen erschweren die Situationsdefinition für das Individuum zusätzlich (Braarud, 2001).

Für einzelne Akteure sind Anforderungen von anderen oder Aktionen anderer in dem System nicht immer logische Folge einer Prozesskette, sondern treten lediglich als aktueller Zustand oder aktuelle Handlung in Erscheinung. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sie in keinem Zusammenhang zur momentan zu bearbeitenden eigenen Arbeitsaufgabe stehen. Anzahl, Timing, Intensität, Frequenz und Sequenz eigener und „fremder“ Aktionen sind nicht aufeinander bezogen. (Zusatz-)Aufgaben werden nicht mehr erteilt, sie „ereignen“ sich und müssen selbständig in die eigene Arbeitstätigkeit integriert werden. Aufgrund der Nicht-Linearität müssen Wechsel-, Neben- und Fernwirkungen berücksichtigt werden.

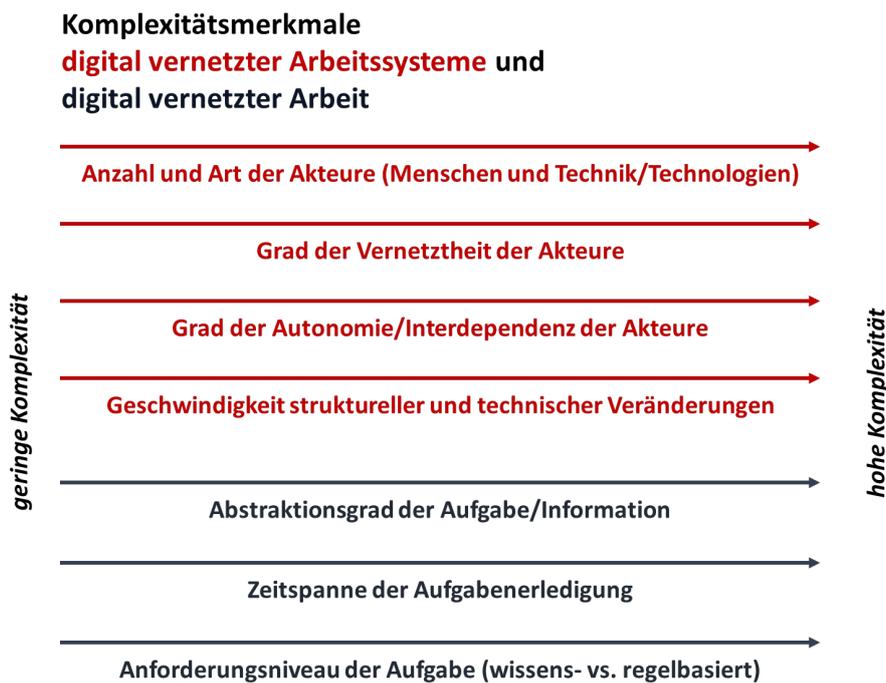


Abbildung 2: Merkmale digital vernetzter Arbeit mit Relevanz für die Komplexität

Mentale Anforderungen digital vernetzter Arbeit

Die Komplexität des Gesamtsystems, inklusive der Verlagerung des Arbeitshandelns in den virtuellen Raum, geht auf Ebene des Individuums mit deutlich höheren Anforderungen an die kognitive Handlungsregulation einher. Es werden – im Sinne der hierarchischen Handlungsregulation – vermehrt Anforderungen in die Ebene der flexiblen Handlungsmuster auf intellektueller Ebene verlagert (Tabelle 2; Brodbeck et al., 1993). Das höhere Regulationsniveau ergibt sich dabei nicht ausschließlich aus der Arbeitsaufgabe selbst, sondern ist auch Folge von Widersprüchen, Ambivalenzen, Unbestimmtheiten etc. im Arbeitsprozess, die technisch nicht gelöst werden können (z.B. Konstitution und Koordination eines Netzwerks, Verknüpfung analoger und digitaler Welten, Planung unter Unsicherheit).

Insgesamt resultiert die mentale (Gesamt-)Belastung aus der Konstellation dreier Merkmalsgruppen, die diese Tätigkeitsform charakterisieren (Abbildung 3):

1. Merkmale mit Relevanz im Hinblick auf die genutzten Technologien,
2. Merkmale mit Relevanz für die Zusammenarbeit/Vernetzung,
3. Merkmale mit Relevanz für die kognitive Handlungsregulation.

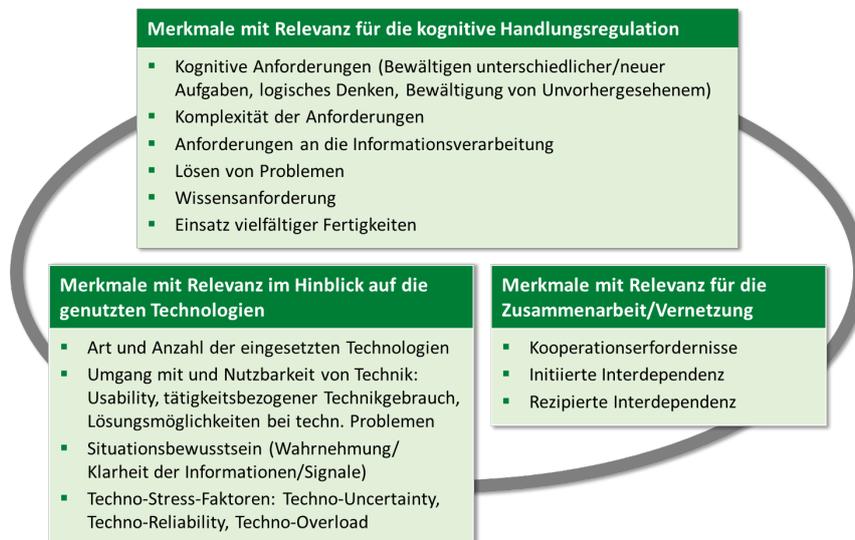


Abbildung 3: Merkmalgruppen digital vernetzter Arbeit mit Relevanz für die mentale Belastung

In Folge der Vernetzung und Komplexität des Arbeitssystems ist das Individuum gefordert ...

- mit zeitgleich eintreffenden, in Menge und Art ungeplanten Aktionen/Aktivitäten/Anforderungen (Informationen) umzugehen,
- eintreffende Aktionen/Aktivitäten/Anforderungen (Informationen) bearbeitbar zu machen, indem es sie strukturiert, kategorisiert, priorisiert und letztlich reduziert (Datenreduktion durch Informatisierung, Modellbildung),
- die Regeln von Teilsystemen und Gesamtsystem zu kennen, einzubinden und aktuell zu halten muss, bezogen auf
 - das Technologieverständnis und Nutzung einzelner sowie kombinierter Technologien
 - die Technikanwendung (unternehmensintern/-extern),
 - die Unternehmensstruktur/-organisation (unternehmensintern/-extern),
- Wechsel-, Neben- und Fernwirkungen (in Abhängigkeit von loser vs. enger Kopplung des Systems) zu berücksichtigen,
- eigene Interessen und Kernaufgaben in Relation zu den (z.T. widersprüchlichen) Interessen/Notwendigkeiten anderer Akteure zu setzen (Komplementär- vs. Reziprozitätsbeziehung) und Zusatzaufgaben zu koordinieren und zu priorisieren (Zielbilanzierung),
- eigene Aufgaben anzupassen und ggf. Verknüpfungen mit zurückliegenden und zukünftigen Aufgaben herzustellen (Zielausarbeitung).

Die Funktionalität des Arbeitsgedächtnisses als limitierender Faktor bei der Bewältigung mentaler Anforderungen digital vernetzter Arbeit

Grundlagen der Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis

Kognitive Fähigkeiten werden in einige grundlegende Funktionen (z.B. Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Gedächtnis) und zusammengesetzte Fähigkeiten (z.B. Problemlösen, Wissensbildung, Kopfrechnen, Sprachverstehen), für die die grundlegenden Fähigkeiten notwendig sind, unterteilt.

- **Wahrnehmung**
- **Aufmerksamkeit**
- **Erkennen**
- **Abstraktion (Merkmale, Muster)**

- **Enkodieren/Einspeichern von Information**
- **Merken**
- **Verarbeiten** abgleichen, abstrahieren, priorisieren, bewerten, schlussfolgern ...
- **Mentale Repräsentation**

- **Zielbildung**
- **Willensbildung**

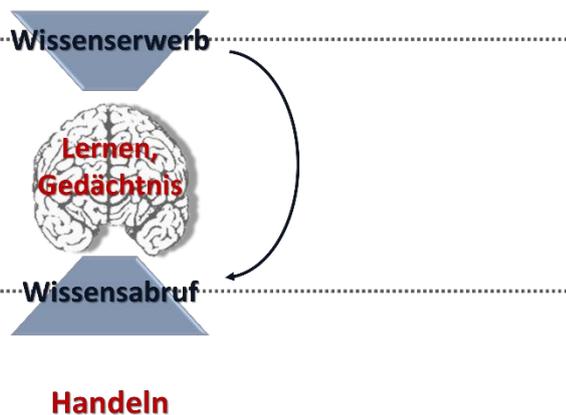


Abbildung 4: Modell des/der „regulären“ Erwerbs, Verarbeitung und Abrufs von Wissen

Als die wahrscheinlich zentrale „Schaltstelle“, aber gleichzeitig auch das „Nadelöhr“ für nahezu alle kognitiven Funktionen fungiert das Arbeitsgedächtnis (Sachse et al., 2014). Es nimmt Daten und Informationen auf, verknüpft diese mit dem Langzeitgedächtnis und stellt sie, als eine Art zentraler Speicher, bedarfsgerecht für eine zielgerichtete Verarbeitung und Nutzung zur Verfügung. Baddeley definiert das „working memory“ als „a system for temporarily holding and manipulating information as part of a wide range of essential cognitive tasks such as learning, reasoning, and comprehending“ (Baddeley, 1990). Die primäre Kapazität der Informationsaufnahme ist sehr begrenzt. Während man zunächst von ca. 7 Einheiten ausging, die im Arbeitsspeicher des Arbeitsgedächtnisses präsent gehalten werden können (Miller, 1956), gilt mittlerweile eine Größe von nur 3-4 Einheiten als eher zutreffend (Cowan, 2001/2004). Durch eine Anreicherung der Information je Einheit (sog. Chunks) lässt sich der Arbeitsspeicher allerdings um ein Vielfaches erweitern (multidimensionale oder kontextuelle Codierung der Information; für Grundlagen und Formen von Chunking (vgl. z.B. Cowan & Chen, 2009; Gobet & Simon, 1998; Kazerounian & Grossberg, 2014; Krivec et al, 2021; Nassar et al., 2018; Norris & Kalm, 2021; von Bastian & Oberauer, 2014). Diese Erweiterung kann über sämtliche Sinneskanäle erfolgen. Für die Aufrechterhaltung von Information bis zur Verarbeitung bzw. bis zum Übergang ins Langzeitgedächtnis beschreibt Baddeley in seinem erweiterten klassischen Gedächtnismodell drei Arten von „Puffer“ (Übersichten in Baddeley, 2012/2021): Mit der phonologischen Schleife wird sprachlich dargebotene Information durch „inneres Sprechen“ aktiv gehalten, mit dem visuell räumlichen Notizblock werden über „innere Bilder“ visuelle Informationen aufrechterhalten, und mit dem episodischen Puffer werden schließlich in einem multisensorischen Speichersystem Kontexte in Form von „Episoden“ aufrecht erhalten (Baddeley 2000/2002a). Die zentrale Exekutive (Baddeley, 2002b; Collette & van der Linden, 2002; D’Esposito & Postle, 2015) als Teil des Arbeitsgedächtnisses fokussiert und teilt die notwendige Aufmerksamkeit zwischen diesen Puffern, bis die Information schließlich verarbeitet bzw. ins Langzeitgedächtnis übergegangen ist. Gleichzeitig modulieren die Inhalte der Puffer die Aufmerksamkeit und beeinflussen

damit die zentrale Exekutive. Informationen, die multimodal (in mehreren Puffern oder Kontexten) zur Verfügung stehen, erhalten mehr Aufmerksamkeit und haben damit eine erhöhte Chance für weitere Prozesse zur Verfügung zu stehen.

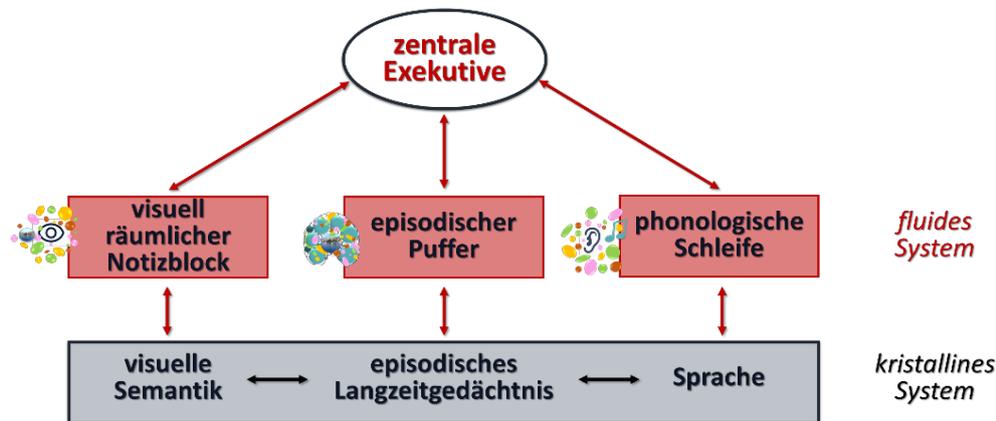


Abbildung 5: Modell des Arbeitsgedächtnisses, inklusive Verknüpfung mit dem Langzeitgedächtnis, nach Baddeley (2000)

Die Bildung angereicherter Informationseinheiten über Chunking und/oder über sensorische Multimodalität erleichtert nicht nur die Einkodierung (d.h. die Übernahme von Information ins Langzeitgedächtnis), sondern auch die Möglichkeit, eintreffende Informationen dort an vorhandene Wissensstrukturen anzudocken oder neue auszubilden (Lernen) sowie den Abruf der Information aus dem Langzeitgedächtnis über den Arbeitsspeicher durch die verschiedenen Spuren/Abrufhinweise (vgl. z.B. Atkinson & Shiffrin, 1969; Black & Bower, 1979; Conolly, 2014; de la Cruz-Pavia et al., 2020; Gobet & Clarkson, 2004; Guida et al., 2012; Rossi-Arnaud et al., 2012).

Neben der generellen Begrenztheit der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses kann es zu Problemen kommen, wenn die Aufrechterhaltung von Informationseinheiten/Daten in den Puffern durch sogenannte Interferenzen gestört wird (z.B. Makovski, 2016; Rademaker et al., 2015; Shoval et al., 2015; Ternes & Yuille, 1973). Diese tauchen vor allem dann auf, wenn eine neu eintreffende Informationseinheit den gerade im Puffer befindlichen Informationseinheiten in Inhalt und/oder Modalität ähnlich ist. Sie führen dazu, dass die „alten“ Einheiten aus dem Arbeitsspeicher verdrängt („vergessen“) werden, bevor sie überhaupt ins Langzeitgedächtnis überführt werden können, oder zu einer fehlerhaften Abspeicherung der Informationen. (Brockhoff et al., 2022)

Veränderte Informationsmerkmale und die Auswirkung auf den Erwerb und den Abruf von Wissen bei digital vernetzter Arbeit

Aufgrund der veränderten Merkmale von Informationen und dem vermehrten Umgang mit bloßen Daten im Kontext der digital vernetzten Arbeit ist eine sensorische Anreicherung und/oder eine Erweiterung des Arbeitsspeichers durch die Nutzung des episodischen Puffers erschwert. Struktur und Ordnung sind zwischen den Informationseinheiten oftmals nicht zu erkennen und können auch nicht ohne Weiteres hergestellt werden. Die veränderte Darbietung (disjunkte Einzeleinheiten, Intransparenz, reduzierte oder einseitige Sensorik, zeitliche Parallelität und Verdichtung) entspricht nicht der „normalen“ (angeborenen oder erworbenen) Funktionsweise des menschlichen Gehirns sowie bislang erlernten Mustern für den aktiven Erwerb neuen Wissens.

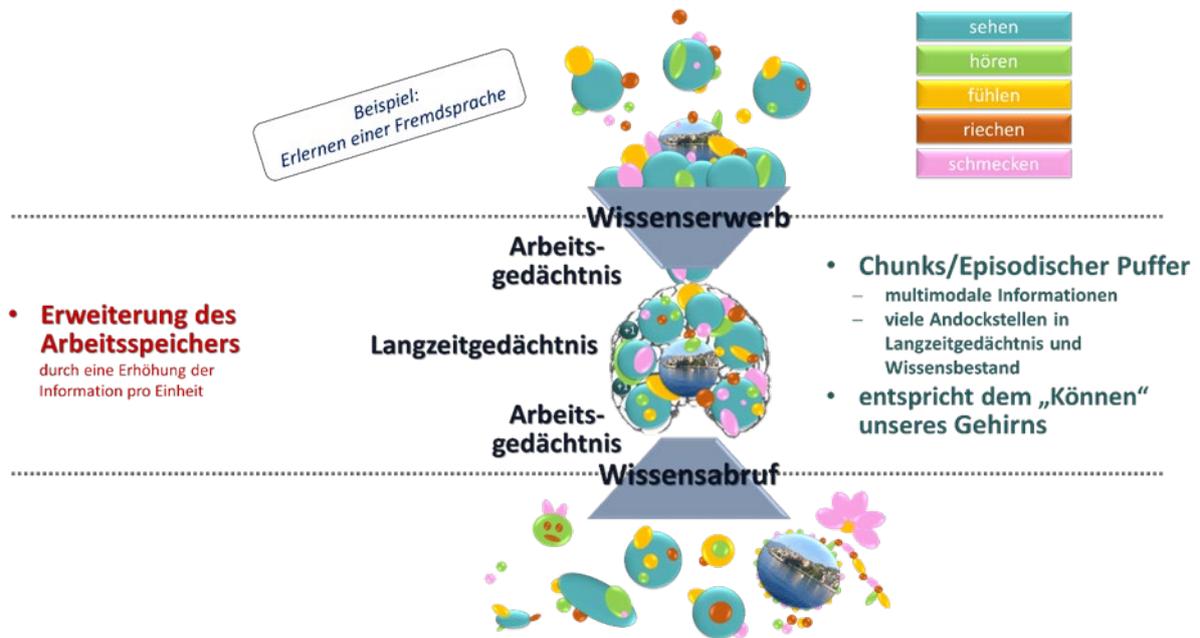


Abbildung 6: Erweiterung des Arbeitsspeichers durch die (sensorische) Anreicherung von Informationseinheiten

Zudem kann bestehendes Wissen (u.a. in Form von Erfahrung) nicht eingebunden oder nutzbar gemacht werden, weil keine Anknüpfungspunkte gefunden werden. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass Informationen bei digital vernetzter Arbeit in Art und Darbietung so ähnlich sind, dass es zu einem vermehrten Auftreten von Interferenzen kommt, also bestimmte Informationen gar nicht erst für eine weitere Verarbeitung zur Verfügung stehen. Daraus resultieren nicht nur wesentlich veränderte Voraussetzungen für den Erwerb und die Verarbeitung von Wissen, sondern auch für seinen Abruf.



Abbildung 7: Auswirkungen von Veränderungen in Art und Darbietung der Information bei digital vernetzter Arbeit auf das Arbeitsgedächtnis

Tabelle 1: Merkmale digital vernetzter Arbeit und ihre Wirkung auf und über das Arbeitsgedächtnis

Merkmale der digital vernetzten Arbeit	Belastung des Arbeitsgedächtnisses	(Folge-)Problematik
<ul style="list-style-type: none"> - Multiple Akteure und Teilsysteme, die eigenen Regeln/Logiken folgen - Kein einheitliches/stabiles „Regelwerk“ des Gesamtsystems 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Daten-/Informationsmenge:</i> kontinuierlicher Abruf bekannter Regeln und Abgleich - Unter Umständen fehlende Spur ins Langzeitgedächtnis zum „Andocken“ 	<ul style="list-style-type: none"> - Schwierige Nutzung des episodischen Speichers durch fehlende Kausalketten; „Kausalnetze“ sind unter Umständen zu groß für Arbeitsgedächtniskapazität - Kein Erwerb von Routinen/Handlungsmustern
Vielzahl an unbekanntem und ungeplanten Aktionen/Aktivitäten/Anforderungen (Informationen)	Schwieriges Chunking zur Daten-/Informationsreduktion, Modellbildung	Aufbau potenziell ungeeigneter Muster (Schemata, Skripte) oder mentaler Repräsentation
Gleichzeitigkeit von Kernaufgaben und Zusatzaufgaben	Anforderung an zentrale Exekutive: Priorisierung von Aufgaben resp. relevanter Information zur jeweilig priorisierten Aufgabe	Unter Umständen Verlust von Informationen über die jeweils andere Aufgabe
Parallele Bearbeitung vieler (Teil-)Aufgaben (Kernaufgaben und Zusatzaufgaben)	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderung an zentrale Exekutive: Priorisierung von Aufgaben bzw. relevanter Information zur jeweilig priorisierten Aufgabe sowie schneller Wechsel zwischen Pufferinhalten - Verknüpfung mit zurückliegenden, aktuellen und zukünftigen Aufgaben 	<ul style="list-style-type: none"> - Kontinuierliche Bereithaltung und Aktualisierung bestehender Muster - Prozesse können nicht abgeschlossen und aus dem Arbeitsgedächtnis „vergessen“ werden
Multiple Wechsel-, Neben- und Fernwirkungen von Handlungen	Daten-/Informationsmenge und Problematik der Enkodierung: Enthält die Repräsentation der Wirkung die Information in relevanter Form, die Andocken in LZG an die jeweils relevante Kausalität ermöglicht?	Falsch enkodierte Wirkungen verhindern korrekte Vorhersage eines konkreten „Systemzustands“
Inkludiert in nahezu allen obigen Merkmalen:		
Zahlreiche Unterbrechungen der eigenen Arbeitsaufgabe	Störung des Rehearsals in den Puffern zur Aufrechterhaltung der Information	Zusatzaufwand (erneuter Abruf oder Enkodierung) zur Wiederaufnahme der eigentlichen Tätigkeit
Vielzahl gleichartiger (da digitaler) Informationen	Interferenzen durch Ähnlichkeit von Informationen	Informationsverlust durch fehlenden Übergang ins Langzeitgedächtnis

Insgesamt ist durch die veränderten Rahmenbedingungen der Informationsverarbeitung hin zu mehr isolierten Daten oder gleichförmigen Informationen die mentale Repräsentation erschwert, was auch Auswirkungen auf die Handlungsplanung und Zielbildung haben kann. Es ist davon auszugehen, dass hierbei die kognitive Regulationsebene der Aufgabe eine Rolle spielt und insbesondere Aufgaben, die auf einer entsprechend hohen Regulationsebene angesiedelt sind, Probleme bei der Umsetzung bereiten.

Aber auch Tätigkeiten auf der sogenannten Ebene der flexiblen Handlungsmuster könnten durch einen gestörten Erwerb/Abruf dieser Muster betroffen sein. Lediglich Handlungsausführungen auf der sensumotorischen Ebene, deren Ablauf weitgehend implizit gesteuert ist, dürften sich nicht von Arbeitstätigkeiten mit stärker differenzierten Informationsmerkmalen unterscheiden.

Tabelle 2: Vollständigkeit einer Tätigkeit (adaptiert nach Brodbeck et al., 1993)

→ → → sequenzielle Vollständigkeit → → →

		Prozessphasen		
		Planung	Durchführung	Kontrolle/ Feedback
hierarchische Vollständigkeit ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	Regulationsebene			
	Intellektuelle Regulationsebene			
	Ebene flexibler Handlungsregulation			
	Sensumotorische Regulationsebene			

Prinzipiell ist der Erwerb von Wissen, d.h. Lernen, auch unter den geänderten Voraussetzungen möglich allerdings mit deutlich höherem Aufwand, größerer Anstrengung und einer höheren Fehlerquote. Die Ressourcen und Freiräume, die dafür erforderlich wären, sind im betrieblichen und gesellschaftlichen Kontext digital vernetzter Arbeit, deren Merkmal und gleichzeitiges Ziel Verdichtung und Beschleunigung sind, aber in der Regel nicht gegeben. Im Gegenteil, die darin mitbegründete hohe Anzahl unterschiedlicher, annähernd gleichzeitig zu erledigenden Aufgaben verschärft die Situation. Trotz erhöhter Konzentrations- und Koordinationsanstrengung gelingt die Verarbeitung oftmals nicht zufriedenstellend.

Nutzbarkeit eines Konzepts der „absoluten“ Grenze mentaler Belastungen auf Grundlage des Arbeitsgedächtnisses

Im Hinblick auf die Frage nach einer „absoluten“ Belastungsgrenze „mentaler Arbeit“ lassen sich mit dem „Arbeitsgedächtnis“ als limitierendem Teilsystem Parallelen zu dem Gesamtsystem der „Muskelarbeit“ mit dem limitierenden Teilsystem der „Energiebereitstellung“ ziehen. In beiden Fällen bestimmt ein basaler Baustein durch seine begrenzte Leistungsfähigkeit den Takt und die mögliche Bandbreite der Aktivität des Gesamtsystems.

Wie bei der physischen muss aber auch bei der mentalen Belastung der Begriff einer „absoluten“ Grenze vorsichtig und im Bewusstsein seiner jeweiligen Beschränkung verwendet werden. Denn sowohl die Muskelkraft als auch die kognitiven Fähigkeiten sind im Rahmen der individuellen Voraussetzungen eines Menschen trainier- und erweiterbar und können von einzelnen Individuen oft weit über das hinaus entwickelt werden, was der Durchschnitt der Menschen schafft (z.B. Leistungssport oder Meisterschaften im Gedächtnissport). Zudem kann, ähnlich der Spitzenleistungen im Sport, darüber spekuliert werden, ob maximale kognitive (Höchst-)Leistung nur kurzfristig/punktuell erreichbar ist. Sicher scheint hingegen, dass länger andauernde mentale Hochleistung nicht ohne entsprechende Regenerationszeiten möglich ist. Entsprechend muss auch bei der mentalen Dauerbelastungsgrenze das „Absolute“ stets bezogen

auf den „Durchschnitt“, d.h., den durchschnittlichen Arbeitstag, aber auch den durchschnittlich geschulten und trainierten Beschäftigten betrachtet werden.

Unter praktischen Gesichtspunkten setzt eine Festlegung der maximal möglichen Belastung des Arbeitsgedächtnisses (= Grenze zur mentalen Überlastung) bei digital vernetzter Arbeit in Form einer absoluten Größe – vergleichbar der Definition der Leistungsgrenzen dynamischer Muskelarbeit – eine Verständigung voraus, welche Parameter dafür herangezogen und welche Verfahren zur Messung eingesetzt werden sollen. Möglich wird dies, wenn einer begrenzten Zahl dimensionierbarer, spezifischer Anforderungsmerkmale, die mit validen Messverfahren erfassbar sind, auf der Beanspruchungsseite ein möglichst spezifisches, ebenfalls valide messbares Korrelat zuordenbar ist.

Beanspruchungsfolgen kognitiver Anforderungen digital vernetzter Arbeit

Vor Erreichen der absoluten Grenze der physischen Leistungsfähigkeit tritt rein physiologisch betrachtet ein Zustand ein, bei dem Leistungsreserven mobilisiert werden, die begrenzt, aber noch regenerierbar sind, d.h. die körperliche Be-/Überlastung führt zu keiner dauerhaften gesundheitlichen Einschränkung. Innerhalb dieser Reserven ist eine vorübergehende Überlastung tolerabel, sofern rechtzeitig eine ausreichende Regeneration möglich ist. Gleichzeitig gibt es im Kontext der konkreten Arbeitshandlung erschwerende Ausführungsbedingungen (objektspezifische, technische, organisatorische und soziale Faktoren), die die maximal mögliche Leistung relativieren.

Beide Aspekte müssen auch bei der Diskussion um die mentale Leistungsfähigkeit berücksichtigt werden. Auch bei mentalen Belastungen ist bereits nachgewiesen, dass Folgen einer Fehlbelastung nicht unmittelbar transparent werden, da sie zunächst durch eine Erhöhung der Anstrengung kompensiert werden können (Hockey, 1997; Rau, 1996).

Tabelle 3: Folgen psychischer Fehlbeanspruchungen (Kaufmann et al., 1994)

		Kurzfristige aktuelle Reaktionen	Mittel- bis langfristige chronische Reaktionen
Physiologisch, somatisch		<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhte Herzfrequenz - Blutdrucksteigerung - Adrenalinausschüttung („Stresshormon“) 	Allgemeine psychosomatische Beschwerden und Erkrankungen
Psychisch (Erleben)		<ul style="list-style-type: none"> - Anspannung - Frustration - Ermüdung - Monotonie - Sättigung 	<ul style="list-style-type: none"> - Unzufriedenheit - Resignation - Depression
Verhaltensbezogen	Individuell	<ul style="list-style-type: none"> - Leistungsschwankung - Nachlassen der Konzentration - Fehler - Schlechte sensumotorische Koordination 	<ul style="list-style-type: none"> - Vermehrter Nikotin-, Alkohol-, Tablettenkonsum - Fehlzeiten (Krankheitstage)
	Sozial	<ul style="list-style-type: none"> - Konflikte - Streit - Aggressionen gegen andere - Rückzug (Isolierung) innerhalb und außerhalb der Arbeit 	

Betrachtet man das Arbeitsgedächtnis mit seiner begrenzten Speicherkapazität als systemkritische „Engstelle“ im Verarbeitungsprozess kognitiver Anforderungen digital vernetzter Arbeit, stellt sich also primär die Frage, wie eine Überlastung verlässlich „diagnostiziert“ werden kann, d.h. wie sie in Erscheinung tritt und messbar ist. Es ist davon auszugehen, dass eine Überlastung kein ausschließlich punktuell Ereignis ist, sondern sich auch summativ über eine gewisse Zeit einstellen kann. Welche Zeitfenster dafür und für die Erholung (Wann? Wie lange?) relevant sind, ist offen. Auch, ob und welche Leistungsreserven mobilisiert werden können und welche Ausführungsbedingungen Teil des Systems digital vernetzter Arbeit sind, ist – im Sinne relativer Belastungsgrenzen – zu berücksichtigen.

Als Folge einer mentalen Überlastung sind grundsätzlich sämtliche (unspezifischen) Auswirkungen psychischer Belastungen denkbar.

In Empirie und Theorie werden auf der Erlebensebene speziell Sättigung und auf der Leistungsebene Ineffizienz und eine höhere Fehlerquote als kurzfristige und unmittelbare Fehlbeanspruchungen digital vernetzter Arbeit beschrieben (Zolg et al., 2021). Insbesondere letztere, kurzfristige individuelle verhaltensbezogene Folgen scheinen unmittelbar auf eine Beteiligung basaler kognitiver Fähigkeiten hinzuweisen. Aufwand, Anstrengung und eingesetzte Energie, die kompensatorisch verwendet werden, entsprechen dann oftmals nicht Qualität und Menge des Arbeitsergebnisses (subjektiv und/oder objektiv).

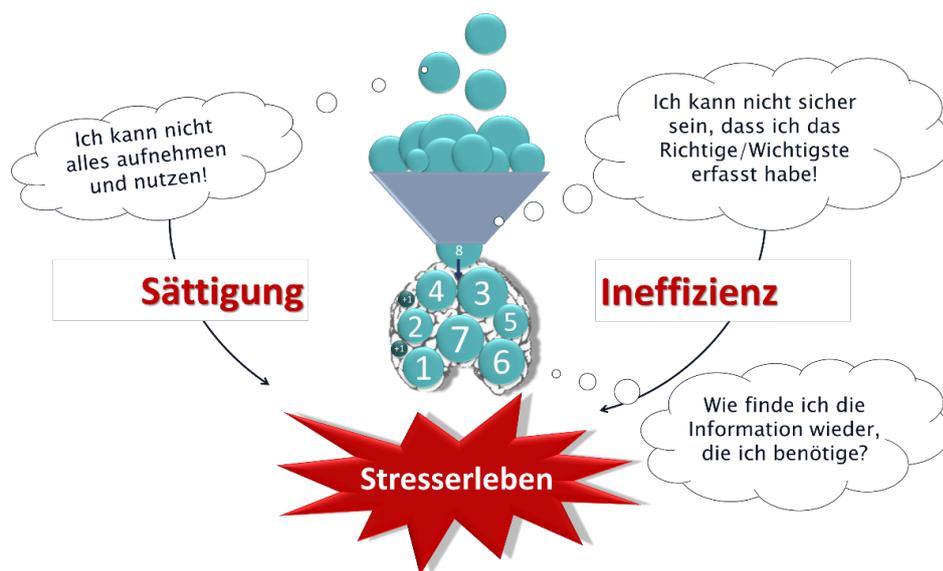


Abbildung 8: Stresserleben bei mangelnden Ressourcen im Kontext digital vernetzter Arbeit

Merkmal kurzfristiger Beanspruchungsfolgen ist, dass sie durch eine Pause und entsprechende Erholung wieder vollständig reversibel sein sollten. Sie gelten im Arbeits- und Gesundheitsschutz als tolerabel. Unter Sicherheitsaspekten werden strengere Kriterien angelegt, da eine Häufung von Fehlern ein zu hohes Risiko birgt und eine „Systemüberlastung“ möglichst bereits vor Eintreten erster Fehlbeanspruchungen erkannt werden muss. Ab wann kurzfristige Beanspruchungsfolgen durch mentale Überlastung in der dargestellten Form durch wiederholtes Auftreten, längeres Andauern und Koexistenz mit anderen Faktoren langfristig Auswirkungen mit nicht mehr tolerierbaren Effekten zur Folge haben, ist bisher leider nicht vorhersagbar. Denkbar ist aber, dass bei digital vernetzter Arbeit neben den „üblichen“ physiologischen Vermittlungspfaden fortgesetzten Stresses, zusätzlich akzelerierende Prozesse hinzukommen: Die Schwierigkeit, Wissen und Routinisierung (flexible Handlungsmuster) aufzubauen, sowie selbstwertschädliche Kognitionen, wie sie in Abbildung 9 dargestellt sind, könnten auf längere Sicht schneller zu schwerwiegenden Konsequenzen führen. Da sich das Individuum zusätzlich auch selbst im Umgang mit auftretendem Stress und Frustration steuern muss, werden weitere psychische Systeme aus dem Bereich Emotion und Motivation beansprucht und könnten zusätzlich den Übergang von kurz- und mittelfristigen zu langfristigen Beanspruchungsfolgen und Problemen vorantreiben.

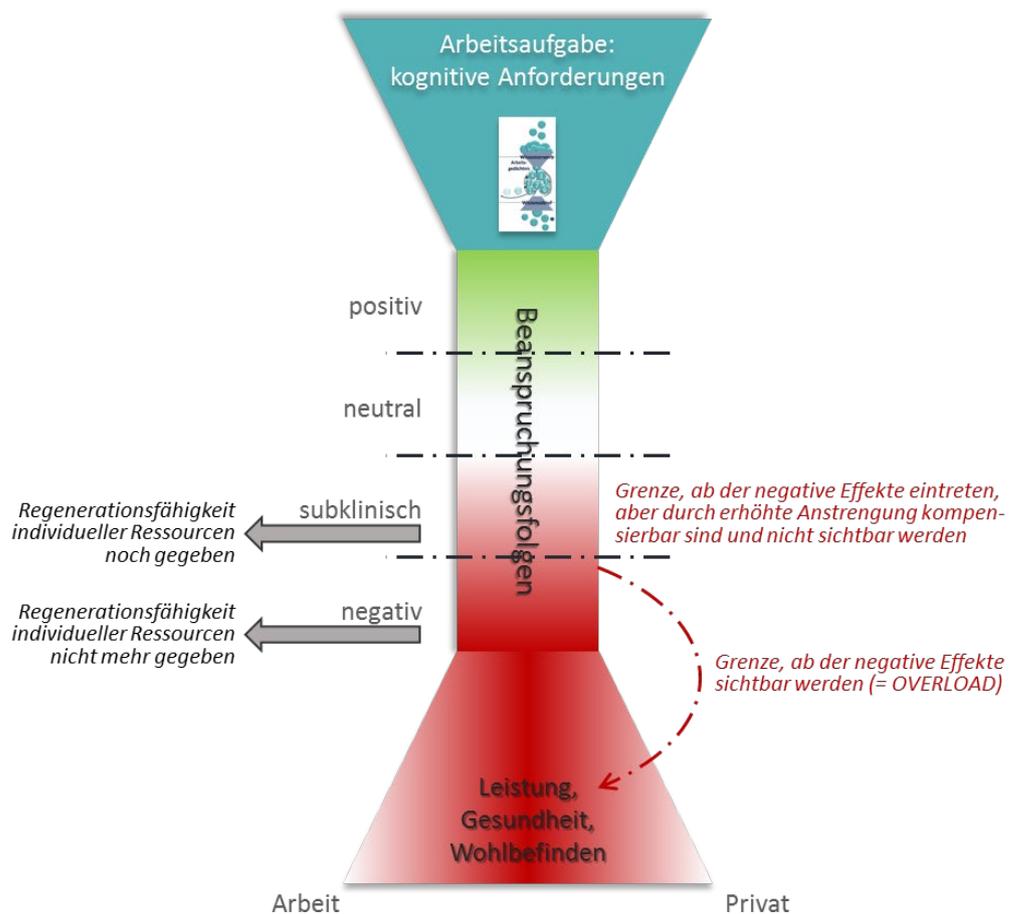


Abbildung 9: Abgestufte Beanspruchungsfolgen kognitiver Anforderungen

Mit Blick auf die Suche nach der „mentalen Dauerbelastungsgrenze“ lässt sich zusammenfassen: Prinzipiell folgt der Entwicklungsprozess von Fehlbeanspruchungen aufgrund psychomentaler Anforderungen dem aufgrund physischer Fehlbelastungen. Das Arbeitsgedächtnis als Engstelle bei der Verarbeitung kognitiver Anforderung sollte als Anker für die weitere Annäherung an eine individuelle Leistungsgrenze genauer untersucht werden. Da der Zugang von Daten und Informationen zum und ihre Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis durch Aufmerksamkeit/Konzentration und die Exekutivfunktion gesteuert wird, sollten dabei auch diese beiden kognitiven Prozesse berücksichtigt werden. Es erscheint schlüssig, dass darauf aufbauend und in Anlehnung an das Vorgehen bei der Definition einer physischen Dauerbelastungsgrenze (einschließlich der Verständigung darüber), eine Annäherung an eine mentale Dauerbelastungsgrenze gelingen kann. Voraussetzung hierfür wäre allerdings neben der weiteren Untersuchung des Arbeitsgedächtnisses und seiner Gatekeeper im realen Arbeitskontext, dass darauf aufbauend anhand großer Stichproben Einflussfaktoren sowie interindividuelle Unterschiede systematisch differenziert werden.

Referenzen

- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: A Proposed System and its Control Processes. In J. T. Spence & K. W. Spence (Eds.), *Psychology of Learning and Motivation Volume 2: Advances in Research and Theory* (pp. 89–195).
- Ayres, P.; Lee, J. Y.; Paas, F. & van Merriënboer, J. J. G. (2021). The Validity of Physiological Measures to Identify Differences in Intrinsic Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, 12, 702538.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423.
- Baddeley, A. D. (2002a). Is Working Memory Still Working? In: *European Psychologist* 7 (2), S. 85–97.
- Baddeley, A. D. (2002b). Fractionating the Central Executive. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of Frontal Lobe Function* (pp. 246–260). Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1–29.
- Baddeley, A. D. (1990). The development of the concept of working memory: implications and contributions of neuropsychology. In *Neuropsychological Impairments of Short-Term Memory* (1st ed., pp. 54–73). Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D. (2021). Developing the Concept of Working Memory: The Role of Neuropsychology¹. *Archives of Clinical Neuropsychology. The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 36(6), 861–873.
- Bastian, C. C.; von, Oberauer, K. (2014). Effects and mechanisms of working memory training: a review. *Psychological research*, 78(6), 803–820.
- Black, J. B. & Bower, G. H. (1979). Episodes as chunks in narrative memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18(3), 309–318.
- Braarud, P. Ø. (2001). Subjective Task Complexity and Subjective Workload: Criterion Validity for Complex Team Tasks. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5(3), 261–273.
- Brodbeck, F. C.; Zapf, D.; Prümper, J. & Frese, M. (1993). Error handling in office work with computers: A field study. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 66(4), 303–317.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2019). *Gefährdungsbeurteilung bei physischer Belastung - die neuen Leitmerkmalmethoden (LMM)*.
- Collette, F.; van der Linden, M. (2002). Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(2), 105–125.
- Connolly, K. (2014). Multisensory perception as an associative learning process. In: *Front. Psychol.* 5, S. 1095.
- Cowan, N. (2010). The Magical Mystery Four: How is Working Memory Capacity Limited, and Why? *Current Directions in Psychological Science*, 19(1), 51–57.
- Cowan, N. & Chen, Z. (2009). How chunks form in long-term memory and affect short-term memory limits. In A. Thorn & M. Page (Eds.), *Interactions between short-term and long-term memory in the verbal domain* (pp. 86–107). New York: Psychology Press
- D'Esposito, M. & Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual review of psychology*, 66, 115–142.
- Gobet, F.; Simon, H. A. (1998): Expert chess memory: revisiting the chunking hypothesis. In: *Memory* (Hove, England) 6 (3), S. 225–255.
- Dörner, D. & Funke, J. (2017). Complex Problem Solving: What It Is and What It Is Not. *Frontiers in Psychology*, 8, 1153.

- Dreyfus, H. L. & Dreyfus, S. E. (1986). *Mind over machine: The power of human intuition and expertise in the era of the computer*. New York: Free Press.
- Frauendorf, H.; Kobryn, U. & Gelbrich W (1990). Blutdruck- und Herzschlagfrequenzverhalten bei fünf verschiedenen Formen dynamischer Muskelarbeit. *Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft*. (44), 214–216.
- Gobet, F. & Simon, H. A. (1998). Expert chess memory: Revisiting the chunking hypothesis. *Memory* (Hove, England), 6(3), 225–255.
- Gobet, F. & Clarkson, G. (2004). Chunks in expert memory: evidence for the magical number four ... or is it two? *Memory* (Hove, England), 12(6), 732–747.
- Guida, A.; Gobet, F.; Tardieu, H. & Nicolas, S. (2012). How chunks, long-term working memory and templates offer a cognitive explanation for neuroimaging data on expertise acquisition: a two-stage framework. *Brain and cognition*, 79(3), 221–244.
- Hartman, E. (2015). Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0. Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Eds.), *Autonomik Industrie 4.0. Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (pp. 9–20). Berlin: Springer Vieweg.
- Hartmann, B.; Klußmann, A. & Serafin, P. (2018a). Physische Leistungsfähigkeit, Alter und Geschlecht – Zur Beurteilung gesundheitlicher Risiken bei körperlich belastenden Tätigkeiten: Teil 1: Einführung, Methoden, Daten zum Körperbau und zur Belastbarkeit des Skelett-Systems. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 68(6), 309–316.
- Hartmann, B.; Klußmann, A. & Serafin, P. (2018b). Physische Leistungsfähigkeit, Alter und Geschlecht – Zur Beurteilung gesundheitlicher Risiken bei körperlich belastenden Tätigkeiten: Teil 3: Daten zur kardiopulmonalen und energetischen Leistungsfähigkeit sowie gemeinsame Schlussfolgerungen. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 68(6), 325–333.
- Hettinger, T. (1981). In H. Krause & R. E. Pillat (Eds.), *Methoden zur Erfassung von Belastbarkeit sowie der Belastung und Beanspruchung des Menschen in der Arbeitswelt*. Freiburg i.Br.: Zander/Haufe Verlag.
- Hockey, G. R. J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biol Psychol*, 45(1-3), 73–93.
- Kaufmann, I.; Pornschlegel, H.; Udris, I. (1982). Arbeitsbelastung und Beanspruchung. In: L. Zimmermann (Hg.): *Humane Arbeit - Leitfaden für Arbeitnehmer*, 5: Belastungen und Stress bei der Arbeit. Reinbek: Rohwohlt, S. 13–48.
- Kazerounian, S. & Grossberg, S. (2014). Real-time learning of predictive recognition categories that chunk sequences of items stored in working memory. *Frontiers in Psychology*, 5, 1053.
- Kopetz, H. (2019). *Simplicity is complex: Foundations of cyber-physical system design*. Cham Switzerland: Springer.
- Kotovsky, K.; Hayes, J. & Simon, H. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology*, 17(2), 248–294.
- Krivec, J.; Bratko, I. & Guid, M. (2021). Identification and conceptualization of procedural chunks in chess. *Cognitive Systems Research*, 69, 22–40.
- La Cruz-Pavía, I. de; Werker, J. F.; Vatikiotis-Bateson, E. & Gervain, J. (2020). Finding Phrases: The Interplay of Word Frequency, Phrasal Prosody and Co-speech Visual Information in Chunking Speech by Monolingual and Bilingual Adults. *Language and speech*, 63(2), 264–291.
- Laurig, W. (1992). *Grundzüge der Ergonomie. Erkenntnisse und Prinzipien*. 4. Aufl. Berlin, Köln: Beuth Verlag (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation) 1992 (4th ed.). Berlin, Köln: Beuth Verlag GmbH (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation).
- Makovski, T. (2016). Does proactive interference play a significant role in visual working memory tasks? *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 42(10), 1664–1672.

- Martin, S. (2018). A Critical Analysis of the Theoretical Construction And Empirical Measurement Of Cognitive Load. In R. Z. Zheng (Ed.), *Cognitive load measurement and application. A theoretical framework for meaningful research and practice* (pp. 29–44). New York, London: Routledge.
- Matthews, G.; Reinerman-Jones, L. E.; Barber, D. J.; Abich, J. (2015). The psychometrics of mental workload. multiple measures are sensitive but divergent. In: *Human factors* 57 (1), S. 125–143.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97.
- Müller, E. A. & Karrasch, K. (1956). Die größte Dauerleistung beim Schaufeln. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 16(4), 318–324.
- Nassar, M. R.; Helmers, J. C. & Frank, M. J. (2018). Supplemental Material for Chunking as a Rational Strategy for Lossy Data Compression in Visual Working Memory. In: *Psychological Review*.
- Norris, D., & Kalm, K. (2021). Chunking and data compression in verbal short-term memory. *Cognition*, 208, 104534.
- Paas, F.; Tuovinen, J. E.; Tabbers, H. & Van Gerven, Pascal W. M. (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63–71.
- Paas, F. & van Merriënboer, J. J. G. (2020). Cognitive-Load Theory: Methods to Manage Working Memory Load in the Learning of Complex Tasks. *Current Directions in Psychological Science*, 29(4), 394–398.
- Perrow, C. (1992). *Normale Katastrophen. Die unvermeidlichen Risiken der Grosstechnik*. 2. Aufl. Frankfurt/Main, New York: Campus-Verlag.
- Rademaker, R. L.; Bloem, I. M.; Weerd, P. de & Sack, A. T. (2015). Supplemental Material for The Impact of Interference on Short-Term Memory for Visual Orientation. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- Rau, R. (1996). Einzelfallanalysen zur Bewertung von Handlungssicherheit in komplexen, automatisierten Systemen. *Zeitschrift Für Arbeits- Und Organisationspsychologie*, 40, 75–86.
- REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Ed.) (1978). *Methodenlehre des Arbeitsstudiums* (6. Aufl., 151.-249. Tsd). München: Hanser.
- Reeves, M.; Levin, S.; Fink, T. & Levina, A. (2020). Taming complexity. *Harvard Business Review*, January-February 2020, 113–119.
- Ricker, T. J. & Cowan, N. (2014). Differences between presentation methods in working memory procedures: A matter of working memory consolidation. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 40(2), 417–428.
- Rohmert, W. & Laurig, W. (1975). Evaluation of work requiring physical effort. *Schriftenreihe: Industrial Health and Safety, EUR 5221 e*. Commission of the European Communities. Directorate-General Social Affairs. Luxembourg, 1975
- Rossi-Arnaud, C.; Spataro, P. & Longobardi, E. (2012). Effects of pointing on the recall of simultaneous and sequential visuospatial arrays: a role for retrieval strategies? *Psychological research*, 76(6), 699–712.
- Sachse, P.; Martini, M.; Pinggera, J.; Weber, B.; Reiter, K. & Furtner, M. (2014). Das Arbeitsgedächtnis als "Nadelöhr" des Denkens. In P. Sachse (Ed.), *Beiträge zur Arbeitspsychologie: Bd. 7. Psychologie menschlichen Handelns: Wissen & Denken - Wollen & Tun: Zum 80. Geburtstag von Winfried Hacker*. Lengerich: Pabst Science Publ.
- Serafin, P.; Hartmann, B. & Klußmann, A. (2018). Physische Leistungsfähigkeit, Alter und Geschlecht – Zur Beurteilung gesundheitlicher Risiken bei körperlich belastenden Tätigkeiten: Teil 2: Daten zu Körperkräften. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 68(6), 317–324.
- Shoval, R.; Luria, R. & Makovski, T. (2020). Supplemental Material for Bridging the Gap Between Visual Temporary Memory and Working Memory: The Role of Stimuli Distinctiveness. In: *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*.

Sörqvist, P.; Dahlström, Ö.; Karlsson, T. & Rönnerberg, J. (2016). Concentration: The Neural Underpinnings of How Cognitive Load Shields Against Distraction. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 221.

Stramler, J. H. (1992). The Dictionary for Human Factors/Ergonomics: A Significant Reference Work in Human Factors. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 36(6), 544–547.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295–312.

Ternes, W. & Vuille, J. C. (1973). Additive interference processes in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, 100(2), 432–434.

van Acker, B. B.; Parmentier, D. D.; Vlerick, P. & Saldien, J. (2018): Understanding mental workload. From a clarifying concept analysis toward an implementable framework. In: *Cognition, Technology & Work*.

Wickens, C. D. (2008): Multiple resources and mental workload. In: *Human factors* 50 (3), S. 449–455.

