

Entwicklungen der ambulanten computerbasierten kognitiven Rehabilitation: MemoVitoREHA®

Heim E¹, Adamaszek M², Berndt M³

¹ *Chromis Software Dr. Evelyn Heim*

² *Abteilung Klinische und Kognitive Neurorehabilitation, Klinik Bavaria Kreischa*

³ *wahrnehmbar GmbH & Co. KG Dr. Michael Berndt*

Abstract

Die kognitive Rehabilitation ist eine zunehmend differenzierte Domäne innerhalb der Neurorehabilitation, welche sich in Hinblick auf die computerbasierten Therapiemodule in einem Wandel hin zu einer effizienten Behandlung kognitiver Funktionseinschränkungen entwickelt. Neben den bisherigen neuropsychologischen Behandlungen findet die computerbasierte Rehabilitation aufgrund ihrer Flexibilität eine zunehmende Akzeptanz als Ergänzung oder auch mitunter führende Modalität. Zahlreiche Untersuchungen konnten die Wertigkeit und Therapieeffektstärken gut belegen, was wiederum die Entwicklung neuer neurokognitiver Therapiemodule fördert. Insbesondere die rasanten Bewegungen bei den online-verfügbaren Angebote weisen jedoch auch auf einen Trend hin zu Softwareprogrammen, in denen strukturierte Therapiemodule nicht immer sicher den individuellen Anforderungen des Patienten gerecht werden. In der vorliegenden Arbeit stellen wir ein auf der Grundlage von lernpädagogischen Aspekten entwickeltes Online-Therapieprogramm vor, welches insbesondere in der individuellen Patientenbetreuung einen klaren Vorteil gegenüber zahlreichen anderen computerbasierten Anwendungen der neurokognitiven Therapie aufweist.

1. Hintergrund

Kognitive Beeinträchtigungen stellen eine besondere klinische Herausforderung bei verschiedenen neurologischen Erkrankungen wie dem Schlaganfall [1] oder auch dem Schädel-Hirn-Trauma [2] [3] sowie neurodegenerativen Erkrankungen wie der Alzheimer- (AD) [4] oder Parkinson-Krankheit (PD) [5], schließlich auch entzündlichen Erkrankungen wie vor allem der Multiplen Sklerose. [6] Beeinträchtigungen werden in unterschiedlicher Ausprägung vor allem für die Bereiche der Gedächtnis- und Aufmerksamkeits- wie auch den Exekutivfunktionen befundet, die sich neben den häufigen motorischen Beeinträchtigungen mitunter erheblich auf das tägliche Leben, d.h. Arbeit, Schule und anderer sozialer Aktivitäten, und damit schließlich auf die Lebensqualität des einzelnen Patienten, auswirken können. [7] Entsprechend der therapeutischen Herausforderungen hat sich die kognitive Rehabilitation zu einem Eckpfeiler der Behandlung dieser Störungen mit dem Ziel entwickelt, verlorene kognitive Fähigkeiten wiederzuerlangen oder zumindest bestmöglich zu adaptieren, um für die Alltagsanforderungen geeignete funktionelle Ergebnisse zu erzielen. [8] Herkömmliche kognitive Rehabilitationsmethoden, die in der Regel in Form einer persönlichen Therapie durchgeführt werden, haben sich bei vielen Patienten als wirksam erwiesen, sind aber nicht immer zugänglich und oft wenig skalierbar. [9]

Bei den häufigsten neurologischen Erkrankungen, die mit kognitiven Störungen einhergehen, werden bei etwa 50-70 % der Patienten schlaganfallbedingte kognitive Beeinträchtigungen (SRCI) beobachtet. [10] [11] Je nach Lokalisation und Ausdehnung ischämischer Hirnschädigungen können die betroffenen kognitiven Bereiche wie Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Sprache und exekutive Funktionen nach einem Schlaganfall noch lange nach dem ursprünglichen Ereignis fortbestehen. [12] [13] Kognitive Beeinträchtigungen infolge eines Schlaganfalls werden mitunter durch das Zusammenspiel von Alter, Komorbiditäten und auch den infolge der neurologischen Behinderungen psychischen Belastungen verstärkt. [13] Ein weiterer Bereich, der im Zusammenhang mit kognitiven Störungen von klinischen Interesse ist, sind neurodegenerative Erkrankungen wie die Alzheimer-Krankheit (AD), die Parkinson-Krankheit (PD) und die leichte kognitive Beeinträchtigung (MCI), welche jeweils mit dem Fortschreiten der kognitiven Einschränkungen eine wachsende Herausforderung an den Betroffenen und dessen Umfeld

stellen. Patienten mit Parkinson-Krankheit können beispielsweise Schwierigkeiten mit der Konzentration, der geistigen Flexibilität und der Planung haben. [14] Auch MCI als kritischer Vorläufer der Alzheimer-Krankheit geht mit einem spürbaren kognitiven Abbau einher, welcher das tägliche Leben nennenswert beeinträchtigen kann. [15] [16] Kognitive Beeinträchtigungen sind jedoch auch eine gut dokumentierte Folgeerscheinung bei anderen, neueren medizinischen Entitäten von Patienten, die nach einer kritischen Krankheit mit intensivmedizinischen Versorgungsansprüchen das Bild eines Post-Intensivpflege-Syndrom (PICS) aufweisen. Dieses kann neben den häufigen neuromuskulären Störungen mit kognitiven Beeinträchtigungen einhergehen und hat in den vergangenen Jahren eine gesonderte Aufmerksamkeit erhalten. [7] [17] PICS tritt besonders häufig bei Patienten auf, die längere Zeit mechanisch beatmet wurden und unter Umständen eine Sepsis erlitten. [18] Die kognitiven Beeinträchtigungen sind unter Umständen Merkmale einer Enzephalopathie infolge mehrerer Faktoren, einschließlich der Auswirkungen von sedierenden Medikamenten, Sauerstoffmangel (Hypoxie) und systemischen Entzündungen, welche sich nicht immer sicher erfassen lassen. [19] [20] Bei diesem Patientengut können Beeinträchtigungen in verschiedenen Bereichen des Gedächtnisses und der Aufmerksamkeit, aber auch in Bereichen der exekutiven Funktionen angefundener werden, unter Umständen noch nach etlichen Monaten im postintensivmedizinischen Verlauf. [7] [21]

Im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie haben die therapeutischen Ansätze zur Behandlung kognitiver Beeinträchtigungen im Bereich der neurologischen Rehabilitation ein wachsendes Augenmerk erhalten. Während COVID-19 in erster Linie das Atmungssystem beeinträchtigt, berichtet eine größere Anzahl von Patienten über anhaltende neurologische Folgeerscheinungen, d.h. neben sensomotorische auch substantielle kognitive Funktionsstörungen, letzteres oft als „Gehirnnebel“ bzw. „brain fog“ bezeichnet. [22] Bisherige Studien deuten darauf hin, dass bis zu 30 % der Personen, die sich von COVID-19 erholen, kognitive Beeinträchtigungen in unterschiedlicher Ausprägung und Form erfahren, die nicht nur im Falle einer schweren, sondern auch leichteren Verlaufsformen eines COVID-19 durchaus prägnant ausfallen können und als Teil eines Long Covid subsumiert werden. [23] Diese kognitiven Beeinträchtigungen bei einem Long Covid können die bei anderen neurologischen Erkrankungen auftretenden Probleme widerspiegeln: Einschränkungen innerhalb der Gedächtnis- und Konzentrationleistungen, der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, aber auch Exekutivfunktionen mit Kennzeichen von Unsicherheiten in der Entscheidungsfindung, und schließlich auch einer subjektiv beklagten mentalen Müdigkeit bis Erschöpfung. Neue Daten deuten darauf hin, dass die kognitiven Dysfunktionen bei Long Covid eine besondere Herausforderung darstellen können, da ein erheblicher Teil der Erkrankten auch in Fällen eines relativ milden Infektionsverlaufs diese kognitiven Einschränkungen mit Wirksamkeit auf das frühere soziale Leistungsniveau beklagt. [24] [25] Tatsächlich bestehen diese Symptome bei vielen Patienten noch lange nach der akuten Phase der Krankheit fort und stellen unter Umständen erhebliche Langzeitfolgen für viele Patienten mit Long Covid dar. [26] Interessanterweise haben Forschungen zu grippebedingter Enzephalitis und EBV-assoziierten kognitiven Störungen zeigen können, dass eine viral ausgelöste Entzündung im Gehirn die normale kognitive Verarbeitung stören und langfristige kognitive Einschränkungen folgen, wie sie vergleichbar bei Patienten mit Long Covid beobachtet werden. [19] Die kognitiven Dysfunktionen, die bei Long Covid beobachtet werden, weisen tatsächlich zahlreiche klinische Merkmale auf, welche auch bei anderen Virusinfektionen, kritischen Erkrankungen und neurodegenerativen Krankheiten beobachtet werden. [27] Zusammenfassend verdichten sich die Hinweise auf ähnliche bis identische pathomechanistische Mechanismen einschließlich Neuroinflammation, Dysregulation des Immunsystems und neuronale Schädigung als Ursache der klinisch stereotypen Merkmalsausprägung kognitiver Beeinträchtigungen dieser vom Erreger ausgelösten Hirnschädigungen. [28] Daher sind kognitive Funktionsstörungen ein bekanntes Merkmal verschiedener anderer Virusinfektionen, kritischer Krankheiten und neurodegenerativer Erkrankungen, was wichtige Einblicke in die relevanten Mechanismen ermöglicht, die den strukturellen und funktionellen Beeinträchtigungen zugrunde liegen. Nicht zuletzt durch die wachsende Aufmerksamkeit für die bislang wenig in Erscheinung getretenen Betroffenen ist hier ein wachsender Bedarf der gesonderten Versorgung zu erkennen, d.h. gerade dieser letzte Aspekt

unterstreicht in verschiedener Hinsicht die Notwendigkeit einer spezialisierten und langfristigen wirksamen kognitiven Rehabilitation. [29]

Angesichts dieses zunehmend anerkannten Umstands, dass kognitive Funktionsstörungen einen gewichtigen Anteil an Folgeerscheinungen neurologischer Erkrankungen ausmachen können, ist neben der weiteren Erforschung der Ursachen und klinischen des Verlauf der Bedarf an wirksamen Rehabilitationsstrategien dringender denn je. Der Zugang zu persönlichen Rehabilitationsdiensten ist jedoch nach wie vor begrenzt, insbesondere in unterversorgten oder abgelegenen Gebieten, und die Nachfrage nach Langzeitpflege kann die vorhandenen Gesundheitsressourcen überfordern. [9] [30] [8] In diesem Zusammenhang hat sich die computergestützte kognitive Rehabilitation (CBCR) für neurologische Erkrankungen als eine vielversprechende Lösung nicht nur für institutionelle, sondern auch für ambulante Bedingungen erwiesen. [30] [31] [32] [33] CBCR-Tools bieten einen flexiblen, zugänglichen und skalierbaren Ansatz für die Behandlung kognitiver Dysfunktionen, der es den Patienten ermöglicht, Rehabilitationsübungen auch bequem von zu Hause aus durchzuführen. [34] Diese Hilfsmittel können an die individuellen Bedürfnisse angepasst werden und bieten das Potenzial für eine nachhaltige Rehabilitation auf lange Sicht - wichtig für Patienten mit anhaltenden Symptomen, wie sie bei neurologischen Erkrankungen wie ischämischer oder entzündlicher Enzephalopathie oder bei Long Covid als anhaltende zerebrale Funktionsstörung nach einer systemischen Virusinfektion auftreten. [35] [36]

In der vorliegenden Arbeit soll dargestellt werden, wie mit einem individuell erstellten Trainingsprogramm die Leistungsanforderungen an eine CBCR überzeugend vorgehalten werden können. Mit dem MemoVitoREHA® werden die Kernmerkmale des kognitiven Trainings in einem Online-Verfahren ausführlich erfasst, was sich in dem Zuwachs an einzelnen kognitiven Leistungsbereichen abbilden lässt. In der vorliegenden Untersuchung wurden Personen mit einem Long Covid-Syndrom eingeschlossen, um exemplarisch die therapeutische Effizienz in der kognitiven Rehabilitation in einem ambulanten Setting herauszustellen.

2. Methodik

2.1. MemoVitoREHA® als Trainingsmodul für kognitive Rehabilitation

MemoVitoREHA® wurde als Beitrag zur Digitalisierung im Gesundheitswesen entwickelt. Der telemedizinische Ansatz mit der Orientierung auf eine einfach zugängliche Anwendung hilft eine Lücke zwischen dem Therapiebedarf und den tatsächlich vorhandenen Kapazitäten zu schließen.

In einem Kooperationsprojekt der wahrnehmbar GmbH & Co. KG Neuruppin [37] und Chromis Software Dresden [38] wurden in einer Pilotstudie Patienten mit nachweislich kognitiven Funktionsschwächen infolge einer akuten Hirnerkrankung, welche einer ambulanten neuropsychologischen Untersuchung und Behandlungsplanung vorstellig geworden waren, für ein ambulantes neurokognitives Training mit dem Online-Trainingsprogramm MemoVitoREHA® über einen Zeitraum von zwölf Monaten eingeschlossen. In dieser freiwilligen Teilnahme an dem Online-Training wurden über entsprechend ausgesuchte Programmebenen verschiedene kognitive Hirnfunktionen innerhalb der Gedächtnis-, Aufmerksamkeits-, Exekutiv- und auch visuospatialen Domänen avisiert und geübt. Ziel war es, über eine Anwendungsbeobachtung Hinweise für die Wirksamkeit und damit Funktionszunahmen bei regelmäßiger Anwendung des Trainingsprogramms aufzuzeigen. Zur Untersuchung von Funktionszunahmen kam ein speziell entwickelter Online-Leistungstest mit ausgewählten Trainingsübungen zur Anwendung.

Die Firma Chromis Software ist ein mehrfach ausgezeichnetes Software-Unternehmen mit jahrzehntelanger Erfahrung im Bereich computergestützter Lern- und Trainingsprojekte auf der Grundlage von Serious Games. Die Hauptautorin E. Heim verfügt außerdem über Erfahrungen im Bereich Sportmethodik und konnte diese hinsichtlich Trainingsbegleitung und Trainingsmethodik in das Projekt MemoVitoREHA® einbringen. Dabei ergaben sich interessante Analogien, insbesondere zum therapeutischen Krafttraining (z.B. KIESER-Training). Dieses Training setzt auf persönliche Anleitung und Motivation durch die Trainingsbegleiter in Kombination mit

selbstständigem Training, plant das Training unter Berücksichtigung der Beeinträchtigungen des Trainierenden, vermeidet Vergleiche mit den Leistungen anderer, sondern orientiert sich an der individuell erreichbaren Leistungsgrenze. Für die Steigerung der Trainingsbelastung gibt es eine Standardformel (Algorithmus), aber auch hier wird ganz individuell und gemeinsam mit dem Trainingsbegleiter entschieden, wie der Trainierende dabei vorgehen soll. Die wahrnehmbar GmbH & Co. KG wiederum ist seit dem Jahr 2004 Anbieter von innovativen Produkten im Pflege- und REHA-Bereich. Die nun vorgelegte Software MemoVitoREHA® dieser beiden Anbieter wurde 2021 bis 2025 in einem gemeinsamen Projekt als ein online-Trainingsprogramm zur Steigerung der Gedächtnis- und Konzentrationsleistung von COVID-19-Betroffenen in einer Fallstudie getestet. [39] Die dabei erzielten positiven Ergebnisse wurden evaluiert und in einer Wirksamkeitsstudie untersucht. [40] In dem Kooperationsprojekt wurden vordergründig Patienten mit einer kognitiven Leistungsschwäche nach einer Covid-19-Erkrankung berücksichtigt. Im weiteren Behandlungsverlauf wurden regelmäßige Übungen mit der Software MemoVitoREHA® absolviert, der Behandlungserfolg wurde in einem Zwischentest nach 4 Wochen und einem Abschlusstest nach 8 Wochen ermittelt.

Die Primärhypothese war, dass Patienten mit kognitiven Leistungseinschränkungen nach einer stationären oder auch ambulanten Versorgung von einem modularen computerbasierten Training über 8 Wochen in ihren kognitiven Fähigkeiten profitieren, was sich in der Selbsteinschätzung der Teilnehmer und einer durchschnittlichen Punkteverbesserung vom Anfangs- zum Abschlusstest von 31% abbildet.

Die Untersuchung schloss Patienten mit Merkmalen kognitiver Leistungseinschränkungen nach einer stationären oder auch ambulanten Versorgung ein. In dieser Gruppe der Studienteilnehmer konnte keine statistisch signifikante Abhängigkeit der Testergebnisse vom Infektionszeitpunkt und Trainingsbeginn festgestellt werden.

Soziobiographische Items (Alter, Geschlecht, Bildung) wurden für die spätere statistische Berechnung gesondert berücksichtigt. Hinsichtlich der Einschlusskriterien wurden für diese Studie als Zielgröße Patienten beiderlei Geschlechts mit kognitiven Leistungseinschränkungen in den Bereichen der Aufmerksamkeits-, Exekutivfunktions- oder Merkfähigkeitsebenen eingeschlossen. Medizinische Komorbiditäten ohne direkten Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit wurden nicht als ein Ausschlusskriterium beurteilt. Patienten mit konkurrierenden Hirnschädigungen wie cerebrovaskuläre Hirnerkrankungen, aber auch Patienten mit einer Suchtstoffanamnese wie Alkoholmissbrauch im Vorfeld der Covid-19 wurden nicht eingeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien für diese Studie fanden sich in allen bekannten bzw. klinisch evidenten psychiatrischen Komorbiditäten wie Persönlichkeitsstörungen, affektiven (v.a. rezidivierend depressive Episoden) und psychotischen Erkrankungen, zudem sämtlichen Hirnerkrankungen auf dem Boden einer neurodegenerativen (v.a. Demenz unterschiedlicher Ätiologie) oder internistischen Erkrankung mit bekannten oder anzunehmenden cerebralen Beteiligungen (Vaskulitis, Lupus erythematoses).

2.2. Beschreibung MemoVitoREHA®

Bei MemoVitoREHA® handelt es sich um ein PC-gestütztes Trainingsprogramm (Chromis Software, Dresden) mit Feedback-Modul. Es werden nur die zum Training und zur Programmausführung notwendigen Daten erfasst. Die Protokollierung erfolgt in einer Server-Datenbank, wobei der Account des Softwaresystems SSL-gesichert ist. Auf Verlangen des Studienteilnehmers können die Daten aus der Datenbank gelöscht werden. Die programmtechnische Lösung mit einem autorisierten Lizenzschlüssel verhindert die unrechtmäßige Weitergabe der Trainingssoftware an Dritte. Eine Manipulation dieses Lizenzschlüssels würde erkannt werden und zur sofortigen Sperrung der Lizenz und zur Verweigerung des Programmstarts führen. Die Datei mit dem Lizenzschlüssel befindet sich auf dem Computer des Nutzers und ist ebenfalls verschlüsselt. Die darin enthaltenen Nutzerdaten können weder durch den Administrator noch durch Dritte ausgelesen werden.

Als Voraussetzung einer Teilnahme an den Übungen gilt die Fähigkeit des Bedienens eines Computerprogramms, so dass ausreichende visuelle, akustische und visuo-motorische Fähigkeiten gefordert werden sollten. Das Ziel von MemoVitoREHA® ist die Wiederherstellung und zumindest eine Verbesserung der kognitiven Fähigkeiten, insbesondere der Aufmerksamkeit, der Konzentration, der Gedächtnisleistung, von Zahlenverständnis, Reaktionsfähigkeit und logischem Denken. Verbesserungen in diesen Bereichen sollen sich in einer Erhöhung von Lebensqualität abbilden, was sich auch in der Bewältigung von einzelnen Alltagsbereichen des privaten und beruflichen Lebens zu erkennen geben kann, d.h. Berufstätige sollen möglichst schnell wieder ihrer beruflichen Tätigkeit nachgehen können.

Der Ansatz von MemoVitoREHA® ist ganzheitlich: Er kombiniert unterschiedlichen kognitiven Anforderungen in jeweils einer der 15 zur Verfügung stehenden Übungen.

Die Personalisierung erfolgt durch Zusammenstellung eines differenzierten Trainingsplanes aus verschiedenen Übungen, die sich hinsichtlich der kognitiven Anforderungen ergänzen und spezifische Defizite des Patienten berücksichtigen.

Abhängig vom Anfangstestergebnis wurden die Teilnehmer in eine von drei Leistungsgruppen eingestuft:

S = Standardtraining	22 Teilnehmer
N = niedrigere Trainingsbelastung, besonderer Betreuungsbedarf	3 Teilnehmer
H = höhere Trainingsbelastung möglich	4 Teilnehmer

Die Methodik des MemoVitoREHA® baut auf folgenden Prinzipien auf:

- Training mit Trainingsbegleiterin über 8 Wochen (5 Tage Training, 2 Tage Pause)
- steigende Belastungsintensität
- mittlerer Trainingsreiz, Vermeiden von Übertraining
- Wiederholung der Übungen über jeweils 5 Tagestrainings, um einen Trainingseffekt zu erreichen
- Kontrolle durch die Trainingsbegleiterin anhand der Verlaufsdaten auf dem Server
- weiteres Training nach selbstständigem Trainingsplan anhand der Empfehlungen und Selbstkontrolle anhand eines Auswertungs-Protokolls auf dem Computer des Trainierenden nach Studienende möglich

Die Kombination eines begleiteten Trainings in den ersten 8 Wochen und der Übergang zu dem darauffolgenden selbstständigen Training, fokussiert exekutive Leistungsmerkmale der Handlungsplanung und die Abarbeitung einer vorgegebenen Handlungsfolge. Die Bewertung der Trainingsergebnisse stärkt das Selbstbewusstsein und die Motivation, das hiermit erzielte Selbstwirksamkeitserleben fördert wiederum die Leistungsbereitschaft und Adhärenz für eine Fortsetzung des Trainings. In den einzelnen Übungen werden unterschiedliche kognitive Anforderungen kombiniert. Das Tempo der Übungsausführung fließt in die Bewertung ein. Der Trainierende wird angeregt, ein Optimum zwischen Arbeitstempo und Genauigkeit zu finden, wobei der Trainierende mit einer Trainingsempfehlung zu Beginn der Therapie zur Entwicklung und Probe individuell geeigneter Lösungsstrategien für die Trainingsaufgaben ermuntert wird. Die Übungsinhalte orientieren sich an Alltagsanforderungen, wie Kopfrechnen, Merken einer Ziffernfolge, schnelles Erfassen und Kombinieren von Informationen, Entwicklung und Erprobung von Lösungsstrategien, Resilienz. Die Inhalte sind unabhängig von Alter, Bildungsgrad, beruflicher Tätigkeit und Spezialwissen. Die Übungen sind in spielerischer Form gestaltet und motivieren zum Mitmachen (Serious Games, Lernspiele). Die Länge eines Tagestrainings, die Häufigkeit pro Woche, die Pausen zwischen den Tagestrainings und die Belastungssteigerungen wurden anhand von Erfahrungswerten sowie in Analogie zum Training im Sport festgelegt. Die bisherigen Ergebnisse der durchgeführten Fallstudien bestätigen diesen Ansatz. Die Methodik soll auf Grundlage weiterer Erfahrungswerte evaluiert und weiterentwickelt werden.

Das Training wird online am häuslichen Computer ausgeführt. Von der Trainingsbegleiterin werden in den ersten 8 Wochen kontinuierlich die Zeitdauer und die Ergebnisse der Übungen verfolgt und – falls erforderlich – werden Rückmeldungen und Hinweise gegeben. Die Trainingsbegleiterin ist nicht während des Trainings online, sondern wertet am Trainingsende die Ergebnisse aus. Eine

Chat-Funktion ermöglicht den Austausch von Nachrichten, zusätzlich zur Kommunikation per E-Mail oder Telefon. Bisherige Erfahrungen ergaben, dass sich durch die Trainingsbegleitung (menschliche Komponente), kombiniert mit der statistischen Auswertung der Verläufe und der Tests (algorithmische Komponenten) Leistungssteigerungen, Schwankungen und kognitive Leistungseinbrüche im Trainingszeitraum feststellen lassen. Crash-Phasen können von der Trainingsbegleiterin erkannt werden und darauf kann mit einer Kontaktaufnahme mit dem Trainierenden entsprechend reagiert werden. Hier wird folglich auch der Faktor einer empathischen Zuwendung, die für Patienten mit einer Hirnfunktionsstörung wie auch bei COVID-Betroffenen sehr wichtig ist, berücksichtigt. Diesem Aspekt wird in der Grundüberlegung des Therapieprogramms ein besonderer Wert beigemessen, da sich dieser nicht durch Algorithmen ersetzen lässt, weil Empathie höchstens simuliert werden kann. [41] Der Trainierende hat die Gelegenheit der Kommunikation mit der Trainingsbegleiterin.

Die Trainingsbegleiterin kann einen kurzen Motivationstext für das nächste Training verfassen, Hinweise geben und Anfragen beantworten. Besonders wichtig ist es, Erfolge und Fortschritte zu loben und damit die Motivation und das Selbstbewusstsein zu stärken. Falls notwendig, können die Trainingspläne individuell angepasst werden. Ein spezielles Hintergrundbild fördert die Konzentration und fixiert die Aufmerksamkeit auf den Bildschirm. Es kann bei Trainierenden mit Sehproblemen angepasst werden, wenn es für ihn ggf. zu anstrengend ist.

2.3. Leistungstest des MemoVitoREHA®

Der Leistungstest wurde speziell für MemoVitoREHA® entwickelt, erfolgt online und kann vom Teilnehmer unabhängig von der Trainingsbegleiterin zu einer Tageszeit seiner Wahl an seinem Computer in häuslicher Umgebung ausgeführt werden. Der Teilnehmer absolviert vier ausgewählte Übungen des MemoVitoREHA®-Trainings in je zwei Schwierigkeitsstufen. Dazwischen kann als kleine Pause eine unterhaltsame Übung in der Art eines Kartenspiels gespielt werden.

Der Anfangstest wird erst beim 5. Training absolviert, nachdem vier „Kennenlern-Trainings“ stattfanden. Er wird später als Zwischentest und Abschlusstest wiederholt, wobei im Rahmen des folgenden selbstständigen Trainings die Möglichkeit zur Durchführung erneuter Tests vorgehalten wird.

Da die einzelnen Aufgaben aus einem Pool von Aufgaben zufällig ausgewählt werden, gibt es keinen Auswendig-Lern-Effekt. Somit ist der Test beliebig oft wiederholbar und kann eine aussagekräftige Messreihe liefern.

Der Test wird anhand der Übungen am Computer ohne Beisein eines menschlichen Testers durchgeführt und von einem Algorithmus ausgewertet. Damit sind Verlauf, Auswertung und Ergebnis unabhängig von subjektiven Einschätzungen und ggf. Einflüssen durch einen menschlichen Tester.

Bei diesem Test wird der Trainierende bis an oder auch über seine Leistungsgrenze hinaus gefordert (Analogie zur Maximalkraftmessung beim Krafttraining). [42] Vorab bekommt der Trainierende den Hinweis, dass er nicht frustriert sein soll, wenn er einige Übungen – vor allem gegen Testende – nicht oder nur sehr fehlerhaft absolvieren kann. Es geht darum, seine momentanen kognitiven Fähigkeiten zu beurteilen. Dieses Ergebnis bestimmt dann die Auswahl des Trainingsplanes und die Intensität der Trainingsbegleitung.

Ein Leistungsabfall kann gegen Ende des Tests auftreten, wenn die Aufmerksamkeitsspanne von ca. 20 Minuten überschritten wird. Bei Probanden der Leistungsgruppe N (niedrigere Trainingsbelastung, besonderer Betreuungsbedarf) ist zu klären, ob die Durchführung eines Tests zumutbar ist oder bereits zu einer Überlastung führen könnte.

Die Ergebnisse einer Vergleichsgruppe von Personen ohne kognitive Einschränkungen liegen im

Bereich von 450 bis 580 Punkten.

Der erste Test wird als Anfangswert registriert. Er ist der Maßstab für die Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten während des Trainingszeitraums. Es erfolgt absichtlich kein Vergleich mit anderen Personen, da jeder sein individuelles Anfangsniveau hat (Analogie zum Krafttraining).

Die Übungen für den Test wurden so ausgewählt, dass die wichtigen kognitiven Fähigkeiten

- Aufmerksamkeit
- Konzentration
- Kurzzeitgedächtnis
- Arbeitsgedächtnis
- Reaktionsfähigkeit
- Kopfrechnen

in unterschiedlichen Kombinationen getestet werden.

2.4. Trainingspläne

Die Trainingspläne variieren in folgenden Parametern:

- Schwierigkeitsstufe einer Übung
- Auswahl der Übungen im Tagesplan
- Reihenfolge der Übungen im Tagesplan

Eine Anpassung ist in begründeten Fällen zusätzlich möglich hinsichtlich:

- der Anzahl der Übungen im Tagesplan
- der Anzahl der Tagestrainings im Wochenplan
- der Trainingspausen
- des Hintergrundbildes – Farbe, Form (Ortsfrequenz), Geschwindigkeit (Zeitfrequenz)

Jedes Tagestraining umfasst 10 Übungen. Ausnahmen sind das erste Training sowie der Leistungstest. Der Trainierende erhält für jede Woche der ersten zwei Monate einen Plan, insgesamt also 8 Pläne. Er soll in einer Woche 5 Tagestrainings absolvieren und an zwei Tagen seiner Wahl pausieren. Somit ergeben sich 40 Tagestrainings über einen Zeitraum von 8 Wochen. Die Übungsauswahl ist so gestaltet, dass alle Übungen möglichst gleichmäßig verteilt vorkommen. Die Schwierigkeitsstufen beginnen mit Stufe 1 und steigern sich bis Stufe 3. Um einen Trainingseffekt zu erreichen, wird ein bestimmter Tagestrainingsplan 5 Mal wiederholt. Ausnahmen sind die Trainings mit dem Leistungstest.

Nach dem 8-wöchigen Training wurde ein Abschlussbericht verfasst und der Trainierende erhält Hinweise für sein selbstständiges Training.

2.5. Beschreibung der Stichprobe

Die Teilnehmer am Trainingsprogramm waren Patienten einer Long-Covid-Hochschulambulanz oder nahmen aufgrund eines Zeitungsartikels und privater Empfehlungen an der Studie teil. Das Online-Trainingsprogramm absolvierten 29 Long-Covid-Betroffene mit kognitiven Einschränkungen (siehe Tabelle 2) im Alter von 31 bis 70 Jahren (Medianwert: 57 Jahre) in einem Zeitraum von Juni 2021 und Dezember 2025 von zu Hause aus (s. Abbildung 1 und 2). Ein Teilnehmer beendete das Trainingsprogramm nach 4 Wochen erfolgreich, da er bereits nach dieser Trainingszeit wieder seine volle Leistungsfähigkeit nach eigener Einschätzung erreicht hatte. Ein weiterer Teilnehmer konnte das Trainingsprogramm krankheitsbedingt nur bis zum Zwischentest absolvieren und ein an der Studie Interessierter brach das Training aus nicht genannten Gründen frühzeitig ab. Drei Teilnehmer machten keine Angaben zu ihrem Alter ebenso wie vier zu dem Beginn ihrer Long-Covid-Einschränkungen. Alle Absolventen des Trainingsprogramms waren sehr motiviert.

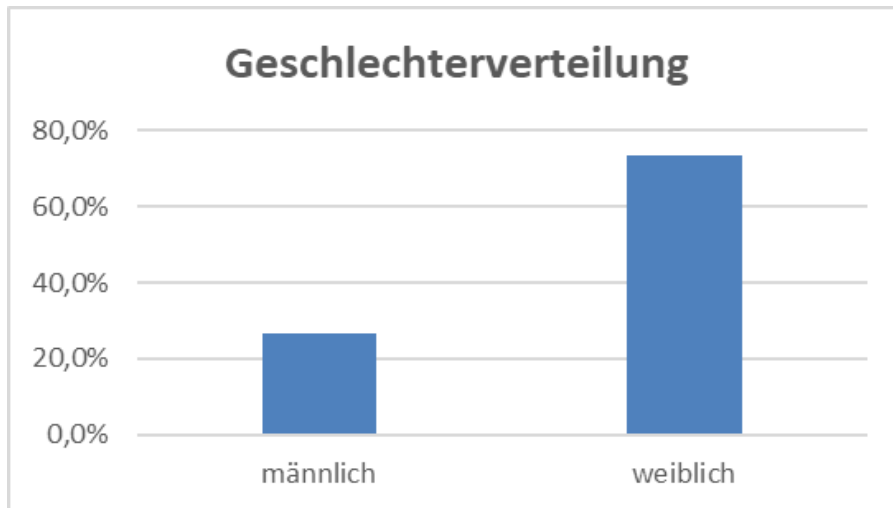


Abbildung 1: Geschlechterverteilung der Studienteilnehmer

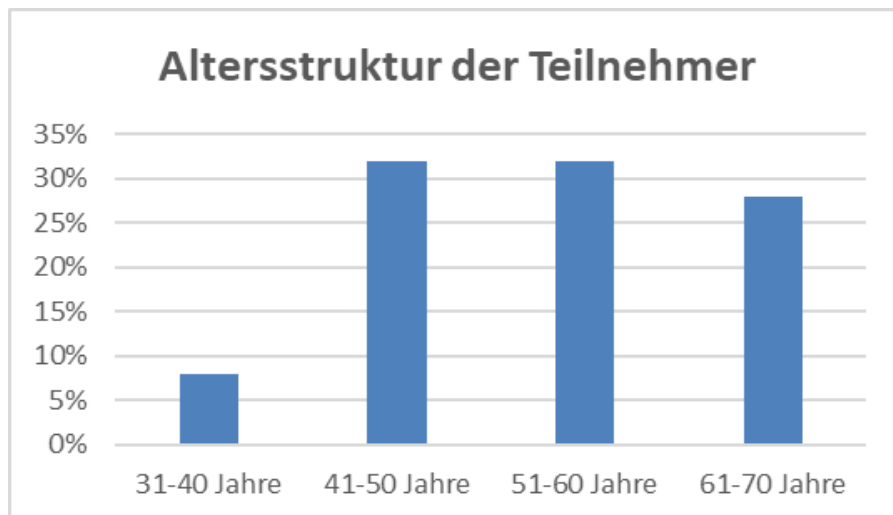


Abbildung 2: Altersstruktur der Studienteilnehmer

3. Ergebnisse

3.1 Selbsteinschätzung

Die Ergebnisse der anhand der Fragebögen erfassten Selbsteinschätzung zu kognitiven Einschränkungen sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Teilnehmer	Kopfrechnen	Hören	Sehen	Konzentration	Gedächtnis	Reaktion
530-131	3	0	2	3	3	nicht abgefragt
537-138	0	0	3	2	2	nicht abgefragt
538-139	3	-	-	-	1	nicht abgefragt
539-140	-	-	-	-	-	nicht abgefragt
541-142	1	0	0	-	2	nicht abgefragt
549-150	2	1	2	3	3	nicht abgefragt
550-151	2	1	1	3	2	2
551-152	2	2	-	3	3	nicht abgefragt
552-153	0	1	1	3	1	1
557-158	0	0	0	3	3	0
559-160	3	2	2	3	3	3
560-161	-	-	-	-	-	-
561-162	1	2	2	3	3	2
563-164	-	3	1	1	3	1
566-167	2	1	3	3	2	2
568-169	2	2	1	1	2	1
572-173	2	1	1	3	2	1
575-178	3	0	1	3	3	2
579-180	2	0	3	3	3	3
581-182	2	2	2	3	3	3
583-184	1	0	2	3	3	0
584-185	2	2	2	3	3	2
586-187	2	0	0	3	3	3
587-188	2	1	1	3	3	3
588-189	3	0	2	3	3	3
595-196	-	2	3	3	2	2
601-202	2	0	0	3	3	3
602-203	3	2	2	3	3	3
620-221	1	0	0	0	3	0
Mittelwerte:	1,8	1,0	1,5	2,7	2,6	1,9
	Verschlechterung:	<i>trifft zu</i>	3			
		<i>trifft eher zu</i>	2			
		<i>trifft eher nicht zu</i>	1			
		<i>trifft nicht zu</i>	0			
		<i>keine Einschätzung</i>	-			

Tab. 1: Die Selbsteinschätzung der Studienteilnehmer der Verschlechterung von kognitiven Fähigkeiten

Bei den kognitiven Fähigkeiten „Gedächtnis“ und „Konzentration“ bestätigten 84% bzw. 67% der Teilnehmer Verschlechterungen. Nur 33% bestätigten eine Einschränkung ihrer Reaktionsfähigkeit und weitere 16% für ihr Kopfrechnen bzw. die Sehfähigkeit. Nur ein Teilnehmer bestätigte eine Einschränkung der Hörfähigkeit (4%). Die Mittelwerte ergeben aus den gesamten Einschätzungen

von „trifft zu“ bis „trifft nicht zu“. Eindeutig dominierend sind die Verschlechterungen der Gedächtnisleistung und der Konzentrationsfähigkeit.

Nach Abschluss des achtwöchigen Trainingsprogramms wurde den Teilnehmern ein Fragebogen übermittelt, in dem sie nach ihrer Einschätzung einer möglichen Verbesserung in diesen kognitiven Kategorien gefragt wurde. An dieser Befragung nahmen 28 Teilnehmer teil (s. Tabelle 2).

Teilnehmer	Kopfrechnen	Hören	Sehen	Konzentration	Gedächtnis	Reaktion
530-131	1	-	0	1	0	nicht abgefragt
537-138	1	-	0	1	0	nicht abgefragt
538-139	1	-	0	1	0	nicht abgefragt
539-140	2	-	-	2	2	nicht abgefragt
541-142	1	-	0	1	0	nicht abgefragt
549-150	2	0	0	1	1	nicht abgefragt
550-151	2	0	0	2	1	2
551-152	-	0	0	-	-	nicht abgefragt
552-153	1	-	-	1	1	-
557-158	1	-	-	1	1	-
559-160	2	2	1	2	2	2
560-161	1	0	0	1	2	2
561-162	1	1	0	1	1	1
563-164	1	0	0	2	2	2
566-167	2	1	1	2	3	3
568-169	1,5	0	0	2	1,5	1
572-173	1	0	0	1	2	1
575-178	1	-	-	1	1	1,5
579-180	1,5	-	1,5	2	2	2
581-182	1	0	0	2	-	-
583-184	0	0	0	2	2	2
584-185	1	0	0	1	1	2
586-187	1	0	1	1	1	2
587-188	0	0	0	1	1	0
588-189	1	0	0	1	0	0
595-196	1	0	0	1	1	1
601-202	0	0	0	0	0	1
602-203	-	-	-	-	-	-
620-221	2	0	0	1	0	2
Mittelwerte:	1,1	0,2	0,2	1,3	1,1	1,5
	Verbesserung:	<i>sehr stark</i>	3			
		<i>stark</i>	2			
		<i>wenig</i>	1			
		<i>gar nicht</i>	0			
		<i>keine Einschätzung</i>	-			

Tab. 2: Die Selbsteinschätzung der Studienteilnehmer ihrer Verbesserung der kognitiven Fähigkeiten nach Abschluss des Trainings

Im Durchschnitt empfanden die Teilnehmer die größte Verbesserung im Bereich der Reaktionsgeschwindigkeit und des Konzentrationsvermögens (Mittelwerte 1,5 und 1,3). Das Kopfrechnen und die Gedächtnisleistung wurden nur mit einer geringen Verbesserung bewertet

(Mittelwerte jeweils 1,1). Eine Verbesserung des Hör- oder Sehvermögens wurde nur in wenigen Ausnahmefällen empfunden.

3.2 Testergebnisse

27 Teilnehmer absolvierten den Anfangs- und Abschlusstest, da ein Teilnehmer das Trainingsprogramm bereits nach dem Zwischentest beendete (nach eigener Aussage hatte er die alte Leistungsfähigkeit wieder erreicht), ein Teilnehmer krankheitsbedingt das Trainingsprogramm nur bis zum Zwischentest absolvieren konnte und ein Teilnehmer das Trainingsprogramm nach dem Start kurzfristig ohne Angabe von Gründen abgebrochen hatte. Die Punkteergebnisse der drei Tests der Studienteilnehmer sind im folgenden Kastendiagramm (Abbildung 3) dargestellt. Die „Antennen“ zeigen die obere und untere Punktegrenze für statistische Ausreißer an, der blau eingefärbte Bereich den Interquartilsabstand (Q1-Q3), das Kreuz den Medianwert und ein Punkt den Wert eines statistischen Ausreißers, der durch einen größeren Abstand vom Medianwert als das 1,5-fache vom Interquartilsabstand definiert ist.

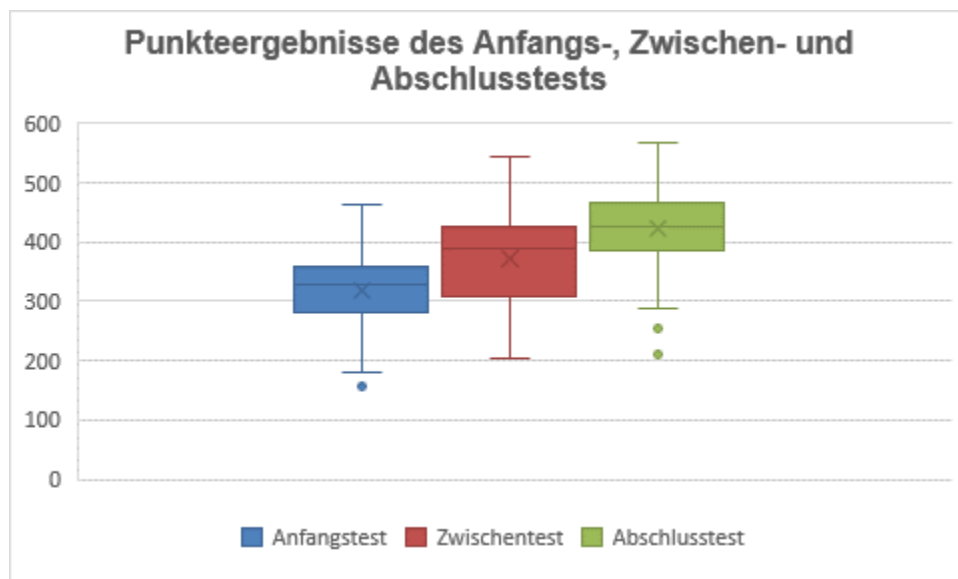


Abbildung 3: Kastendiagramme der Punkteergebnisse der drei Tests der Studienteilnehmer

In den Testergebnissen lassen sich im Vergleich der Zwischen- und Abschlusstests Leistungszuwächse erkennen. Hinsichtlich der statistischen Bedeutsamkeit der Testergebnisse vom Anfangs- zum Zwischen- und Abschlusstest wurden Zweistichproben t-Tests bei abhängigen Stichproben (Paarvergleichstest) durchgeführt. Voraussetzung für die Anwendung dieses Testverfahrens ist, dass die Ausgangswerte normalverteilt sind. Dies wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test des Gretl-Statistikprogramms [43] geprüft (s. Tabelle 3).

	Teststatistik W	W (kritisch)
Ergebnisse Anfangstest	0,960	0,926
Ergebnisse Zwischentest	0,974	0,926
Ergebnisse Abschlusstest	0,963	0,923

Tab. 3: Teststatistik des Shapiro-Wilk-Tests für den Anfangs-, Zwischen- und Abschlusstest

Die Veränderungen der Punktzahlen zwischen den einzelnen Tests waren ebenfalls (Shapiro-Wilk-Tests, s. Tabelle 4) normalverteilt.

	Teststatistik W	W (kritisch)
Zwischen- minus Anfangstestpunktezahl	0,964	0,926
Abschluss- minus Zwischentestpunktezahl	0,969	0,923
Abschluss- minus Anfangstestpunktezahl	0.949	0,923

Tab. 4: Teststatistik des Shapiro-Wilk-Tests für die Punktedifferenzen zwischen Anfangs-, Zwischen- und Abschlusstest

Für die Veränderungen der Punktzahlen zwischen Anfangs-, Zwischen- und Abschlusstest der einzelnen Studienteilnehmer wurde über eine Excel-Funktion [44] der Zweistichproben t-Test bei abhängigen Stichproben durchgeführt. Entsprechend einer Nullhypothese lagen die Veränderungen der Testergebnisse innerhalb einer statistischen Schwankungsbreite (s. Tabelle 5).

	P (zweiseitig)	P-Wert α-Niveau 0,05
Ergebnisveränderung Zwischen- zu Anfangstest	0,0008	0,05
Ergebnisveränderung Abschluss- zu Zwischentest	0,000	0,05
Ergebnisveränderung Abschluss- zu Anfangstest	0.000	0,05

Tab. 5: Teststatistik des T-Tests für die Veränderungen zwischen Anfangs-, Zwischen- und Abschlusstest

Für alle drei Ergebnisveränderungen lag der p-Wert der T-Tests unter dem Signifikanzniveau α , womit die Nullhypothese verworfen und von einer statistisch signifikanten Ergebnisveränderung zwischen den Testergebnissen ausgegangen werden konnte. Auch der Median und Mittelwert der Punkteergebnisse der drei Tests zeigten eine stetig steigende Tendenz zwischen dem Anfangs- und Abschlusstest (s. Tabelle 6).

	Median	Mittelwert
Anfangstest	327	318
Zwischentest	388	371
Abschlusstest	426	421

Tab. 6: Median und Mittelwert der Punkteergebnisse der Punkttests

Eine Zunahme der kognitiven Leistungsmerkmale lässt sich bereits in der ersten Hälfte des achtwöchigen Trainings erkennen. Eine weitere Zunahme ließ sich wiederum im Vergleich des Zwischentest- zum Abschlusstestergebnisses für die zweite Trainingshälfte als positive Wirkung des Trainingsprogrammes darstellen (s. Abbildung 3).

Die Punkteverbesserung vom Anfangs- zum Abschlusstest ist als Kastengrafik in Abbildung 4 dargestellt:

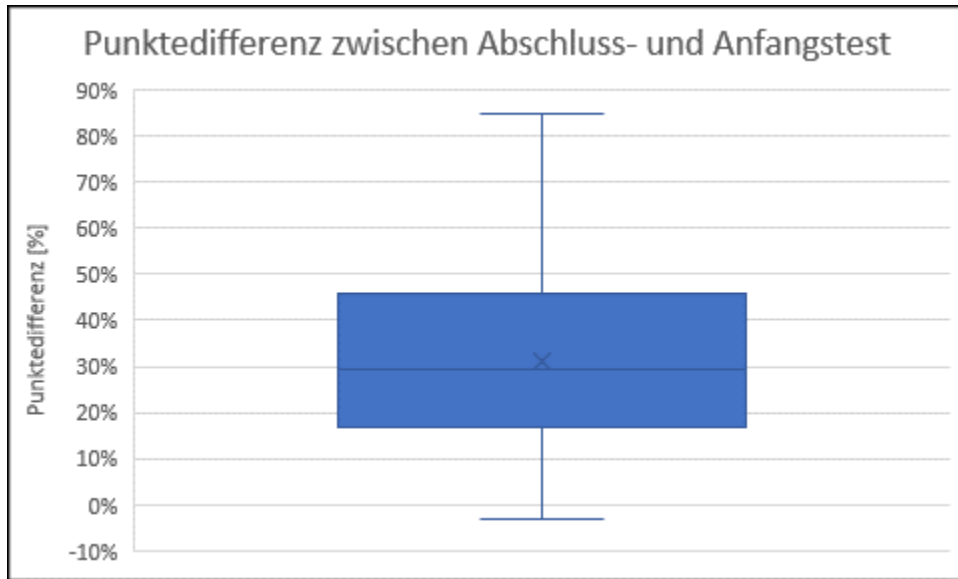


Abbildung 4: Kastengrafik der Punktedifferenz zwischen Abschluss- und Anfangstest der Studienteilnehmer

Nur einer der Teilnehmer konnte seine Punktezahl im Abschlusstest nicht steigern.

Eine Abhängigkeit der prozentualen Steigerung des Anfangstestergebnisses von der Dauer der Infektion bis zum Trainingsbeginn war in dieser Teilnehmergruppe nicht erkennbar:

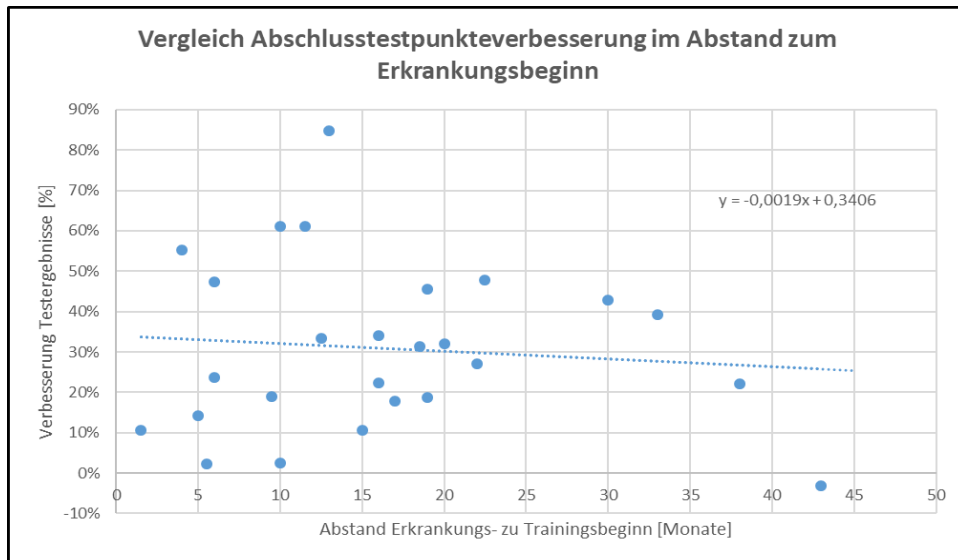


Abbildung 5: Die prozentuale Steigerung des Testergebnisses vom Anfangs- zum Abschlusstest in Abhängigkeit vom Abstand des Trainingsbeginnes zum Zeitpunkt der Coviderkrankung.

Die Erfassung einer kognitiven Leistungsverbesserung wurde auch in einer statistischen Überprüfung nach dem Modell der kleinsten Quadrate (OLS) gesichert. Die Variablen „Abstand zum Erkrankungsbeginn“ und „Verbesserung Testergebnisse“ waren nach dem Shapiro-Wilk-Test normalverteilt:

	Teststatistik W	W (kritisch)
--	------------------------	---------------------

Abschlusstestverbesserung in %	0,971	0,920
Abstand zum Erkrankungsbeginn	0,930	0,920

Tab. 7: Teststatistik des Shapiro-Wilk-Tests für die Abschlusstestverbesserung und dem Abstand zum Erkrankungsbeginn

Eine lineare Regression (OLS, Modell der kleinsten Quadrate) zeigt, dass zwischen der Verbesserung des Punkteergebnisses des Abschlusstests und dem zeitlichen Abstand zur Erkrankung kein statistischer Zusammenhang besteht: Die lineare Regression ergibt für den Steigungskoeffizienten des zeitlichen Abstandes einen p-Wert von 0,635, der damit größer als das Signifikanzniveau von 0,05 ist und damit keine Signifikanz zeigt.

3.3 Nachbefragung

Alle 29 Studienteilnehmer erhielten im Rahmen einer Nachbefragung einen Fragebogen, in dem nach ihrer Einschätzung ihrer aktuellen Leistungsfähigkeit gefragt wurde und inwieweit sie ihren Beruf wieder ausüben können. 18 Studienteilnehmer machten hierzu Angaben.

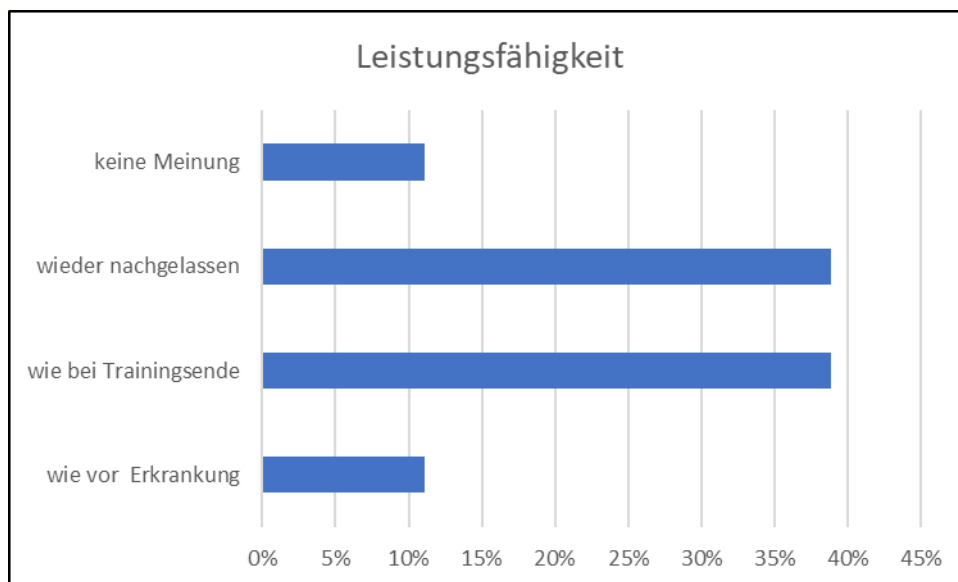


Abbildung 6: Die Selbsteinschätzung der Leistungsfähigkeit der Teilnehmer in der Nachbefragung

Die Selbsteinschätzung der Teilnehmer zu ihrer Leistungsfähigkeit wurde im Zeitraum von 4 bis 37 Monaten nach dem Trainingsende abgefragt. Die meisten Nachbefragungen fanden im Zeitraum von 4 bis 12 Monaten statt (11 von 18). Eine Abhängigkeit der dabei eingeschätzten Leistungsfähigkeit vom zeitlichen Abstand zum Trainingsende konnte nicht festgestellt werden. 39 % der Teilnehmer der Nachbefragung schätzten ihre Leistungsfähigkeit wie beim Trainingsprogrammende ein, 11 % sogar wie vor der Erkrankung.

Weiterhin wurde gefragt, inwieweit die berufliche Tätigkeit wieder aufgenommen werden konnte:

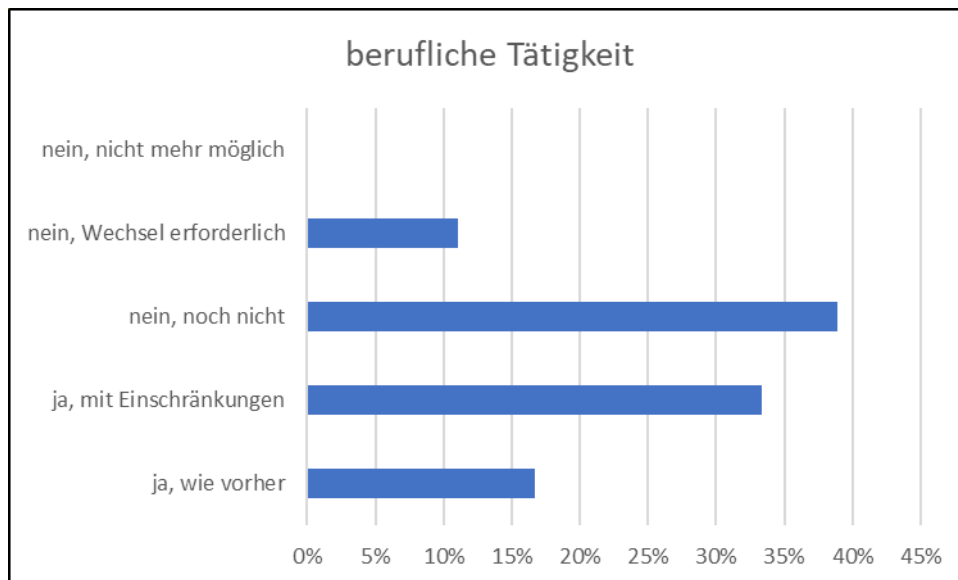


Abbildung 7: Angaben zur Berufstätigkeit nach dem Trainingsprogrammende

Der größte Anteil der Teilnehmer (39 %) hatte seine berufliche Tätigkeit noch nicht wieder aufgenommen, 33 % waren mit Einschränkungen und 17 % wie vor der Erkrankung wieder berufstätig.

4. Diskussion

Unsere Untersuchungsergebnisse zeigen für das professionalisierte Übungsprogramm MemoVitoREHA® der Firma Chromis Software in Kooperation mit der Firma wahrnehmbar GmbH & Co. KG eine effektive computerbasierte Anwendung in der kognitiven Rehabilitation beispielhaft für Patienten mit kognitiven Leistungseinschränkungen im Zusammenhang mit einem Long Covid. Die hier vorgestellten Daten konnten eindrücklich die therapeutische Effektivität und auch Effizienz unserer Anwendung belegen, welche zumindest repräsentativ für die anerkannten kognitiven Leistungseinschränkungen infolge einer Covid-19 beurteilt werden. Eine Anwendung bei Patienten mit kognitiven Leistungseinschränkungen infolge anderer Hirnschädigungen wird naheliegend als plausibel beurteilt und als Gegenstand weiterer Untersuchungen gesehen. MemoVitoREHA® wurde zwischenzeitlich als Medizinprodukt registriert (DMIDS-Datenbank des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte Nr. DE/CA82/00201218). Für Patienten mit anhaltenden kognitiven Störungen im Zusammenhang mit neurologischen Erkrankungen stellt MemoVitoREHA® eine vielversprechende Intervention dar. Die Vorteile - wie Zugänglichkeit, Personalisierung und langfristiges Engagement - macht diese Software zu einem idealen Instrument, um bestimmte kognitive Beeinträchtigungen im Detail zu behandeln. Insbesondere kann MemoVitoREHA® ein breites Spektrum verschiedener kognitiver Bereiche wie Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Exekutivfunktionen und auch geistige Ermüdung abdecken, die bei verschiedenen neurologischen Erkrankungen häufig betroffen sind. So enthält MemoVitoREHA® Übungsmodule für Aufmerksamkeitsleistungen, welche Verbesserungen der Konzentration und Merkfähigkeit insbesondere in Hinblick auf die Bewältigung täglicher Aufgaben erzielen sollen. MemoVitoREHA® ist besonders wertvoll für Personen mit einer erhöhten Müdigkeit und einem Erschöpfungserleben, um der Barriere persönlicher Sitzungen entgegenzuwirken und eine Teilnahme an Übungen in der Häuslichkeit zu selbst gewählter Tageszeit zu ermöglichen. Alleinstellungsmerkmale von MemoVitoREHA®:

- der ganzheitliche Trainingsreiz für die Verbesserung kognitiver Fähigkeiten (gleichzeitiges Ansprechen mehrerer kognitiver Fähigkeiten in den Trainingsspielen)
- die optimale Kombination zwischen menschlicher Zuwendung durch eine Trainingsbegleiterin und die Erledigung aller anderen Aufgaben durch Algorithmen

- die Motivation durch die spielerische Gestaltung der Übungen (Serious Games, Lernspiele)
- ein Leistungstest, dessen Aufgabengenerator unbegrenzt viele Aufgabenkombinationen liefert, der damit beliebig oft wiederholbar ist und nicht auf subjektiven Einschätzungen der Testperson oder unbeabsichtigten Einflüssen des Testers beruht
- die Unterstützung der Konzentration und der Fokussierung auf die Bildschirmmitte durch einen speziell gestalteten Hintergrund
- Unabhängigkeit der Übungsaufgaben von Alter, Bildungsgrad, beruflicher Tätigkeit und Spezialwissen
- Anwendung von Analogien zur Trainingsmethodik im Sport auf kognitives Training

In Berücksichtigung künftiger Entwicklungen und Herausforderungen der computergestützten kognitiven Rehabilitation hat sich die computergestützte kognitive Rehabilitation (CBCR) als vielversprechend erwiesen, sofern sich die Verbesserung von kognitiven Ergebnissen von Patienten mit neurologischen Beeinträchtigungen sowohl im stationären als auch im ambulanten Sektor als Therapieziel formulieren lässt. [45] [34] [35] [46] Es gibt jedoch noch mehrere Möglichkeiten für zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen, die angegangen werden können, um die Wirksamkeit und Zugänglichkeit dieser Maßnahmen zu maximieren. Während erste Studien- und Fallberichte hinsichtlich kognitiver Leistungsmerkmale positive Ergebnisse gezeigt haben, ist die Evidenzbasis für CBCR in bestimmten Bereichen nach wie vor begrenzt. Strenge, groß angelegte randomisierte kontrollierte Studien (RCTs) sind erforderlich, um die langfristige Wirksamkeit von CBCR-Maßnahmen bei verschiedenen Patientengruppen mit kognitiven Leistungseinschränkungen zu belegen, einschließlich bei Patienten mit Long-Covid, aber auch für Patienten mit kognitiven Einschränkungen infolge eines Schlaganfalls oder eines Schädel-Hirn-Traumas, darüber hinaus aber auch vor allem hinsichtlich alternder Bevölkerungen in den Industrieländern für Menschen mit einer neurodegenerativen Erkrankung. In der Weiterentwicklung domänenspezifischer Trainingsmodule sind auch Präzisierungen hinsichtlich universell anwendbarer Standards für CBCR-Protokolle zu fordern, um Schwankungen bei der Gestaltung und Durchführung von Rehabilitationsprogrammen zu reduzieren. [31] [47]

Die fehlende Standardisierung kann die Bestimmung der effektivsten Programme für bestimmte kognitive Defizite erschweren. Tatsächlich zeigen randomisierte Studien mit festgelegten Trainingsdosen (z. B. 1 h Training, 5 Tage/Woche über 13 Wochen), dass standardisierte Trainingsregime messbare Verbesserungen erzielen können. [48] Ein weiterer Aspekt findet sich in den technologischen Beschränkungen und der Benutzererfahrung, da trotz der vielversprechenden Fortschritte bei der CBCR technologische Beschränkungen nach wie vor ein Hindernis für eine breite Akzeptanz darstellen. Fragen wie die Gestaltung der Benutzeroberfläche, Kompatibilität der Geräte und Notwendigkeit eines stabilen Internetzugangs in Therapieeinrichtungen und in der Häuslichkeit können die Wirksamkeit und Zugänglichkeit von CBCR-Tools behindern. Die Human-Computer-Interaction-Forschung betont in diesem Zusammenhang ausdrücklich, dass Usability, Sicherheit, Vertrauen und Zugänglichkeit zentrale Barrieren für digitale Gesundheitsinterventionen darstellen. [49] Eine weitere Schwierigkeit ist beim Anwender zu berücksichtigen, da nicht alle Patienten mit der Nutzung digitaler Plattformen vertraut sind bzw. Probleme mit der Technologiekompetenz aufweisen, insbesondere ältere Erwachsene oder eben Menschen mit kognitiven Einschränkungen. Die Bewältigung dieser Herausforderungen durch ein benutzerfreundliches Design und das Angebot von technischer Unterstützung wird für die Verbesserung der Akzeptanzraten entscheidend sein. Schließlich ist die Patiententreue eine große Herausforderung für jedes Rehabilitationsprogramm, einschließlich CBCR. Kognitive Rehabilitation erfordert häufig ein langfristiges Engagement, und viele Patienten, insbesondere solche mit Erkrankungen wie einem Long Covid oder neurodegenerativen Erkrankungen, haben

möglicherweise Schwierigkeiten in der Motivation oder erleben Schwankungen in den kognitiven Leistungsbereichen, die ihre Fähigkeit zur dauerhaften Teilnahme beeinträchtigen. CBCR-Programme müssen in Bereichen wie Gamifizierung und Personalisierung zielgerichtete Innovationen hervorbringen, um Patienten über längere Zeiträume hinweg motiviert und engagiert zu halten. Hier können Fernüberwachung und Feedback-Mechanismen durchaus dazu beitragen, die Einhaltung zu verbessern, indem sie Echtzeit-Anregungen und leistungsabhängige Anpassungen ermöglichen. Erste positive Entwicklungen durch den Einsatz von gamifizierten Elementen wie Punkte, Level, Feedback und adaptiver Schwierigkeitsgrad erhöhen immerhin die Motivation und Trainingstreue bei Computerized Cognitive Training (CCT). [50] Gamifizierte Trainingsprogramme können die Adhärenz deutlich verbessern, weil sie therapeutische Übungen in spielerische Aktivitäten integrieren [51]

Die Integration von CBCR in eine klinische standardisierte Praxis bleibt eine Herausforderung. Während sich Gesundheitsdienstleister zunehmend mit digitalen Gesundheitstools vertraut machen, sind viele möglicherweise nicht umfassend geschult oder ausgerüstet, um CBCR-Programme zu empfehlen oder zu überwachen. Die Integration der CBCR in allgemeine Rehabilitationswege erfordert eine kontinuierliche Zusammenarbeit zwischen Gesundheitsfachkräften, Technologieentwicklern und politischen Entscheidungsträgern, um sicherzustellen, dass diese Instrumente bestehende Rehabilitationsdienste ergänzen und als Teil eines integrierten Pflegeansatzes effektiv eingesetzt werden. [52] Obwohl CBCR Potenzial für eine umfassende Rehabilitation bietet, bleiben technische, wirtschaftliche und bürokratische Hindernisse eine große Herausforderung. Vielen Patienten fehlt möglicherweise der Zugang zu der notwendigen Technologie wie Smartphones oder Computern, um an der CBCR teilzunehmen. Darüber hinaus ist die Versicherungserstattung für digitale Gesundheitsinterventionen immer noch uneinheitlich, da viele Gesundheitssysteme CBCR nur zögerlich als erstattungsfähige Dienstleistung anerkennen. Die Entwicklung von Erstattungsmodellen, die CBCR als eine abgedeckte Leistung der Krankenversicherungen einbeziehen, insbesondere bei gesellschaftlich zunehmend bedeutsamen Erkrankungen wie dem Schlaganfall, neurodegenerativen Erkrankungen, aber auch die wachsende Berücksichtigung postinfektiöser Komplikationen wie dem Long Covid oder auch dem Chronischen Fatigue-Syndrom (CFS), wird von entscheidender Bedeutung sein, um den Zugang zu verbessern und eine optimale und flächendeckende Nutzung sicherzustellen. Darüber hinaus sind neben den wirtschaftlichen und Erstattungsbarrieren auch datenschutzrechtliche Aspekte einzubeziehen, wo die zunehmende Abhängigkeit von digitalen Plattformen für gesundheitsbezogene Zwecke nicht unerhebliche Bedenken hinsichtlich der Datensicherheit und der Privatsphäre der Patienten aufwirft. Da CBCR-Tools sensible Informationen sammeln, darunter kognitive Leistungsdaten und in einigen Fällen biometrische Daten, ist die Gewährleistung robuster Datenschutzprotokolle von entscheidender Bedeutung. Anbieter von CBCR-Plattformen müssen nationale und internationale Vorschriften wie HIPAA in den USA und DSGVO in der EU einhalten, um Patienteninformationen zu schützen und das Vertrauen in digitale Gesundheitslösungen aufrecht zu.

Schlussfolgerungen

Die Zukunft der computerbasierten kognitiven Rehabilitation (CBCR) ist vielversprechend, wobei erhebliche Fortschritte in den Bereichen KI, VR/AR, Neurofeedback und plattformübergreifende

Integration erwartet werden können. Um das Potenzial von CBCR voll auszuschöpfen, müssen jedoch mehrere Herausforderungen bewältigt werden, darunter die Notwendigkeit belastbarer Beweise, Standardisierung und verbesserter Zugänglichkeit. Darüber hinaus müssen Probleme im Zusammenhang mit der Patienteneinbindung, der Datensicherheit und den wirtschaftlichen Hindernissen überwunden werden, um den effektiven und gleichberechtigten Einsatz der CBCR bei verschiedenen Patientengruppen zu erreichen. Durch die Bewältigung dieser Herausforderungen hat CBCR das Potenzial, die kognitive Rehabilitation in einem erheblichen Ausmaß weiterzuentwickeln und eine flexible, skalierbare und wirksame Lösung zur Verbesserung der Ergebnisse für Patienten mit kognitiven Dysfunktionen bei einer Reihe neurologischer Erkrankungen anzubieten.

Mit dem hier vorgestellten Programm MemoVitoREHA® wird ein in mehrerer Hinsicht leistungsstarkes Therapiemodul in der CBCR erkennbar. Da sich der Bereich der digitalen kognitiven Rehabilitation ständig weiterentwickelt, könnten in Zukunft noch fortschrittlichere Technologien zum Einsatz kommen, wie z. B. virtuelle Therapeuten mit künstlicher Intelligenz, individuellere Neurofeedbacksysteme und integrierte Biometrie zur Verfolgung der Gehirnfunktion und physiologischer Reaktionen in Echtzeit. Diese Innovationen versprechen eine weitere Verbesserung der Personalisierung, der Effektivität und der Reichweite der CBCR und machen sie zu einem wertvollen Instrument bei der Behandlung kognitiver Dysfunktionen bei einer Reihe von neurologischen Erkrankungen, einschließlich kürzlich anerkannter Bereiche wie postvirale Komplikationen, die durch anhaltende kognitive Dysfunktionen bei Long Covid nachgewiesen werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Frau Lea Stanke und Herrn Dr. Marvin Berndt für die Hinweise zur Formulierung der Fragebögen bzw. zu den statistischen Analysen.

Referenzen

- [1] Filler J, Georgakis MK, Dichgans M. Risk factors for cognitive impairment and dementia after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Healthy Longev.* 2024 Jan;5(1):e31-e44. doi: 10.1016/S2666-7568(23)00217-9.
- [2] Grauwmeijer E, Heijenbrok-Kal MH, Peppel LD, Hartjes CJ, Haitsma IK, de Koning I, Ribbers GM. Cognition, Health-Related Quality of Life, and Depression Ten Years after Moderate to Severe Traumatic Brain Injury: A Prospective Cohort Study. *J Neurotrauma.* 2018 Jul 1;35(13):1543-1551. doi: 10.1089/neu.2017.5404.
- [3] Fesharaki-Zadeh A. Chronic Traumatic Encephalopathy: A Brief Overview. *Front Neurol.* 2019 Jul 3; 10:713. doi: 10.3389/fneur.2019.00713.
- [4] Knopman DS, Amieva H, Petersen RC, Chételat G, Holtzman DM, Hyman BT, Nixon RA, Jones DT. Alzheimer disease. *Nat Rev Dis Primers.* 2021 May 13;7(1):33. doi: 10.1038/s41572-021-00269-y.
- [5] Aarsland D, Creese B, Politis M, Chaudhuri KR, Ffytche DH, Weintraub D, Ballard C. Cognitive decline in Parkinson disease. *Nat Rev Neurol.* 2017 Apr;13(4):217-231. doi: 10.1038/nrneurol.2017.27.
- [6] Meca-Lallana V, Gascón-Giménez F, Ginestal-López RC, Higuera Y, Téllez-Lara N, Carreres-Polo J, Eichau-Madueño S, Romero-Imbroda J, Vidal-Jordana Á, Pérez-Miralles F. Cognitive

impairment in multiple sclerosis: diagnosis and monitoring. *Neurol Sci.* 2021 Dec;42(12):5183-5193. doi: 10.1007/s10072-021-05165-7.

[7] Needham DM, Korupolu R (2012) Cognitive dysfunction in the ICU: A review of assessment, prevention, and management strategies. *Critical Care Medicine* 40(1), 221-231. doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182339b8b

[8] Cicerone KD, Goldin Y, Ganci K, Rosenbaum A, Wethe JV, Langenbahn DM, Malec JF, Bergquist TF, Kingsley K, Nagele D, Trexler L, Fraas M, Bogdanova Y, Harley JP. Evidence-Based Cognitive Rehabilitation: Systematic Review of the Literature From 2009 Through 2014. *Arch Phys Med Rehabil.* 2019 Aug;100(8):1515-1533.

[9] De Coninck L, Bekkering GE, Bouckaert L, Declercq A, Graff MJL, Aertgeerts B. Home- and Community-Based Occupational Therapy Improves Functioning in Frail Older People: A Systematic Review. *J Am Geriatr Soc.* 2017 Aug;65(8):1863-1869. doi: 10.1111/jgs.14889.

[10] Edwards JD, Jacova C, Sepehry AA, Pratt B, Benavente OR. A quantitative systematic review of domain-specific cognitive impairment in lacunar stroke. *Neurology.* 2013 Jan 15;80(3):315-22. doi: 10.1212/WNL.0b013e31827deb85.

[11] Rajda CM, Desabrais K, Levin MF. Relationships Between Cognitive Impairments and Motor Learning After Stroke: A Scoping Review. *Neurorehabil Neural Repair.* 2025 Feb;39(2):142-156. doi: 10.1177/15459683241300458.

[12] Xu XD, Ren HY, Prakash R, Vijayadas, Kumar R. Outcomes of neuropsychological interventions of stroke. *Ann Indian Acad Neurol.* 2013 Jul;16(3):319-28. doi: 10.4103/0972-2327.116909.

[13] Hobden G, Tabone F, Demeyere N. Research investigating patient and carer psychoeducation needs regarding post-stroke cognition: a scoping review. *BMJ Open.* 2025 Jan 15;15(1):e084681. doi: 10.1136/bmjopen-2024-084681.

[14] Roheger M, Kalbe E, Liepelt-Scarfone I. Progression of Cognitive Decline in Parkinson's Disease. *J Parkinsons Dis.* 2018;8(2):183-193. doi: 10.3233/JPD-181306

[15] Mielke MM, Petersen RC. (2000) Mild cognitive impairment as an early stage of Alzheimer disease. *Archives of Neurology,* 57(12), 225-230. <https://doi.org/10.1001/archneur.57.12.225>

[16] Zhuang L, Yang Y, Gao J. Cognitive assessment tools for mild cognitive impairment screening. *J Neurol.* 2021 May; 268(5):1615-1622. doi: 10.1007/s00415-019-09506-7.

[17] Inoue S, Nakanishi N, Amaya F, Fujinami Y, Hatakeyama J, Hifumi T, Iida Y, Kawakami D, Kawai Y, Kondo Y, Liu K, Nakamura K, Nishida T, Sumita H, Taito S, Takaki S, Tsuboi N, Unoki T, Yoshino Y, Nishida O. Post-intensive care syndrome: Recent advances and future directions. *Acute Med Surg.* 2024 Feb 20;11(1):e929. doi: 10.1002/ams2.929.

[18] Gupta L, Subair MN, Munjal J, Singh B, Bansal V, Gupta V, Jain R. Beyond survival: understanding post-intensive care syndrome. *Acute Crit Care.* 2024 May;39(2):226-233. doi: 10.4266/acc.2023.01158.

[19] Fleischmann-Struzek C, Born S, Kesselmeier M, Ely EW, Töpfer K, Romeike H, Bauer M, Bercker S, Bodechtel U, Fiedler S, Groesdonk HV, Petros S, Platzer S, Rüdell H, Schreiber T, Reinhart K, Scherag A. Functional dependence following intensive care unit-treated sepsis: three-year follow-up results from the prospective Mid-German Sepsis Cohort (MSC). *Lancet Reg Health Eur.* 2024 Sep 12;46: 101066. doi: 10.1016/j.lanepe.2024.101066.

- [20] Marra A, Pandharipande PP, Girard TD, Patel MB, Hughes CG, Jackson JC, Thompson JL, Chandrasekhar R, Ely EW, Brummel NE. Co-Occurrence of Post-Intensive Care Syndrome Problems Among 406 Survivors of Critical Illness. *Crit Care Med*. 2018 Sep;46(9):1393-1401. doi: 10.1097/CCM.0000000000003218.
- [21] Wang S, Allen D, Kheir YN, Campbell N, Khan B. Aging and Post-Intensive Care Syndrome: A Critical Need for Geriatric Psychiatry. *Am J Geriatr Psychiatry*. 2018 Feb;26(2):212-221. doi: 10.1016/j.jagp.2017.05.016.
- [22] Gopinath B, Rozen T (2022) Cognitive and psychological sequelae of COVID-19: The ongoing burden of LongCOVID and implications for rehabilitation. *Neurorehabilitation* 51 (2), 251-265. doi.org/10.3233/NRE-210300
- [23] Davis HE, Assaf GS, McCorkell L, et al. (2021) Characterizing LongCOVID in an international cohort: 7 months of symptoms and their impact. medRxiv doi.org/10.1101/2020.12.24.20248802
- [24] Graham EL, Clark JR, Orban ZS, Lim PH, Szymanski AL, Taylor C, DiBiase RM, Jia DT, Balabanov R, Ho SU, Batra A, Liotta EM, Koralnik IJ. Persistent neurologic symptoms and cognitive dysfunction in non-hospitalized Covid-19 "long haulers". *Ann Clin Transl Neurol*. 2021 May;8(5):1073-1085. doi: 10.1002/acn3.51350.
- [25] Monje M, Iwasaki A. The neurobiology of long COVID. *Neuron*. 2022 Nov 2;110(21):3484-3496. doi: 10.1016/j.neuron.2022.10.006.
- [26] Ceban F, Ling S, Lui LMW, Lee Y, Gill H, Teopiz KM, Rodrigues NB, Subramaniapillai M, Di Vincenzo JD, Cao B, Lin K, Mansur RB, Ho RC, Rosenblat JD, Miskowiak KW, Vinberg M, Maletic V, McIntyre RS. Fatigue and cognitive impairment in Post-COVID-19 Syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Brain Behav Immun*. 2022 Mar; 101:93-135. doi: 10.1016/j.bbi.2021.12.020.
- [27] Fanshawe JB, Sargent BF, Badenoch JB, Saini A, Watson CJ, Pokrovskaya A, Aniwattanapong D, Conti I, Nye C, Burchill E, Hussain ZU, Said K, Kuhoga E, Tharmaratnam K, Pendered S, Mbwele B, Taquet M, Wood GK, Rogers JP, Hampshire A, Carson A, David AS, Michael BD, Nicholson TR, Paddick SM, Leek CE. Cognitive domains affected post-COVID-19; a systematic review and meta-analysis. *Eur J Neurol*. 2025 Jan;32(1):e16181. doi: 10.1111/ene.16181.
- [28] Chen Z, Zhong D, Li G. The role of microglia in viral encephalitis: a review. *J Neuroinflammation*. 2019 Apr 9;16(1):76. doi: 10.1186/s12974-019-1443-2.
- [29] John CC, Carabin H, Montano SM, Bangirana P, Zunt JR, Peterson PK. Global research priorities for infections that affect the nervous system. *Nature*. 2015 Nov 19;527(7578):S178-86. doi: 10.1038/nature16033.
- [30] Yin, M., Li, X., & Wang, Z. (2017). Computer-based cognitive rehabilitation for neurological disorders: A systematic review. *Neuropsychological Rehabilitation*, 27(1), 1-25. doi.org/10.1080/09602011.2015.1079243
- [31] Shao YK, Mang J, Li PL, Wang J, Deng T, Xu ZX. Computer-Based Cognitive Programs for Improvement of Memory, Processing Speed and Executive Function during Age-Related Cognitive Decline: A Meta-Analysis. *PLoS One*. 2015 Jun 22;10(6): e0130831. doi: 10.1371
- [32] Benedict, R. H. B., & Zivadinov, R. (2018). Cognitive rehabilitation therapy in multiple sclerosis: Evidence, strategies, and practical applications. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 20, 99-105.

[33] Chen C, Huang N, Hu B, Zhang M, Yuan J, Guo J. The effectiveness of digital technology interventions for cognitive function in older adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Geroscience*. 2025 Feb;47(1):653-683. doi: 10.1007/s11357-024-01446-z.

[34] Silverstein JD, Duffy S (2015) Advances in computer-assisted cognitive rehabilitation: A review. *Journal of Cognitive Enhancement*, 1, 283-300. doi.org/10.1007/s41465-017-0046-5

[35] Kim J, Lee CH, Han J (2016) Computer-based cognitive rehabilitation in neurodegenerative diseases: Current evidence and future directions. *Neurodegenerative Disease Management*, 6(4), 203-212. doi.org/10.2217/nmt-2016-0037

[36] Morris ME, Dissanayaka NN (2016) Telehealth and virtual reality technologies in the treatment of cognitive and motor impairments in Parkinson's disease. *Parkinsonism and Related Disorders* 31: 52-57. doi.org/10.1016/j.parkreldis.2016.06.019

[37] <https://www.wahrnehmbar.com>

[38] <https://www.chromis.de>

[39] https://www.wahrnehmbar.com/Unternehmensmeldung_Durchfuehrung_Fallstudien.pdf

[40] https://www.wahrnehmbar.com/Unternehmensmeldung_MemoTraining.pdf

[41] Grimm, I.: Es ist nur Mathematik! Magazin RedaktionsNetzwerk Deutschland. Sächsische Zeitung vom 14./15 Juni 2025

[42] Kieser, W.: Ein starker Körper kennt keinen Schmerz. Gesundheitsorientiertes Krafttraining nach der Kieser-Methode. München (2003)

[43] Gretl: Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library for Microsoft Windows, <https://gretl.sourceforge.net/win32/>, download 10.06.2024
REAL STATISTICS USING EXCEL - Charles Zaiontz, Shapiro-Wilk Tables, table 2 p-values, <https://real-statistics.com/statistics-tables/shapiro-wilk-table/> abgefragt am 31.08.2024
Version Office 2021 Professional Plus

[44] Excel MSOFFICE 2019

[45] Herrera C, Chambon C, Michel BF, Paban V, Alescio-Lautier B. Positive effects of computer-based cognitive training in adults with mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*. 2012 Jul;50(8):1871-81. doi: 10.1016

[46] Kröger E, Wölfling K (2020) Technology-enhanced rehabilitation for neurodegenerative disorders: Current trends and future outlook. *Frontiers in Neurology* 11, 555825. doi.org/10.3389/fneur.2020.555825

[47] Kazazi L, Shati M, Mortazavi SS, Nejati V, Foroughan M. The impact of computer-based cognitive training intervention on the quality of life among elderly people: a randomized clinical trial. *Trials*. 2021 Jan 11;22(1):51. doi: 10.1186/s13063-020-05008-4.

[48] Fimm, B. (2023) S2e-Leitlinie Diagnostik und Therapie von Aufmerksamkeitsstörungen bei neurologischen Erkrankungen. In: Deutsche Gesellschaft für Neurologie (Hrsg.), Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. Online: www.dgn.org/leitlinien https://register.awmf.org/assets/guidelines/030-135l_S2e_Diagnostik-Therapie-Aufmerksamkeitsstoerungen-bei-neurologischen-Erkrankungen-Erwachsene_2023-12.pdf"]

[49] Balcombe, Leo (2023) Evaluation of the Use of Digital Platforms and Digital Mental Health Interventions: Scoping Review <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36612685/>

[50] Chaldogeridis, Tsiatsos (2022) Gamification Techniques and Best Practices in Computerized Working Memory Training: A Systematic Literature Review <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/19/9785>

[51] Gabele, M. (2021) Development and Design of Software-Based Methods to Promote Motivation of Patients in Cognitive Rehabilitation.

https://opendata.uni-halle.de/bitstream/1981185920/103813/1/Gabele_Mareike_Dissertation_2023.pdf

[52] Maggio, M. G. (2024) Cognitive telerehabilitation: an expert consensus paper on current evidence and future perspective - <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10902044/>

Literatur- und Softwareliste für Grundlagen und Trainingsmethodik:

Korte, M.: Hirngeflüster. Wie wir lernen, unser Gedächtnis effektiv zu trainieren. Berlin - München - Zürich - Wien (2019).

Hellbrügge, T.: Unser Montessori Modell. München (1977).

Dehaene, S.: Der Zahlensinn oder Warum wir rechnen können. Basel - Boston - Berlin (1999).

Zehl, R.: Denken mit Spaß. Über 200 Kopfnüsse für intelligente Tüftler. Wien (1984).

Meirovitz, M., Jacobs, Paul I.: Fitnesstraining für kluge Köpfe. Ein Programm zur Verbesserung Ihres Denkvermögens durch Spiele. Augsburg (1996).

Kieser, W.: Ein starker Körper kennt keinen Schmerz. Gesundheitsorientiertes Krafttraining nach der Kieser-Methode. München (2003).

Ostermeier-Sitkowski, U.: Augentraining. Besser sehen mit und ohne Brille. München (2005).

Steinbrenne, J, Glasauer, S. (Herausgeber): Farben. Betrachtungen aus Philosophie und Naturwissenschaften. Frankfurt am Main (2007). 177-358.

<https://www.news.uzh.ch/de/articles/2019/neuropsychologie.html> (abgerufen am: 31. Januar 2022).

<https://www.geo.de/magazine/geo-kompakt/710-rtkl-gehirntraining-was-denksport-wirklich-bringt> (abgerufen am: 1. Februar 2022)

Willis, S.L. et al.: Long-term Effects of Cognitive Training on Everyday Functional Operations in Older Adults. (2006). JAMA, 296(23), 2805-2814.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2910591/> (abgerufen am: 1. Februar 2022)

Belleville, S. (2008), Cognitive training for persons with mild cognitive impairment, International Psychogeriatrics, 20: 57-66; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17958927/> (abgerufen am: 1. Februar 2022)

Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2014). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychon Bull Rev* [online]; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25102926/> (abgerufen am: 1. Februar 2022)

Corbett, A., Owen, A., Hampshire, A., Grahn, J., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A., Howard, R., Williams, N., Williams, G., & Ballard, C. (2015). The Effect of an Online Cognitive Training Package in Healthy Older Adults: An Online Randomized Controlled Trial. *Journal of the American Medical Directors Association*, 16, 990-997. (2015); <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26543007/> (abgerufen am: 1. Februar 2022)

Trainingssoftware:

Heim, E., Berndt, M.: MemoVitoREHA (cloudbasierte Software). Dresden (2021)

Heim, E., Berndt, M.: MemoVitoFit (cloudbasierte Software). Dresden (2024)