



Abbildung 1

HANDYS UND HIRNE

WELCHEN EINFLUSS HABEN DIGITALE MEDIEN AUF UNSER GEDÄCHTNIS
UND ERINNERUNGSVERMÖGEN?
NEUROBIOLOGISCHE ANALYSE ANHAND EMPIRISCHER STUDIE

Jonas Himmelberger
Meierhofstrasse 24
8820 Wädenswil

Maturitätsarbeit
Kantonsschule Freudenberg
Betreuung: Linn Sgier

INHALTSVERZEICHNIS

1. Abstract	6
2. Vorwort	8
3. Einleitung.....	10
3.1. Neurowissenschaftliche Begriffe	11
3.1.1. Makroskopisch-anatomischer Aufbau des Gehirns	11
3.1.2. Zellbiologie	11
3.1.3. Synapsen	12
3.1.3.1. Neuroplastizität.....	13
3.1.3.2. <i>Hebbian Learning</i>	14
3.2. Gedächtnis	15
3.2.1. Grundlegende Prozesse und Systeme.....	15
3.2.2. Vergessen und Ablenkung.....	18
3.3. Neuroapparative Untersuchungsmöglichkeiten	20
3.4. Forschungsstand.....	22
3.5. Ziel der Arbeit.....	23
4. Methodik	27
4.1. Empirische Studie: <i>memory test</i>	27
4.1.1. Entwicklung eines geeigneten <i>memory tests</i>	27
4.1.2. Finales Testverfahren: Vorbereitung und Durchführung.....	31
4.1.2.1. Ablauf	31
4.1.2.2. Testung 1: Kontrolle mit Ruhephase.....	32
4.1.2.3. Testung 2: Ablenkung durch passiven Medienkonsum	32
4.1.2.4. Testung 3: Ablenkung durch aktiven Medienkonsum	33
4.1.2.5. Fragebogen	34
4.1.3. Datenerhebung.....	34
4.1.4. Datenauswertung und statistische Analyse	34
4.2. Neuroapparative Analyse	36
4.2.1. Vorbereitung und Durchführung der EEG-Untersuchung.....	36
4.2.2. Datenerhebung.....	37
4.2.3. Datenauswertung	37
5. Resultate.....	38
5.1. Empirische Studie: <i>memory test</i>	38
5.1.1. Auswertung der <i>memory-test-Reihe</i>	38
5.1.1.1. Effekt von Medienkonsum auf die Erinnerungsleistung	38

5.1.1.2.	Effekt von unterschiedlichem Medienkonsum auf die Erinnerungsleistung	40
5.1.1.3.	Effekt von regelmässigem Medienkonsum auf die Erinnerungsleistung	40
5.1.1.4.	Weiterführende Auswertung	42
5.1.2.	Auswertung des Fragebogens	43
5.2.	Neuroapparative Analyse	46
6.	Diskussion	49
6.1.	Empirische Studie: <i>memory test</i>	49
6.2.	Neuroapparative Analyse	51
6.3.	Methodenkritik	52
6.3.1.	Empirische Studie: <i>memory test</i>	52
6.3.2.	Neuroapparative Analyse	53
7.	Fazit	55
8.	Danksagung	56
9.	Bibliographie	57
9.1.	Literaturverzeichnis	57
9.1.1.	Wissenschaftliche Artikel	57
9.1.2.	Bücher	58
9.1.3.	Internet	59
9.2.	Abbildungsverzeichnis	60
9.3.	Tabellenverzeichnis	62
10.	Anhang	63
10.1.	Finale <i>memory tests</i>	63
10.1.1.	Ablauf	63
10.1.2.	Probequizlet	64
10.1.3.	Datenset 1	64
10.1.4.	Datenset 2	65
10.1.5.	Datenset 3	65
10.1.6.	Fragebogen	66
10.1.7.	PowerPoint-Präsentationen	66
10.2.	Entwicklung des <i>memory tests</i>	68
10.2.1.	Python Code	68
10.2.2.	Übersicht der Vorversuche	69
10.2.3.	Verteilungskurven von Vorversuchen	70
10.3.	Statistik	71
10.3.1.	Rohdaten	71
10.3.2.	Berechnung der ANOVA	72

10.3.3.	Resultate der Zweistichproben t-Tests bei abhängigen Stichproben	74
10.3.4.	Code für mehrfaktorielle ANOVA in RStudio.....	74
10.3.5.	Resultattabelle der mehrfaktoriellen ANOVA	75
10.4.	EEG-Spektren.....	76
11.	Redlichkeitserklärung	85

1. ABSTRACT

Die vorliegende Arbeit versucht, ein Zusammenspiel zwischen einer der wichtigsten Fähigkeiten des Menschen – das Gedächtnis oder das Lernen – und der in den vergangenen Jahren stark gestiegenen Nutzung von digitalen Medien auf neurobiologischer Ebene zu untersuchen und einen potenziellen Zusammenhang nachzuweisen.

Die genauen Fragestellungen lauten hierbei: Inwiefern beeinflusst der zwischen Lern- und Abrufphase eingeschobene Konsum von digitalen Medien das Erinnerungsvermögen an kurz zuvor gelernte, unbekannte Inhalte? Lassen sich dabei Unterschiede zwischen zwei mit dem Rezipienten unterschiedlich interagierenden digitalen Applikationen ausmachen? Und hat die regelmässige Verwendung von digitalen Geräten eine Auswirkung auf das Abrufen von neu gelernten Inhalten, wenn direkt davor digitale Medien konsumiert wurden?

Zunächst wird für die Beantwortung der Fragen ein Blick auf theoretische Grundlagen der Hirnforschung gemäss heutigem Wissenstand geworfen und danach auf zwei durchgeführte Untersuchungen eingegangen.

Erstens wurde eine empirische Interventionsstudie an der Kantonsschule Freudenberg anhand eines einfach verblindeten, visuell-räumlich-verbal-assoziativen *memory tests*, bestehend aus drei Subtests, zur Ermittlung der Fähigkeiten des Arbeitsgedächtnisses in Interferenz mit dem Konsum von digitalen Medien geleistet. Bei dieser Testung mussten jeweils während 5 Minuten Inhalte memoriert und nach einem Zeitintervall von 20 Minuten abgerufen werden. Die 20-minütige mittlere Phase variierte dabei in den Subtests zwischen:

1. Control – Ruhephase mit möglichst geringer Stimulation des Hirns
2. Ablenkung durch ‘passiven Konsum’ von Kurzvideos auf den sozialen Medien
3. Ablenkung durch ‘aktiven Konsum’ von Sudoku-Rätseln ebenfalls in digitaler Form

Das Szenario des Lernens und des folgenden Abgelenkt-Werdens wurde in einem kontrollierten Rahmen nachgeahmt. Damit sollten die formulierten Hypothesen überprüft werden, wonach sich durch den kurzfristigen, passiven Konsum von sozialen Medien (2.) eine Verschlechterung des Erinnerungsvermögens im Vergleich zur Kontrolle (1.) und durch den aktiven Medienkonsum am Beispiel von Sudokus (3.) eine Verbesserung oder kein Effekt ergäbe.

55 geschlechts- und altersdurchmischte Probanden absolvierten die komplette Testreihe der Studie. Die Gedächtnisleistung wurde aufgrund der Anzahl an richtigen Antworten (0-15) bei der Abfrage bewertet. Bei der Kontrolle ergab sich ein Mittelwert von 11.564, der Median belief sich auf 12 und die Standardabweichung betrug 2.5. Bei der 2. Testung war der Mittelwert mit 10.891 wesentlich tiefer, der Median blieb mit 12 jedoch unverändert und die Standardabweichung belief sich auf 3.149. Beim 3. Subtest resultierten der tiefste Mittelwert von 9.873, ein Median von 11 und eine Standardabweichung von 3.603. In der ANOVA zwischen den drei Tests ergab sich dabei mit einem p-Wert von 0.000188 bei $\alpha = 0.05$ eine hohe statistische Signifikanz. Die post-hoc-Analyse anhand von Zweistichproben-t-Tests zeigte weiter, dass der Unterschied zwischen allen drei Testungen signifikant ist.

Mit der empirischen Studie konnte damit nachgewiesen werden, dass der Konsum von digitalen Medien einen negativen Einfluss auf das Abrufen kurz zuvor gelernter, unbekannter Inhalte hat. Die Art der digital konsumierten Inhalte machte dabei einen wesentlichen Unterschied aus. In diesem Studien-

Setting zeigten digitale Medien durch die *memory modulation* einen negativen Effekt auf die Konsolidierung des Gelernten.

Zusätzlich wurde nach dem 3. Subtest mit allen Probanden mittels Fragebogen eine Befragung zur regelmässigen Mediennutzung durchgeführt. Es fand sich im Experiment keine signifikante Korrelation zwischen dem regelmässigen Konsum von digitalen Inhalten und der Gedächtnisleitung der Probanden. Gemäss den erhobenen Resultaten lässt sich bei mediengewohnten Probanden allenfalls eine bessere 'Resistenz' gegenüber der Interferenz durch Medienkonsum während der Konsolidierungsphase beschreiben.

Ergänzend zu dieser neuropsychologischen, empirischen Testung wurde der entwickelte *memory*-Test in einer zweiten, neuroapparativen Untersuchung mittels EEG (Elektroenzephalogramm) am Verfasser dieser Arbeit durchgeführt. Damit sollte die Frage beantwortet werden, inwiefern eine neuroapparative Untersuchung eine Darstellung der während der Lern-, Konsolidierungs- und Abrufphase ablaufenden neurobiologischen Prozesse ermöglicht und ob sich eine Intervention durch digitalen Medienkonsum visualisieren liesse.

Die Datenauswertung widerlegte aber die Hypothese und zeigte, dass in einem EEG bloss Teile der Hirnaktivität aufgezeichnet werden, weswegen eine komplette, detailreiche Darstellung und Unterscheidung der verschiedenen Phasen und Prozesse nicht möglich ist. Um aussagekräftige neurobiologische Daten zu erhalten, müssten einerseits eine grössere Anzahl Probanden getestet und andererseits wohl eine besser geeignete Bildgebungsmethode wie PET (*positron emission tomography*) oder fMRI (*functional magnetic resonance imaging*) angewendet werden.

2. VORWORT

Das Lernen ist ohne Frage – und das behaupte ich nicht bloss als Gymnasiast kurz vor der Matura – ein Hauptbestandteil im Leben eines Menschen. Unser Dasein ist darauf ausgelegt, neue Sachverhalte zu interpretieren, das Relevante aus einem Szenario herauszufiltern und daraufhin im Gedächtnis zu hinterlegen. Ein Paradebeispiel hierfür findet sich leicht in der Evolutionsgeschichte des Menschen. Denn was hätte es uns gebracht, aufrecht gehen zu können, wenn wir danach mit dem Blick übers Steppengras einen Löwen gar nicht als Löwen begreifen und uns an dessen Gefahr hätten erinnern können?

Im Alltag eines Schülers, in welchem man ständig mit neuen Lerninhalten konfrontiert ist, wird es selbstredend zum Ziel, herauszufinden, wie man neue Dinge möglichst effizient und nachhaltig im Gedächtnis abspeichern kann. Eine optimale Lernstrategie scheint für den Lernerfolg entscheidend und bald macht man sich individuelle Mnemotechniken zu Nutze. So überlegte ich mir bereits früh in meiner gymnasialen Schulkarriere, welche äusseren Faktoren das Hinterlegen von neuen Sachverhalten in meinem Gedächtnis beeinflussen. Ist es für mich beispielsweise von Vorteil, vor, nach oder während des Lernens neuer Französisch-Vokabeln Trompete zu üben; ist es besser, handschriftliche Karteikärtchen zu erstellen oder mit einer digitalen Applikation zu arbeiten? Ergibt sich eine schlechtere Erinnerungsleistung, wenn ich mich nach dem Lernen auf ein Computer-Schachspiel konzentriere oder WhatsApp-Nachrichten beantworte?

Gerade in Bezug auf die exorbitante Popularisierung von digitalen Geräten und virtuellen Plattformen wie den sozialen Medien habe ich mir die Frage gestellt, inwiefern der Konsum solcher Inhalte einen Einfluss auf unsere Gedächtnisleistung haben könnte. Heute gehört es nämlich zum Alltag von Jugendlichen, sich nach intensiven Lernphasen mit digitalen Unterhaltungsmedien zu beschäftigen – zwecks Erholung, Belohnung oder Ablenkung. Doch wie reagiert dabei das Hirn auf die Interaktion mit dem Handy? Hat die Nutzung digitaler und sozialer Medien einen Effekt auf eine gerade zuvor geleistete Lernarbeit?

Gesellschaftlich und politisch wird die Anwendung von digitalen Geräten kritisch diskutiert. Nicht selten geschieht dies ablehnend und so gewinnen beispielsweise digitale Detox-Therapien in letzter Zeit an Zuspruch. In vielen Ländern gibt es auch Forderungen nach strikteren Regulierungen von digitalen Plattformen und immer mehr Studien zur Entwicklung der Mediennutzungsgewohnheiten von mehrheitlich Jugendlichen werden durchgeführt. Als Beispiel sei hier die in der Schweiz jährlich erhobene JAMES-Studie (Jugend, Aktivitäten, Medien - Erhebung Schweiz) genannt. Neuerdings halten digitale Geräte – durch das BYOD (*BringYourOwnDevice*)-System – auch Einzug in den Schulalltag und bringen dabei unter anderem Fragen zu ihrem Einfluss auf die Lernfähigkeit der SchülerInnen mit sich.

Als Schülerstudent erhielt ich die Möglichkeit, an der Universität Zürich beim Studium der Neurowissenschaften zu schnuppern. Während des Herbstsemesters 2022 und des Frühjahrssemesters 2023 absolvierte ich am Institut für Neuroinformatik die beiden Module "*Introduction to Neuroinformatics*" und "*Computational Vision*". Dabei wurde ich in meinem Wunsch bestärkt, mich im Rahmen meiner Maturitätsarbeit der Frage zu widmen, inwiefern der Konsum von sozialen Medien und anderen digitalen Inhalten einen kurz- oder auch langfristigen Einfluss auf die Gedächtnisleistung des Menschen haben könnte.

Mir scheint, dieses Thema zählt zu den brisantesten und wichtigsten für jüngere Generationen, und ich bin der Meinung, dass aus Erkenntnissen in diesem Bereich ein entsprechender Nutzen nicht nur für die Jugendlichen selber, sondern auch für die Arbeit mit ihnen resultieren könnte. So hoffe ich,

beinhaltet meine Arbeit neben einem akademischen Wert auch nützliche Hinweise für MitschülerInnen – und gegebenenfalls auch für die eine oder andere Lehrperson.

3. EINLEITUNG

Bereits im antiken Rom sprach Cicero davon, dass unser Hirn und speziell unser Gedächtnis der Schatzmeister und Hüter aller Dinge sei – *Memoria est thesaurus omnium rerum et custos* (Cicero, 55 v. Chr.) – und hat damit impliziert, dass es lohnenswert ist, sich mit demselben besonders sorgfältig zu beschäftigen. Natürlich hat sich seither einiges getan im Feld der Gedächtnisforschung und kein Neurowissenschaftler würde die Hirnleistung heutzutage derart metaphorisch beschreiben. Doch das Zitat weist auf die immense Wichtigkeit des menschlichen Gedächtnisses und unterstreicht, dass unsere Erinnerungsfähigkeit um jeden Preis geschützt werden sollte.

Wir leben in einer Ära des digitalen Fortschritts; der Einfluss von digitalen Medien auf unser Leben im Rahmen der Internet-Revolution und der künstlichen Intelligenz mit sich stets beschleunigendem Zugang zu Wissen und technologischen Möglichkeiten ist immens. Die omnipräsente Nutzung von Smartphones, Tablets und Computern verändert nicht nur unsere Kommunikationsgewohnheiten, sondern wirft auch die Frage auf, wie diese Technologien unsere Informationsverarbeitung beeinflussen. In einer hochvernetzten Welt kommt es vermehrt zur Digitalisierung im Lernen. Kinder werden mithilfe digitaler Medien vermeintlich besser auf das Leben vorbereitet und Schulen bedienen sich zur Wissensvermittlung gerne digitaler, mehrkanaliger Sendungsmöglichkeiten. Dabei wird der Fokus auf die Effizienz des Lernens gelegt.

In meiner Untersuchung soll nicht das digital konzipierte Lernen als solches im Brennpunkt stehen (dieses wird nur zur Studien-Etablierung genutzt), sondern der Einfluss des Konsums von digitalen Angeboten wie sozialen Medien auf das Lernen überprüft werden.

Welche Auswirkungen bringt ein zunehmender Konsum von Videos, Chats und dergleichen, welche über den Tag verteilt, kurz und immer wieder die Aufmerksamkeit der HandynutzerInnen beanspruchen, mit sich? Früher wurden 'bewegte Bilder' in der Freizeit am Abend im Fernseher oder im Kino konsumiert, nun bestimmt eine stetig steigende Bildschirmzeit unseren Alltag.

Verschlechtert oder verbessert es gar die Hirnleistung von SchülerInnen, wenn die Grenze zwischen Schulalltag und der Nutzung digitaler Medien zunehmend verschwimmt? Könnte man einen solchen Effekt messen? Und wie liesse sich dieser auf neurobiologischer Ebene beschreiben?

Während dieser Arbeit bezeichnet der Begriff 'digitale Medien' immer alle webbasierten Plattformen und Anwendungen, die zur Erstellung und Verbreitung von Inhalten und zur Interaktion dienen, und inkludieren insbesondere auch soziale Medien. Aufgrund der Vielfalt deren Einflussmöglichkeiten auf das Gehirn möchte ich hier mein Interesse genauer umreißen. Die vorliegende Arbeit soll sich um eine Situation aus dem gymnasialen Alltag kümmern. Im Fokus wird die Kombination von Lernen – beim Büffeln von neuen Vokabeln – und dem alltäglichen Konsum von digitalen Medien stehen. Hauptsächlich wird in dieser Arbeit also die Frage untersucht, wie sich der Konsum digitaler Medien auf unsere Erinnerungsleistung und damit auf unser von Cicero als 'Schatzmeister aller Dinge' gerühmtes Gedächtnis auswirkt.

Um diese Problematik zu untersuchen, bedarf es einer wissenschaftlichen Studie. Dafür lohnt es sich, vorab auf grundlegende theoretische Prinzipien der Hirnforschung einzugehen. Denn es ist wichtig zu verstehen, wie die verschiedenen Mechanismen des Gedächtnisses gemäss heutigem Wissensstand funktionieren, zusammenspielen und wie sie sich in einer Untersuchung sicht- und messbar machen lassen.

3.1. Neurowissenschaftliche Begriffe

Im Folgenden sollen selektiv für die zu untersuchende Thematik wichtige Begriffe definiert und einige Basisprinzipien der Neurobiologie eingeführt werden, um damit die Theorie der Funktionsweise des Gedächtnisses verstehen zu können.

3.1.1. Makroskopisch-anatomischer Aufbau des Gehirns

Stand heute wird das Gehirn auf zwei verschiedene Weisen in mehrere Grossregionen unterteilt. Erstens unterscheidet man im Gehirn die *weisse* und die *graue Substanz*, im Englischen als *white* und *gray matter* bezeichnet (Abb. 2). Die graue Substanz befindet sich in der äusseren Hirnregion. Die weisse Substanz hingegen befindet sich im Inneren des Gehirns. (Mackenzie, 2019)

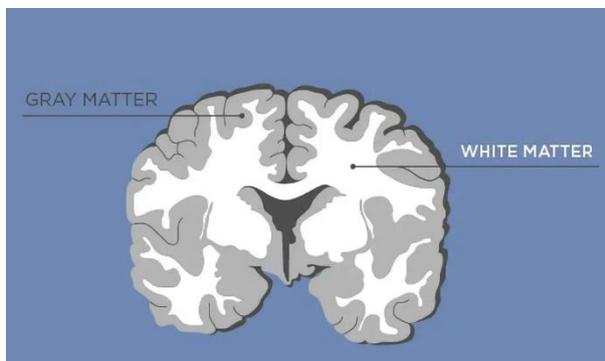


Abbildung 2. Schematische Darstellung der Verteilung der weissen und grauen Substanz im menschlichen Hirn. Mackenzie, 2019.

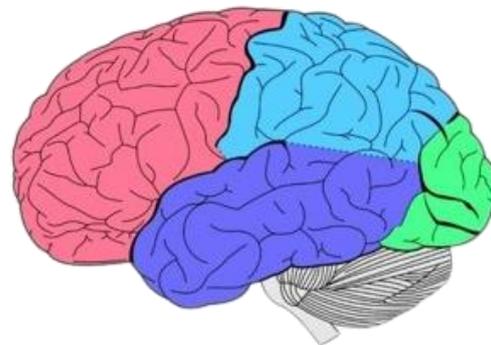


Abbildung 3. Aufteilung des menschlichen Kortex in die vier Hauptregionen, frontal (rot), parietal (hellblau), temporal (dunkelblau) und okzipital (grün). Weidauer, 2020.

Zweitens wird die *Grosshirnrinde*, anatomisch als *Kortex* bezeichnet, in vier Regionen mit unterschiedlichen Funktionsspektren unterteilt. Diese werden aufgrund ihrer gefalteten Struktur auch als *Lappen* bezeichnet.

Der *Frontallappen*, in Abbildung 3 rot eingezeichnet, sitzt direkt unter der Stirn und beschäftigt sich hauptsächlich mit der Planung und mit Willkürbewegungen. Der *Parietallappen*, hier hellblau, ist für die Verarbeitung von Empfindungen der Körperoberfläche und für die räumliche Wahrnehmung zuständig. Im *Temporallappen*, auch Schläfenlappen genannt, hier dunkelblau, sitzen die Zentren des Hörens, der visuellen Verarbeitung und auch ein Grossteil der Gedächtnisprozesse. Der *Okzipitallappen* schliesslich, hellgrün eingefärbt, beinhaltet die Sehrinde. (Squire, et al., 2009 und Thompson, 2001)

Hier scheint es mir wichtig, darauf hinzuweisen, dass der Konsum von digitalen Medien mehrkanalig passiert, also offensichtlich alle Regionen des Gehirnes stimulieren kann. Dabei werden unter anderem auditorische, räumliche, visuelle und emotionale Hirnareale und auch Gedächtniszentren angeregt.

3.1.2. Zellbiologie

Unser Gehirn besteht aus Nervenzellen, den *Neuronen*. Gemäss jüngsten Schätzungen rechnen Wissenschaftler mit einer Anzahl von circa 1 Billion (10^{12}) Neuronen im Gehirn. Neuronen sind neben dem *Zentralen Nervensystem*, welches das Hirn und das Rückenmark beinhaltet, auch im *Peripheren*

Nervensystem zu finden, jedoch nirgendwo im Körper in einer derart hohen Konzentration wie im Hirn. (Thompson, 2001)

Im Gehirn findet sich eine Vielzahl von verschiedenen Neuronen-Typen, welche jedoch grösstenteils einen ähnlichen Aufbau aufweisen. Sie bestehen, wie in Abbildung 4 ersichtlich, aus drei Hauptteilen, dem Axon, dem Zellkörper (*Soma*) und seinen *Dendriten*.

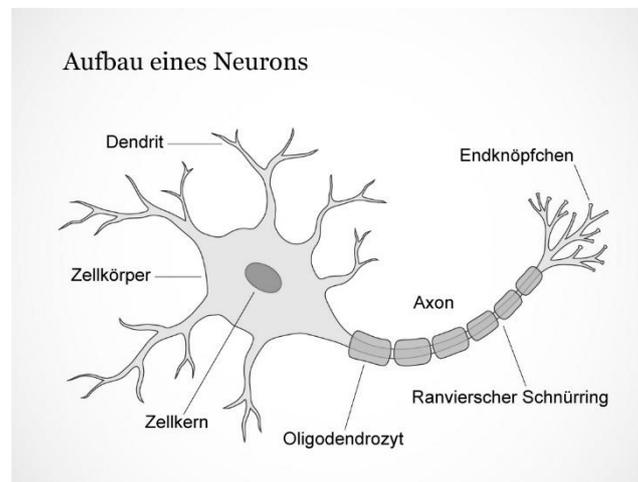


Abbildung 4. Schematische Darstellung der zellulären Struktur eines Neurons. *Dasgehirn.info*, 2012.

Die Nervenzellen im Gehirn sind nicht willkürlich angeordnet. Im Kortex befinden sich die Zellkerne und bilden die oben beschriebene graue Substanz, während die darunterliegende weisse Substanz hauptsächlich aus den Axonen und den die Axonen umgebenden, isolierenden Zellen besteht. In den tieferen Hirnbereichen, eingebettet in die weisse Substanz finden sich ausserdem Ansammlungen von Nervenzellkörpern, wie der Thalamus, der Hippocampus und die Basalganglien. (Mackenzie, 2019 und Thompson, 2001)

3.1.3. Synapsen

Allein in den Neuronen und ihrer riesigen Anzahl steckt jedoch nur bedingt der Schlüssel zur unglaublichen Leistungsstärke unseres Hirns. Diese erklärt sich vielmehr durch die geschickten Verbindungen zwischen den einzelnen Zellen, den sogenannten *Synapsen*. Diese Synapsen bezeichnen den Kontaktpunkt zwischen den *Endknöpfchen*, Fortsätzen am Ende des Axons eines Neurons, und den Dendriten einer zweiten, benachbarten Nervenzelle. Dank den Synapsen können mehrere Neuronen zu einer funktionellen Einheit, einem sogenannten *neuronalen Netzwerk*, zusammengeschlossen werden. Nur dadurch ist es dem Gehirn überhaupt möglich, komplexe kognitive Prozesse – wie eben beispielsweise das Erstellen von Erinnerungen beziehungsweise das Abrufen von Lerninhalten – auszuführen. (Thompson, 2001)

„Die Anzahl der möglichen Kombinationen von synaptischen Verbindungen zwischen den Neuronen in einem einzelnen menschlichen Gehirn ist grösser als die Gesamtzahl der Atome im ganzen bekannten Universum“, schreibt Richard Thompson in seinem Buch *Das Gehirn* und illustriert damit die schier Unbegrenztheit der möglichen Synapsen im Hirn. (Thompson, 2001)

Damit Signale im Hirn übermittelt werden können, arbeiten die Nervenzellen mit elektrischen Impulsen. Ein Neuron kann sich depolarisieren und, sofern eine gewisse Schwelle überschritten wird, ein sogenanntes elektrisches *Aktionspotenzial (AP)* generieren. Dieses breitet sich impulsartig über die gesamte Nervenzelle aus, von der Soma über das Axon bis hin zu den synaptischen Verbindungen zur Nachbarzelle. Wenn ein solches AP bei einer Synapse eintrifft, wird eine spezifische Abfolge von synaptischen Funktionen aktiviert.

Synaptic Transmission

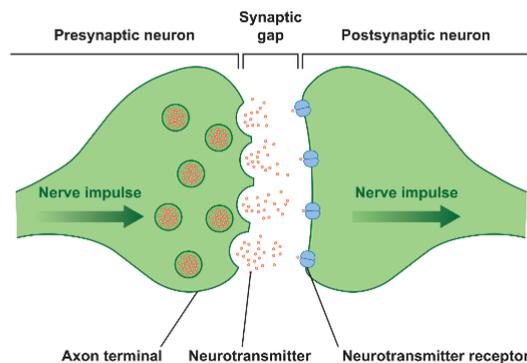


Abbildung 5. Darstellung der Übertragung eines Aktionspotenzials über den synaptischen Spalt von einem Neuron zum nächsten. Guy-Evans, et al., 2023.

Erstaunlicherweise wird das ursprünglich elektrische Signal nicht einfach weitergeleitet, sondern in ein chemisches Signal umgewandelt. Synapsen setzen *Neurotransmitter* aus Vesikeln frei, indem sie jene mit der Zellmembran verschmelzen und deren Inhalt in den synaptischen Spalt ausschütten. Je nach Synapse werden andere Signalstoffe verwendet, wie beispielsweise Glutamat, Serotonin, Noradrenalin oder Dopamin. Auf der gegenüberliegenden Seite des synaptischen Spaltes binden die soeben freigesetzten Neurotransmitter an ganz spezifische Rezeptoren – für jeden Neurotransmitter gibt es spezielle Rezeptoren – welche durch diese Bindung selbst Pumpen aktivieren, welche für einen Influx von Ionen sorgen. Somit kann das AP von der einen Nervenzelle, der *präsynaptischen*, auf die nächste, *postsynaptische* übertragen werden (Abb. 5). Wichtig zu bemerken gilt es hier, dass nur die chemische Übertragung es ermöglicht, dass die Synapsen die Impulse verschieden 'gewichten' können. So gibt es beispielsweise sowohl exzitatorische als auch inhibitorische Synapsen, welche je nach Beschaffenheit ein AP aufhalten oder amplifizieren können. Dies ist für logische Operationen notwendig. Synapsen sind veränderliche Strukturen, welche also erbaut und wieder zurückgebildet werden können. Gerade in Bezug auf das Lernen, welches ich in dieser Arbeit untersuchen möchte, ist dies unentbehrlich. (Thompson, 2001)

3.1.3.1. Neuroplastizität

Da unser Körper stets Umweltveränderungen ausgesetzt ist, muss unser Hirn in der Lage sein, basierend auf kodierten Nachrichten der sensorischen Organe – Auge, Haut, Ohr, Nase und Mund – entweder bereits eingespeicherte Prozesse, die eigentlich erfahrungsgemäss stimmen, zu überschreiben oder ganz neue Abläufe zu speichern. Die Fähigkeit synaptische Verbindungen zu alterieren wird in der Fachliteratur als die *Plastizität* des Hirns bezeichnet, abgeleitet vom griechischen Wort *πλαστική* (plastikā) – die Formende (Kunst).

Die Neuroplastizität variiert interindividuell und je nach körperlichem Zustand; im Allgemeinen nimmt sie mit fortschreitendem Alter ab. Diese enorm wichtige Eigenschaft unseres Hirns wird auch oft mit

der Lernfähigkeit von Individuen assoziiert, weswegen es unabdingbar ist, die Neuroplastizität in meiner Arbeit zu berücksichtigen. Wenn sich die Synapsen im Gehirn nämlich schneller anpassen und vor allem sensibler auf neue Fakten reagieren können, ermöglicht dies eine wesentlich höhere Lernquote. Personen mit hoher Neuroplastizität lernen dieselben Mengen an Inhalten wesentlich schneller als solche mit niedrigerer. (Squire, et al., 2009 und Antwerpes, 2023)

In der Abbildung 6 ist ein Diagramm dargestellt, welches die Quote an richtig reproduzierten Wörtern eines Gedächtnistests in Relation zu verschiedenen Altersgruppen darstellt. Je älter die Personen, umso schlechter deren Gedächtnisleistung. Dieses Phänomen lässt sich in dieser Studie grösstenteils durch die mit zunehmenden Alter tendenziell schwindende Neuroplastizität erklären. (Squire, et al., 2009)

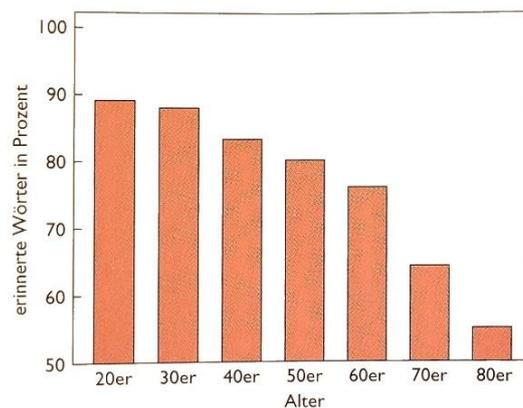


Abbildung 6. Diagramm zur Studie von Davis Hasker et al., welches die Gedächtnisleistungen von 469 Probanden aus unterschiedlichen Altersgruppen untersucht hat. Squire, et al., 2009.

3.1.3.2. Hebbian Learning

In Bezug auf die synaptischen Verbindungen in unserem Hirn äussert sich die Plastizität vor allem durch die *Langzeitpotenzierung* (aus dem Englischen: 'long-term potentiation' kurz *LTP*). Diese *LTP* basiert auf einem Modell des Lernens, welches vom kanadischen Psychologen Donald Hebb stammt, dem nach ihm benannten *Hebbian Learning*.

Dieses beschreibt das Prinzip: "*Fire together, wire together*", was bedeutet, dass zwei benachbarte Neuronen genau dann durch eine stärkere synaptische Verbindung assoziiert werden, wenn sie oft zeitgleich aktiviert werden (auf neuronaler Ebene bedeutet Aktivität das Abfeuern von APs). Je häufiger ein Neuron A gleichzeitig mit einem Neuron B aktiv ist, desto eher werden die beiden Neuronen miteinander interagieren. Hebb'sches Lernen wird auch oft als *principle of cooperativity* bezeichnet, also das Kooperationsprinzip. (Basar, 2005 und Squire, et al., 2009)



Abbildung 7. Porträt des Psychologen Donald Hebb. Harnad, 1985.

Der gegenteilige Prozess des *LTP*, nämlich die *Langzeitdepression* (long-term depression *LTD*), lässt sich ebenfalls aus Hebb's Modell ableiten. Wenn zwei benachbarte Neuronen nur selten gemeinsam aktiv sind oder entgegengesetzte Aktivierungsmuster aufzeigen, wirkt sich dies auf die synaptische Verbindung so aus, dass jene zurückgebildet, eben deprimiert, wird. (Squire, et al., 2009)

Wenn man also heute im neurobiologischen Rahmen von *Lernen* spricht, meint man auf mikroskopischer Ebene diese Anpassung und Veränderung von plastischen Synapsen. Auf makroskopischer Ebene beschreibt Lernen einen neuropsychologischen Prozess, in welchem

Verhaltensweisen und das Wissen einer Person in Funktion zu verschiedenen Erfahrungen angepasst werden. Somit werden durch das Lernen neue Informationen ins Hirn aufgenommen. Das *Gedächtnis* beinhaltet seinerseits sowohl die Aufnahme, die Konsolidierung, die Aufbewahrung als auch den Abruf von Informationen. Dementsprechend ist das Lernen als ein Unterprozess des Gedächtnisses anzusehen. (Basar, 2005)

3.2. Gedächtnis

Wie erwähnt, beschreibt das Gedächtnis die Summe aller neurobiologischen Funktionen, welche dazu beitragen, äussere Stimuli zu verarbeiten, zu filtern, zu kodieren, zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzurufen. Es ist offensichtlich, dass es sich bei unserem Gedächtnis also um einen äusserst vielseitigen, facettenreichen und komplexen kognitiven Mechanismus handelt.

Die genauen Funktionsweisen der Gedächtnisprozesse sind freilich noch nicht abschliessend erforscht. Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Theorien, wovon sich bloss eine kleine Prozentzahl über die Jahre hinweg halten. (Thompson, 2001)

3.2.1. Grundlegende Prozesse und Systeme

Im Folgenden werden drei wichtige Theorien zu Gedächtnisprozessen genauer beleuchtet.

Die *Theorie der Äquipotentialität* von Karl Lashley besagt, dass die Fähigkeit, welche er *memory* nennt, über das gesamte Gehirn verteilt und nicht auf bestimmte Regionen konzentriert ist. Diese Hypothese begründete Lashley im Jahre 1929 durch einen Versuch, in welchem er Ratten beibrachte, komplizierte Labyrinth zu lösen und ihnen daraufhin inkrementell dünne Scheiben aus dem Gehirn entfernte. Er versuchte durch dieses Vorgehen, die Speicherfunktion des Gedächtnisses einem spezifischen Areal des Kortex zuzuordnen. Dies misslang ihm, denn es hatte keinen Einfluss auf die Fähigkeit der Ratten, das Labyrinth zu lösen, welche Teile des Hirnes er entfernte. So beschrieb er die bis heute gültige These der *equipotentiality*, die sich auch in den verschiedensten modernen bildgebenden Methoden bestätigt sieht. (Basar, 2005 und Squire, et al., 2009)

Die nächste wichtige Theorie ist das bereits oben beschriebene *principle of cooperativity*, welches Donald Hebb um 1949 vorschlug. Die auf der Synapsenplastizität fussende Theorie ist heute dank moderner Untersuchungsmethoden weitgehend als bestätigt anzusehen. Die Neubildung von Synapsen beim Lernen als physischer Prozess im Gehirn ist gemäss meiner Beurteilung auch relativ gut verständlich. Lernen könnte man somit *in vitro* unter dem Mikroskop als Synapsenbildung beobachten, was *in vivo* natürlich undenkbar ist. (Squire, et al., 2009)

Zuletzt zu erwähnen ist noch Friedrich August von Hayeks Theorie, dass der Prozess des Wahrnehmens die *Klassifizierung* von Objekten durch Aktivierung der *assoziativen Netze* ist, die sie im Gedächtnis repräsentieren. Hauptsächlich zeigt er auf, dass bereits der allererste Prozess des Lernens – das Wahrnehmen von neuen Inhalten – zum Gedächtnis dazugehört. Diesen Vorgang nennt er *Klassifizierung*. Seine Theorie wird in der modernen neurowissenschaftlichen Forschung vorausgesetzt und ist essenziell für das Verständnis des Gedächtnisses als komplexes, dynamisches System. Hayek führt damit ausserdem die Notion der assoziativen Netzwerke ins Feld, welche einen wichtigen Bestandteil des Gedächtnisses bilden. (Basar, 2005)

Früher gewann man durch Studien mit Personen, die eine lokale Schädigung des Gehirns und eine damit verbundene Amnesie erlitten hatten oder durch Tierversuche mit spezifischen Gehirn-

Teilamputationen, neue Einblicke in die Verortung der Funktionsweise der *memory*. Heutzutage helfen nichtinvasive, neuroradiologische Verfahren dabei, die Aktivität des Gehirns nahezu in Echtzeit abzubilden und somit zu ermitteln, welche Hirnregionen für welche Aufgaben zuständig sind.

Die Prozesse des Memorierens können durch eine theoretische, systematische Unterteilung besser verstanden und auseinander gehalten werden.

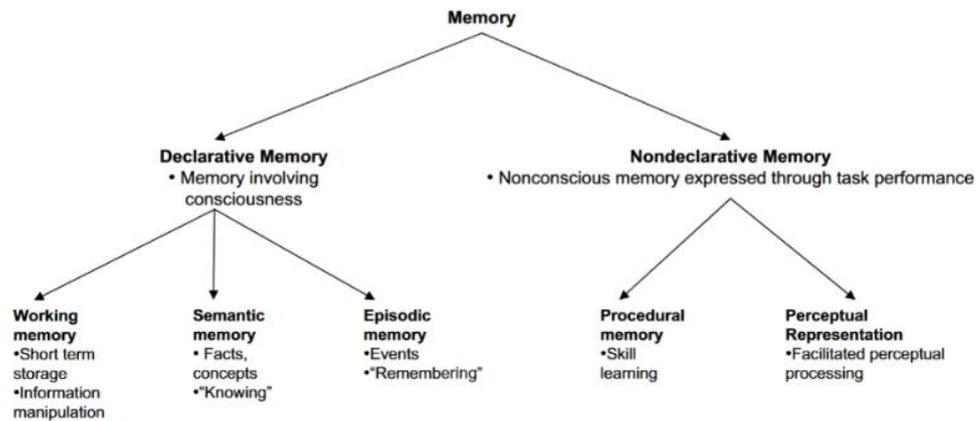


Abbildung 8. Hierarchischer Überblick über die Gedächtnissysteme des Menschen. Schacter, et al., 1994.

In Abbildung 8 werden die zwei Hauptgruppen des Gedächtnisses visualisiert: das *deklarative Gedächtnis* und das *nicht-deklarative Gedächtnis*. Ersteres beschreibt dabei alle Prozesse rund um das absichtliche, aktive Erwerben von Erinnerungen. Der zweite Prozess geschieht unterbewusst und verläuft 'unbemerkt' beim Erlernen und Ausführen von Aufgaben, beispielsweise beim Erlernen einer Fähigkeit wie Fahrradfahren. (LaVoie, et al., 2007)

Da ich mich für den Effekt der Nutzung von digitalen Medien auf eine zuvor geleistete Lernarbeit, also auf die bewusste Memorierung (*memory involving consciousness*) von Fakten, interessiere, ist das deklarative Gedächtnis relevant.

Ein wichtiger Teil dieses deklarativen Gedächtnisses findet im Hippocampus statt. Untersuchungen an Patienten mit Läsionen in diesem Hirnbereich zeigten nämlich klare Defizite in Bezug auf die Erinnerungsleistung von faktenbasierten Gedächtnisinhalten. Die untersuchten Probanden hatten jedoch keinerlei oder kaum Einschränkungen in Bezug auf unbewusstes Erlernen und Reproduzieren von unterbewusst abgespeicherten Gewohnheiten. Dies spricht dafür, dass das deklarative und das nicht-deklarative Gedächtnis nicht bloss in Theorie separiert werden, sondern auch tatsächlich neurobiologisch physisch getrennt ablaufen. Neben dem Hippocampus sind noch andere neuronale Strukturen, welche sich im medialen Temporallappen oder auch im Zwischenhirn befinden, unerlässlich für die Bildung neuer deklarativer Erinnerungen. Gespeichert werden diese Erinnerungen daraufhin vermutlich in über den gesamten Kortex verteilten, domänenspezifischen Regionen. (Eichenbaum, 1999 und Poldrack, et al., 1997)

Innerhalb des deklarativen Gedächtnisses – ebenfalls oben in Abbildung 8 ersichtlich - unterschied man klassischerweise zwei Hauptteile, das *semantische Gedächtnis* und das *episodische*. (LaVoie, et al., 2007) Um 1974 fügte Alan Baddeley hier eine dritte Entität an, welche er als *working memory* bezeichnete. (Baddeley, 2003)

Das semantische Gedächtnis bezeichnet jegliches Faktenwissen einer Person und wird im Englischen in der Gesamtheit als *knowledge* betitelt. Ausserdem beinhaltet die *semantic memory* die Kodierung und auch die Anwendung von gespeicherten Fakten. Dieser Teil des Gedächtnisses ist klar auf Effizienz und auf schnelles Verständnis ausgelegt und beinhaltet somit keinen temporären oder räumlichen Lernkontext. (LaVoie, et al., 2007)

Ganz im Gegensatz dazu besteht das episodische Gedächtnis aus den Erinnerungen an persönlich durchlebte Geschehnisse, welche in Verbindung mit dem zeitlichen und räumlichen Kontext abgespeichert werden. Denn dies ermöglicht es, dass wir solche Erlebnisse erneut 'durchleben' können, was beim semantischen Gedächtnis, welches Fakten 'lose' abspeichert, nicht der Fall ist. (LaVoie, et al., 2007)

Das semantische und episodische Gedächtnis zusammen werden in Bezug auf deren zeitliche Dimension als *Langzeitgedächtnis* umschrieben.

Die Working memory bezeichnet das *Arbeitsgedächtnis*. In der Vergangenheit wurde dieses auch oft als Kurzzeitgedächtnis oder short-term memory (STM) bezeichnet.

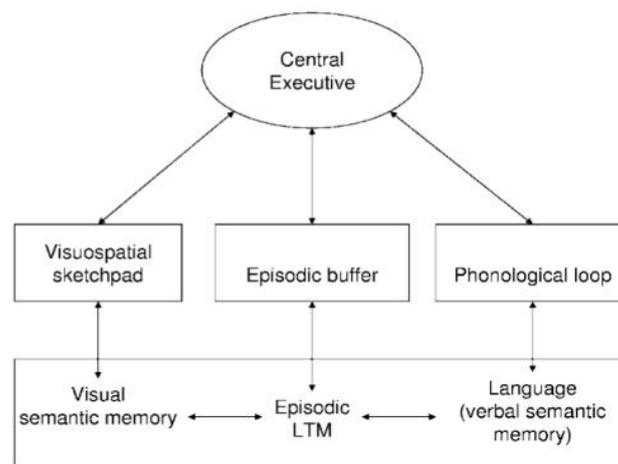


Abbildung 9. Schematisch dargestellte Organisation des Arbeitsgedächtnisses. Baddeley, 2003.

Das Arbeitsgedächtnis ist für eine kurzzeitige Speicherung und für kognitives Verarbeiten von Stimuli zuständig. Ein gutes Beispiel für die Notwendigkeit des Arbeitsgedächtnisses ist das Kopfrechnen von komplizierten Mathematik-Aufgaben, bei welchen man gleichzeitig einerseits die Aufgabe kurzzeitig im Gedächtnis behalten und man andererseits recht komplexe kognitive Aufgaben ausführen muss. (Poldrack, et al., 1997)

Das abgebildete Modell (Abb. 9) stammt von Baddeley, welcher die *Working memory* erneut unterteilt. Die drei mittleren Komponenten, *visuospatial sketchpad*, *phonological loop* und *episodic buffer*, sind die sogenannten 'Sklavensysteme', welche alle der *zentralen Exekutive* untergeordnet sind. Letztere koordiniert die anderen Komponenten und sorgt dafür, dass sie sich gut ergänzen, indem sie die Prioritäten adjustiert. Der visuelle Skizzenblock ist, wie der Name es bereits verrät, für die temporäre Speicherung von visuellen Inhalten und die phonologische Schlaufe, vom griechischen $\varphi\omega\nu\acute{\eta}$ (phonä), zu Deutsch Ton oder Klang, für verbale Informationen zuständig. Der episodische Puffer ist in der Lage, Informationen aus verschiedenen Sinnesmodalitäten zu einer einheitlichen Darstellung zu kombinieren. Ausserdem ermöglicht er die Integration von Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis in das semantische und episodische Gedächtnis. Weiter hilft er dabei, Verbindungen zwischen aktuellen Erfahrungen und dem im Langzeitgedächtnis gespeicherten Wissen herzustellen. Der episodische Puffer und die zentrale Exekutive dienen ausserdem dazu, assoziative Inhalte zu verarbeiten und abzuspeichern, indem sie jene ins langfristige semantische Gedächtnis übertragen. (Baddeley, 2003 und Thompson, 2001)

So wird die Art von Lernen, welche dazu führt, dass Inhalte ins semantische Gedächtnis eingespielen werden, oft als *assoziatives Lernen* bezeichnet. Das heisst, neue Stimuli werden mit bereits bekannten Informationen abgeglichen und durch diese Relation lassen sich diese Stimuli einfacher einprägen. Man kann sich vereinfacht vorstellen, dass bereits vorhandene synaptische Bahnen verstärkt und erweitert werden. Ferner kann assoziatives Lernen auch bedeuten, dass mehrere neue Stimuli miteinander verknüpft gespeichert werden. (Thompson, 2001)

Das assoziative Lernen ist relevant für das faktenbasierte Gedächtnis und damit eine Grundvoraussetzung für das erfolgreiche Einprägen von Vokabeln.

Genauso wichtig wie das Verstehen der Vorgänge beim Erlernen von Inhalten ist es, eine nachträgliche Beeinflussung des zuvor stattgefundenen Lernprozesses zu untersuchen. Gemäss meinem Fokus auf eine mögliche Auswirkung des Konsums digitaler Medien auf das Gelernte, sind neben der bisher beschriebenen Speicher-Vorgänge auch deren Veränderung in Funktion zu verschiedenen internen und externen Faktoren zu beschreiben.

3.2.2. Vergessen und Ablenkung

Im Folgenden wird dazu auf die Prozesse des Vergessens sprich auf die Rückbildung von neu gebildeten Hebb'schen Synapsen eingegangen. Ausserdem wird diskutiert, welche Prozesse eine langzeitige Speicherung von Inhalten beeinträchtigen oder begünstigen können.

Wie oben beschrieben, bilden das episodische und das semantische Gedächtnis das Langzeitgedächtnis. Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass dazu auch Komponenten des nicht-deklarativen Gedächtnisses gehören. Fakten oder Erlebnisse, welche dort abgespeichert sind, bleiben jahrelang oder ein ganzes Leben lang in Erinnerung. (LaVoie, et al., 2007 und Thompson, 2001)

Andere Informationen werden jedoch nicht derart langfristig aufbewahrt. Wie – so stellt sich die Frage – wird im Gehirn entschieden, welche Inhalte als wichtig zu speichern und welche als unwichtig taxiert werden und wieder vergessen werden können? Und welche externen und internen Faktoren beeinflussen diesen Prozess? Inwiefern könnten digitale und soziale Medien als solche Beeinflussungsfaktoren angesehen werden?

Die Dauer der 'Aufbewahrung' wird durch die sogenannte *memory modulation* bestimmt. Die Gedächtnismodulation definiert sich durch den Prozess, bei dem die Stärke und/oder Zugänglichkeit eines Elements des Gedächtnisses durch verschiedene Faktoren oder Interventionen verändert oder beeinflusst wird. Bei diesen Faktoren kann es sich um interne Faktoren wie Emotionen, Stress oder kognitive Strategien oder um externe Faktoren wie Umweltreize oder die Verabreichung psychotroper Substanzen handeln. (Roosendaal, 2011)

In der neurobiologischen Forschung konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass emotional signifikante Erlebnisse dazu führen, dass durch die Freisetzung vom Neurotransmitter Noradrenalin neu erworbene Erinnerungen deutlich verstärkt werden. Ein typisches Beispiel hierfür wäre ein kleines Kind, welches einmal auf eine heisse Herdplatte fasst. Der starke, unerwartete Schmerzreiz löst aufgrund des gleichzeitig hohen emotionalen Stresses eine deutlichere Einprägung im Gedächtnis aus, weswegen diese Information oft ein Leben lang nicht mehr vergessen werden kann. (Roosendaal, 2011)

Ein alltäglicherer und relevanter Faktor zur Konsolidierung von Erinnerungen ist die Repetition – *repetitio est mater studiorum*, sprach angeblich bereits Horaz vor mehr als 2000 Jahren (Buboquote, o.J.). In der Graphik (Abb. 10) werden die prozentual im Gedächtnis gebliebenen Elemente in Funktion zur Zeit dargestellt. Rot abgebildet ist Hermann Ebbinghaus' Vergessenskurve (Ebbinghaus, 1885), während die grünen Linien zeigen, wie sich die Vergessensrate verändert, wenn die Inhalte jeweils nach einem fixen Zeitintervall repetiert werden. Dies nennt man die *spaced repetition*, das in regelmässigen Abständen wiederholte 'Ablegen' im Gehirn. Auch durch kurzfristige Wiederholungen, im Englischen *rehearsal* genannt, zu Deutsch Üben, kann die relativ kurze Halbwertszeit – gemäss Ebbinghaus circa 30 Minuten – von Erinnerungen, deutlich erhöht werden.

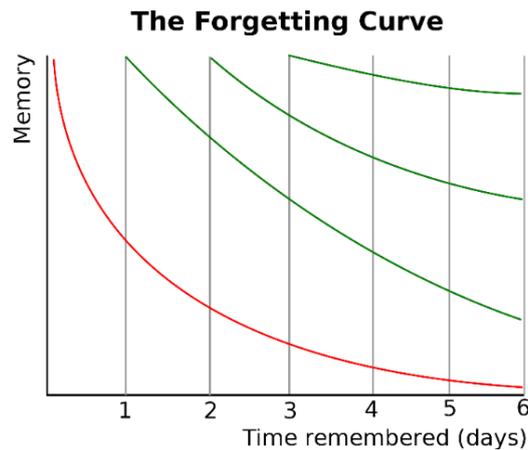


Abbildung 10. Die Vergessenskurve (*forgetting curve*) veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Zeit und der Erinnerungsfähigkeit und wie Informationen im Gedächtnis (*memory*) im Laufe der Zeit (*time remembered*) abnehmen. Icz via wikimedia, 2007.

Folgendes Zitat von Johannes Engelkamp erläutert genau diesen Prozess der kurzfristigen, nachträglichen Repetition:

«Das meiste Vergessen findet innerhalb einer Stunde nach dem Lernen statt. Konsolidierung findet statt, um Gedächtnisspuren zu verfestigen. Dieser Prozess ist anfangs störanfälliger als später. [...] Neurophysiologisch beeinflusst er die Wahrscheinlichkeit, dass postsynaptische Neuronen im Hippocampus auf Neurotransmitter reagieren, die an den präsynaptischen Neuronen freigesetzt werden. [...] Bewusste Abrufprozesse verfestigen die Gedächtnisspuren und verlangsamen ihr Vergessen. Das Abrufen selbst formt eine Gedächtnisspur. Wir erinnern, was wir vorher erinnert haben. Je häufiger wir etwas erinnern, umso mehr Spuren bilden sich im Gedächtnis.» (Engelkamp, 2013)

Die Gedächtnismodulation kann also zeitlich nach der Memorierung von jeglichen Inhalten zu Verbesserungen oder Beeinträchtigungen der Gedächtnisleistung führen.

Beispielsweise konnte für den Schlaf als Modulationsfaktor eine positive Auswirkung auf kurz zuvor memorierte Inhalte und deren langfristige Speicherung im Gedächtnis festgestellt werden. Bereits 1924 untersuchten und bewiesen Jenkins und Dallenbach, dass die ungestörte Konsolidierungsphase während des Schlafes dazu führt, dass Probanden kurz vorher memorierte Inhalte aus dem deklarativen Gedächtnis wesentlich besser abrufen können. (Jenkins, et al., 1924)

Dies gilt gemäss Plihal und Born auch für neu erworbene motorische Fähigkeiten des prozeduralen Gedächtnisses. (Plihal, et al., 1997 und Engelkamp, 2013)

Ablenkung ist definiert durch ein Entschwinden der Fokussierung. Die Aufmerksamkeit wird dabei während oder nach dem Lernprozess verringert, was dazu führen könnte, dass die nachträgliche

Konsolidierung nicht oder nur beschränkt stattfinden kann. Letzteres bedeutet weiter, dass die Ablenkung den Prozess beeinflussen könnte, bei welchem Lerninhalte von einem Kurzzeit-Speicherort auf einen Langzeitspeicher übertragen werden. Da ich es mir zum Ziel gesetzt habe, den potenziellen Einfluss von digitalen Medien auf unser Erinnerungsvermögen und eben nicht auf den Lernprozess per se zu analysieren, werde ich mich nicht auf die Ablenkung beim Lernen konzentrieren. Nicht die *attention*-Leistung während der Memorierung, sondern die Beeinflussung der Konsolidierungsphase muss mein Untersuchungsgegenstand sein.

Welchen Effekt hat es, wenn man nach dem bewussten Lernen neuer Inhalte digitale Medien konsumiert? Und liesse sich eine derartige Ablenkung durch digitale Medien, welche immer eine Kombination aus vielfältigen neuronalen Prozessen auslösen und oft gekoppelt mit emotionalen Anteilen auftreten, durch eine neuroapparative Untersuchung visualisieren?

3.3. Neuroapparative Untersuchungsmöglichkeiten

In der Neurowissenschaft existiert heute eine Vielzahl an unterschiedlichen Untersuchungsmethoden, welche jeweils verschiedene der oben geschilderten physikalisch-biologischen Eigenschaften der Hirnprozesse ausnützen, um die Aktivität des Gehirns aufzeichnen zu können. Wichtig anzumerken ist hier, dass es um die Aufzeichnung der Aktivität der einzelnen Hirnregionen geht. Rein statische Bilder des Gehirns lassen sich durch CT (Computertomographie), MRI (magnetic resonance imaging) oder Röntgen erzeugen, würden aber in einer Testung wie meiner keinerlei makroskopische Veränderungen aufzeigen.

Um die verschiedenen neurobiologischen Vorgänge in Bezug auf die Memorierung und Gedächtnismodulation nachzuweisen, müsste man diese anhand der Aktivität im Gehirn erkennen. Deshalb kommen nur neuroapparative Untersuchungsmethoden in Frage, welche tatsächlich die Exzitation des Hirns lokalisieren und aufzeichnen.

Wie in Graphik 11 ersichtlich, unterscheiden sich solche Verfahren meistens in Bezug auf drei Faktoren (als Achsen dargestellt): die zeitliche Auflösung, die räumliche Auflösung und den Grad der Immobilität der untersuchten Person.

Die meisten Methoden zur Aufzeichnung der Hirnaktivität machen sich Eigenschaften des *Hirn-Metabolismus* zunutze. So kann ermittelt werden, in welchen Teilen des Hirns ein hoher metabolischer Umsatz abläuft und somit auch, wo viel 'gearbeitet' wird. Die verschiedenen möglichen Verfahren unterscheiden sich im Wesentlichen dadurch, welche Stoffe des Metabolismus sie zur Visualisierung benötigen. (W.K. via Spektrum, o.J.)

Im Folgenden werde ich auf drei der weitverbreitetsten radiologischen und neuroapparativen Methoden zur Analyse der Hirnaktivität eingehen. Das sind das *functional magnetic resonance imaging* (fMRI), die *positron emission tomography* (PET) und das *Elektroenzephalogramm* (EEG).

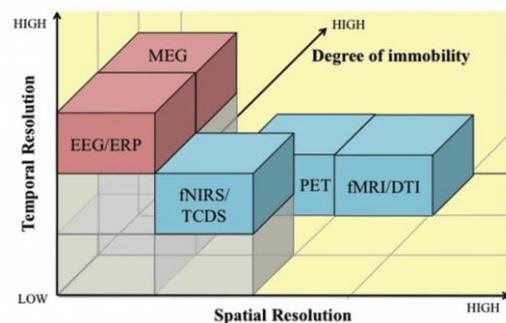


Abbildung 11. Graphische Darstellung von fünf verschiedenen neuroapparativen Verfahren anhand der Kriterien: Grad der Immobilität, zeitliche und räumliche Auflösung. IMotions, 2019.

Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

fMRI ist eine oft angewandte Untersuchungsmethode für die Hirnaktivitätsaufzeichnung. Dies vor allem aufgrund ihrer nichtinvasiven Natur und der hohen räumlichen Auflösung (vgl. oben Abb. 11).

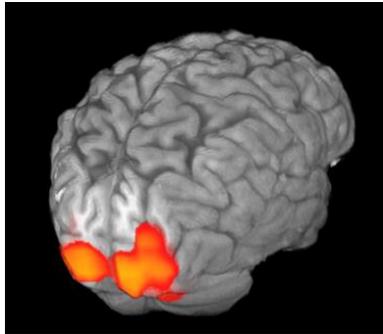


Abbildung 12. fMRI-Scan eines Probanden, welcher ein blinkendes Schachbrett betrachtete, während er sich auf ein Kreuz konzentrierte. Die aktivierten Bereiche, in Rot-Tönen dargestellt, entsprechen dem okzipitalen Kortex, also der Sehrinde. NZBRI, o.J.

Dieses Vorgehen basiert auf dem normalen MRI, also dem *magnetic resonance imaging*, und detektiert die Aktivität bestimmter Regionen durch die magnetische Resonanz der Zellkerne. Ein fMRI basiert darauf, dass aktivierte Neuronen ATP (Adenosintriphosphat) für die Generierung von Aktionspotenzialen benötigen. Mitochondrien erzeugen ATP durch Zellatmung aus Glukose und Sauerstoff, weswegen in aktivierten Hirnregionen mehr O₂ nötig ist. Dies löst eine hämodynamische Reaktion aus und durch den daraus resultierten erhöhten *cerebral blood flow* (CBF) wird mehr oxidiertes Hämoglobin (Hb) dorthin transportiert. So entstehen Gradienten bezüglich der Sauerstoffkonzentration im Blut, man spricht vom *blood oxygen level dependant* (kurz: BOLD) Kontrast. Da desoxidiertes Hb paramagnetisch ist, nutzen die meisten fMRIs diesen BOLD-Kontrast. Zusammengefasst heisst das, dass ein fMRI die Hirnaktivität anhand der Hb-Konzentration im Magnetfeld misst. (Glover, 2011 und Ogawa, et al., 1993)

Resultierende Bilder sind 3D-Abbildungen des Gehirns und durch Software werden die aktiven Zentren des Gehirns mit Farben hinterlegt, wie in Abbildung 12 ersichtlich.

Positron Emission Tomography (PET)

Der PET-Scan ist eine minimal invasive Neuro-Bildgebung, die sich ebenfalls den Stoffwechsel der Neuronen zunutze macht. Im Gegensatz zum fMRI benützt er jedoch nicht die O₂- und Hb-Konzentrationen, sondern knüpft mit der Glukose beim anderen der beiden Ausgangsstoffe der Zellatmung an. Verabreichte Positronen-emittierende Radiopharmazeutika, welche genau dort in erhöhter Konzentration auftreten, wo das Hirn aktiv ist, ermöglichen es einer Vielzahl von Positronen-detektoren, welche in einem Ring um den Probanden angeordnet sind, die aus den Positronen entstehende Gamma-Strahlung zu detektieren und zu verorten. Seit Sokoloff et al. 1977 das Paper über die C14-Desoxyglukose-Methode veröffentlicht haben, wird den Untersuchten eine Flüssigkeit oder Tablette mit modifizierter Glukose, welche Positronen abgibt, verabreicht. Wenn nun eine bestimmte Region im Hirn aktiviert wird, braucht es genau dort viel Glukose für die Zellatmung. Somit entsenden schlussendlich genau jene Regionen, die aktiviert werden, viele Gamma-Strahlen. (Sokoloff, et al., 1977 und Lameka, et al., 2016)

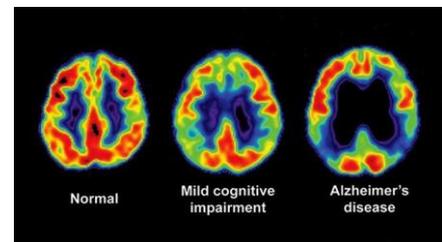


Abbildung 13. PET-Scan von drei verschiedenen Hirnen von Patienten mit unterschiedlichen Krankheitsbildern im normalen Aktivierungszustand. Rauf, 2019.

Ähnlich wie beim fMRI ist die zeitliche Darstellung der Hirn-Aktivität aber verschwommen, da es eine gewisse Zeit dauert, bis neue Glukose zu den Zellen gelangt. Ein Beispiel für die resultierenden Abbildungen eines PET-Scans ist in Abbildung 13 zu finden.

Elektroenzephalogramm (EEG)

Ein Elektroenzephalogramm – aus dem Griechischen *ἐγκέφαλος* (enképhalos), Gehirn (im-Kopf) und *γράμμα* (grámma), Aufzeichnung – bezeichnet eine gängige, nichtinvasive neurologische

Untersuchung, bei welcher anhand auf der Kopfhaut aufgeklebter Elektroden die kortikale Aktivität in unterschiedlichen Hirnregionen aufgezeichnet werden kann. Die Anzahl der Elektroden bestimmt dabei die räumliche Auflösung der resultierenden Daten – je mehr Aufzeichnungspunkte, desto detailliertere Analysen.

Die Daten werden in Form von wellenförmigen Mustern dargestellt, die als *EEG-Spektren* bezeichnet werden. Diese Spektren bieten wertvolle Einblicke in die Hirnfunktion und können bei der Diagnose von Erkrankungen des CNS, der Schlaafforschung und teilweise auch bei der Erforschung kognitiver Prozesse eingesetzt werden.

Ein EEG zeichnet unterschiedliche elektrischen Frequenzen auf, die durch die kollektive Aktivierung von Neuronen in bestimmten Hirnregionen entstehen und die Summe von vielen APs darstellen. Diese erzeugen elektrische Felder, die von den EEG-Elektroden abgeleitet werden. Diese Aktivitätsmuster werden in verschiedenen Frequenzbereichen im EEG-Spektrum dargestellt, die jeweils mit einem griechischen Buchstaben bezeichnet werden. *Delta*-Wellen (0,5-4 Hz) sind die langsamsten und treten nur im Tiefschlaf auf. *Theta*-Wellen (4-8 Hz) sind etwas schneller und kommen im leichten Schlaf oder bei Entspannung vor. *Alpha*-Wellen (8-13 Hz) sind typisch für einen wachen Zustand. *Beta*-Wellen (13-35 Hz) sind noch schneller, während Frequenzen über 35 Hz als *Gamma*-Wellen bezeichnet werden. Wichtig zu verstehen ist, dass das EEG sogenannte Grundrhythmen aufzeichnet, welche diesen verschiedenen Frequenzen zugeordnet werden können. Dabei bedeutet eine aufgezeichnete Abweichung von solchen Grundrhythmen, dass eine bestimmte Region des Kortex besonders aktiv ist. (Miller, 2006)

Da ein EEG die Aktivität des Gehirns auf der Hirnrinde lokalisieren kann, scheint mir auch diese letzte der drei Methoden zur Visualisierung der Gedächtnisprozesse gut geeignet. Im Gegensatz zu einem fMRI und einem PET-Scan ermöglicht ein EEG eine äusserst präzise zeitliche Darstellung der Hirnaktivität. Es sollte jedoch beachtet werden, dass das EEG mit dem Kortex nur die Oberfläche des Hirns beobachten kann. Was sich in den tieferen Hirnregionen abspielt, kann nicht dargestellt werden. Zudem ist die räumliche Auflösung durch die Anzahl an Elektroden am Kopf bestimmt, was eine zuverlässige Interpretation mit verhältnismässig wenig Elektroden erschweren kann.

3.4. Forschungsstand

Mit dem durch das Schülerstudium erarbeiteten Vorwissen begab ich mich für meine weitere Recherche nach wissenschaftlicher Literatur in die Zentralbibliothek Zürich und ins Internet, wo mit Stichwörtern wie '*neuroscience of media consumption*' oder '*digital media effects on memory proceses*' auch Datenbanken wie PubMed oder Google Scholar durchsucht wurden. Da die Thematik, inwiefern unser Hirn und dessen Prozesse durch den Konsum von digitalen Medien beeinflusst werden, äusserst virulent ist, fanden sich viele *papers* zu entsprechender neurowissenschaftlicher Forschung.

Die Erforschung der Auswirkungen des Konsums digitaler Medien auf das Gehirn und seine Funktionen ist ein aktives und sich entwickelndes Forschungsfeld. Es findet sich Forschung zu positiver wie auch negativer Beeinflussung des Gehirns und der kognitiven Leistungsfähigkeit. So gibt es beispielsweise Studien zu einer gesteigerten Aufmerksamkeit und verbesserten Motorik als Folge von sogenanntem *serious gaming* – für einen bestimmten Zweck entwickelte Videospiele, meist zum Training einer bestimmten kognitiven Fähigkeit. Als Beispiel für eine negative Folge wird oft von erhöhtem Suchtverhalten wegen abnormal hoher Dopamin-Ausschüttung beim Konsum digitaler, sozialer Medien gesprochen. (Gentry, et al., 2019 und Kühn, et al., 2013)

Ein äusserst spannendes Beispiel für eine Auswirkung des Internetkonsums auf unser Hirn ist auch der sogenannte *Google Effekt*. Dieser beschreibt, wie das Internet als eine Art externes Gedächtnis angewendet wird und Individuen darauf konditioniert werden, sich weniger merken zu müssen, da die Informationen im Internet problemlos auffindbar sind. Man spricht vom sogenannten *cognitive off-loading*, also einer Verlagerung von kognitiven Prozessen nach aussen. (Sparrow, et al., 2011)

Auch andere Bereiche wie beispielsweise die Beeinflussung von Aufmerksamkeitsprozessen sind Gegenstand der aktuellen Forschung. So wurde der Term des *media multitasking* in letzter Zeit immer populärer und bezeichnet einen Prozess, bei welchem Menschen, vor allem Jugendliche, auf den digitalen Plattformen mehrere separate Aufgaben gleichzeitig ausführen. Somit wird ein häufiges Wechseln zwischen Informationsquellen antrainiert, was negative Auswirkungen auf die langfristige Konzentration auf eine simple, konkrete Aufgabe haben könnte. (Firth, et al., 2020 und Süss, et al., 2012)

Zu meiner konkreten Grundüberlegung, inwiefern der Konsum von digitalen Medien das Erinnerungsvermögen an neu gelernte Inhalte beeinflusst, liessen sich aber trotz ausgiebiger Recherche keine Studien finden. Oftmals lag der Fokus auf der Ablenkung während des Lernens. Die Beeinflussung der nachträglichen Konsolidierung durch Medienkonsum wurde als solche nirgends unterschieden oder experimentell analysiert, obwohl dieses Szenario meiner Meinung nach ebenso alltagsrelevant ist.

Das Fehlen wissenschaftlicher Untersuchungen zu meiner Frage verunsicherte mich zunächst. Doch diese Unsicherheit wich alsbald der Überzeugung, dass ich mit meiner Maturitätsarbeit nun unerforschte neurobiologische und -psychologische Grundfragen studieren konnte. Da ich wissenschaftliches Neuland zu betreten schien, war die Herangehensweise an die Problematik vollkommen offen und ich musste mir viel theoretisches Wissen aneignen, um ein geeignetes Testverfahren wissenschaftlich erläutern und realisieren zu können.

3.5. Ziel der Arbeit

In Abbildung 14 werden zusammenfassend die neurobiologischen Abläufe während der verschiedenen Phasen des Gedächtnisprozesses dargestellt. Da während der Lern- und Konsolidierungsphase andere neurobiologische Abläufe stattfinden, werden diese in der Graphik als getrennte Prozesse dargestellt. Die Lernphase, während welcher neue Inhalte aktiv eingepägt werden, unterscheidet sich von der darauffolgenden Konsolidierungsphase, bei welcher keine neuen Inhalte ins Gedächtnis aufgenommen werden. Hinzugefügt wird der Vollständigkeit halber der Prozess der Abrufphase, welche grösstenteils dazu dient, den Einfluss der Intervention messbar zu machen.

Damit lässt sich mein ursprüngliches Alltagsszenario in einer zeitlichen Abfolge darstellen. Zuerst lernt man Vokabeln (rohe Informationsaufnahme), die nachträgliche Gedächtnismodulation bestimmt daraufhin den Grad der Erinnerungs-Verfestigung und zum Schluss werden die Vokabeln abgefragt und aus dem Gedächtnis abgerufen.

Wie in der Graphik rot eingezeichnet, soll in der vorliegenden Arbeit eine kontrollierte Intervention durch digitale Medien während der Konsolidierung untersucht werden. Damit liegt der Fokus, wie weiter oben (3.2.2.) beschrieben, auf der Ablenkung durch den Konsum digitaler Medien als potenzieller Einflussfaktor der Gedächtnismodulation. Diese Nutzung von digitalen Medien geschieht während der kurzfristigen Repetition und der damit verbundenen Verstärkung von Hebb'schen Synapsen, welche eine Übertragung ins semantische Gedächtnis ermöglicht. Ich meine, damit meinem Untersuchungsszenario mit Konsum sozialer Medien *nach* Vokabeln-Büffeln sehr nahe zu kommen.

Würden die digitalen Medien während der Lernphase oder Abrufphase genutzt, ergäben sich gänzlich andere Untersuchungen.

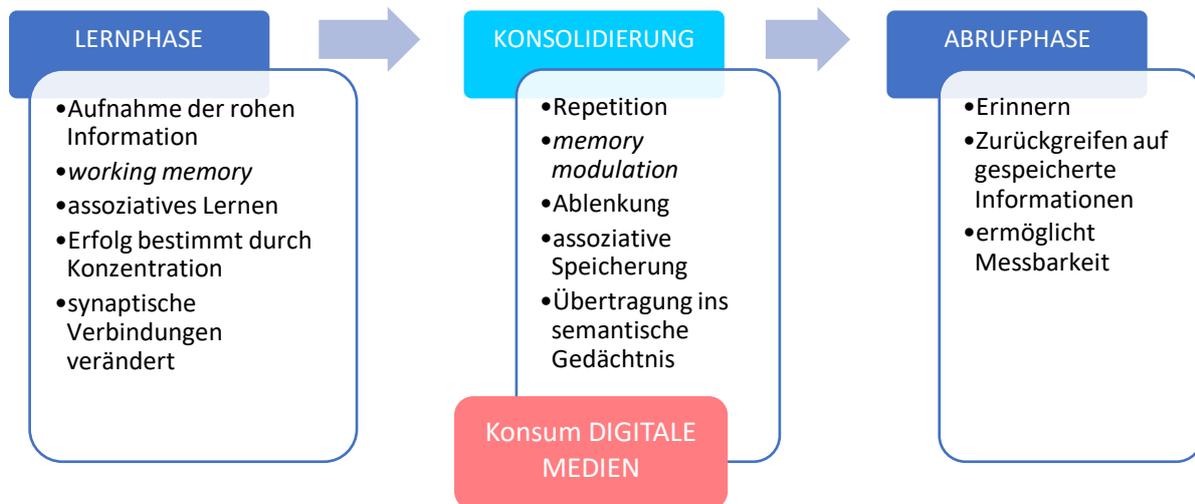


Abbildung 14. Graphische Darstellung der drei für den Gedächtnisprozess entscheidenden Schritte (Lernen, Konsolidieren und Abrufen) sowie einer Phase des Konsums digitaler Medien.

So lautet meine **Fragestellung 1 (F1)**:

Inwiefern beeinflusst der zwischen Lern- und Abrufphase eingeschobene Konsum von digitalen Medien das Erinnerungsvermögen an kurz zuvor neu gelernte, unbekannte Inhalte?

Hier wird der Kernpunkt meiner Untersuchung – der Einfluss digitaler Medien auf das Erinnern – zum Ausdruck gebracht. Die Gedächtnisleistung muss dabei als messbare Größe erfragt werden, was indirekt durch die Abfrage von zählbaren Angaben zur Erinnerungsleistung während der Abrufphase geschieht. Dieses indirekte Vorgehen ist notwendig, da das Erstellen von Erinnerungen zwar durch Synapsen ermöglicht wird, aber unmöglich unter einem Mikroskop beobachtet werden könnte.

Erst in der Konsolidierungsphase, also der Zeit nach dem Lernen, in welcher die in der Lernphase soeben memorierten Inhalte erneut durchgegangen, repetiert und verstärkt im Hirn gespeichert werden, 'entscheidet' die Gedächtnismodulation darüber, welche Inhalte 'aufbewahrt' werden und welche rasch wieder verloren gehen. Bei der Frage nach der Wirkung eines dem Lernen nachgeschalteten, digitalen Medienkonsums ist also die mögliche Beeinflussung der Konsolidierungsphase von zentralem Interesse. Es muss demnach ein Konzept für eine empirische Studie hergeleitet werden, welches die Lernprozesse berücksichtigt und Variablen beinhaltet, welche das Abspeichern potenziell unterschiedlich beeinflussen.

Nach einem Effekt dieser Variabilität der Ablenkung während der Konsolidierungsphase fragt **Fragestellung 2 (F2)**:

Lassen sich dabei Unterschiede zwischen zwei mit dem Rezipienten unterschiedlich interagierenden digitalen Applikationen ausmachen?

Da die *memory modulation* durch Interventionen unterschiedlich beeinflusst wird, sollten mindestens zwei verschiedenartige und unterschiedlich mit dem Konsumenten interagierende digitale Anwendungen verglichen werden. So sollen einmal passiv soziale Medien konsumiert werden und zum anderen eine aktive Aufgabe in digitaler Form ausgeführt werden.

Ebenfalls mit Blick auf die Gedächtnismodulation kann man weiter nach einem Zusammenhang zwischen Erinnerungsleistung und den Gewohnheiten im Umgang mit digitalen Medien fragen. So formuliert **Fragestellung 3 (F3)**:

Hat die regelmässige Verwendung von digitalen Geräten eine Auswirkung auf das Abrufen von neu gelernten Inhalten, wenn direkt davor digitale Medien konsumiert wurden?

Damit soll zusätzlich der Einfluss eines langfristigen Konsums von digitalen Medien auf das Erinnern untersucht werden.

Neben diesen drei Fragestellungen war ein weiteres Ziel meiner Arbeit, mich genauer mit neuroapparativen Untersuchungsmethoden zu beschäftigen. So lautet **Fragestellung 4 (F4)**:

Inwiefern ermöglicht eine neuroapparative Untersuchung eine Darstellung der während der Lern-, Konsolidierungs- und Abrufphase ablaufenden, neurobiologischen Prozesse und liesse sich ein digitaler Medienkonsum visualisieren?

Ich möchte herausfinden, ob sich die neuronalen Prozesse während des Lernens und der Konsolidierung visualisieren oder 'verorten' lassen. Welche Hirnareale des Kortex würden wohl aktiviert werden? Könnte die Konsolidierungsphase mit Ruhe- und Ablenkungsphase sichtbar und unterschieden werden?

Ferner wollte ich untersuchen, ob sich dadurch Rückschlüsse auf eine mögliche Interferenz durch Medienkonsum ziehen lassen.

Entsprechend diesen Fragen lassen sich folgende Hypothesen aufstellen:

Hypothese 1 (H1):

Der kurzfristige, passive Konsum von digitalen, sozialen Medien direkt nach einer Lernphase führt zu einer Verschlechterung des Erinnerungsvermögens im Vergleich zur Leistung des Gedächtnisses ohne Konsum von digitalen Medien kurz vor der Abfragung der gespeicherten Inhalte.

Die mehrkanalige kognitive Beanspruchung, welche von passiv konsumierten, digitalen Medien ausgeht, könnte eine Interferenz mit der Konsolidierung nach sich ziehen. Die *memory modulation* würde demnach negativ beeinflusst, was zu einer verminderten, unvollständigen oder fehlerhaften Konsolidierung führen könnte. Daraus würde dann logischerweise eine schlechtere Leistung während der Abrufphase resultieren, da die Inhalte nicht oder nur unzulänglich ins semantische Gedächtnis übertragen werden konnten.

Hypothese 2 (H2):

Der kurzfristige, aktive Konsum von digitalen Medien direkt nach der Lernphase beeinflusst die Erinnerungsfähigkeit im Gegensatz zu passivem Konsum nicht oder positiv.

Mit der Auswahl einer digitalen Applikation, die dazu auffordert, eine aktive Aufgabe auszuführen, soll eine komplett andere Intervention untersucht werden. Anders als beim passiven Konsum sozialer Medien, der mehrkanalig stimuliert, wird die *memory modulation* weniger beeinflusst. So erwarte ich durch einen aktiven Konsum eine geringere 'Störung' der Erinnerungsfähigkeit an die kurz zuvor geleistete Lernaufgabe als durch einen passiven.

Ähnlich wie bei *serious gaming* eine Steigerung der Aufmerksamkeit beobachtet wird, könnte ein aktiver Konsum gesteigerte kognitive Funktionen ermöglichen. Damit würde die Konsolidierung verbessert. Während beim passiven Konsum digitaler Medien ein regelrechtes neurobiologisches

Feuerwerk ausgelöst wird, führt aktives Gehirnjogging eher zur Verstärkung synaptischer Verbindungen, so meine Überlegung.

Hypothese 3 (H3):

Personen mit häufigem, regelmässigem Medienkonsum (gemessen anhand deren Bildschirmzeit) zeigen nach einem kurzfristigen, passiven Konsum von digitalen Medien ein besseres Erinnerungsvermögen als Personen, welche weniger häufig digitale Medien konsumieren.

Individuen, welche es gewohnt sind, häufig und regelmässig passiv digitale Inhalte zu konsumieren, lassen sich weniger stark durch Medienkonsum ablenken. Sie reagieren in ihrer Abrufleistung weniger sensibel auf die mehrkanalige Stimulierung durch digitale Inhalte, als Personen, die weniger Erfahrung damit haben. 'Untrainierte' Personen werden durch digitale Inhalte im Konsolidierungsprozess stärker abgelenkt. Hayek's Theorie besagt nämlich, dass die Wahrnehmung von unbekanntem Szenarien das Arbeitsgedächtnis insofern beschäftigt, als dass assoziative Netze aktiviert beziehungsweise neu gebildet werden. Personen, die bezüglich des Konsums digitaler Medien nicht viel Erfahrung haben, verwenden demnach mehr Hirnkapazität dafür, mit dieser eher ungewohnten Situation umzugehen. So bleibt weniger 'Platz' zur Repetition der gelernten Inhalte. Bei erprobten Nutzern von digitalen Plattformen erwarte ich deshalb eine bessere Erinnerungsfähigkeit während des beschriebenen Szenarios.

Hypothese 4 (H4):

Durch ein neuroapparatives Verfahren lassen sich Teile der Hirnaktivität aufzeichnen, wodurch eine Darstellung und Unterscheidung der verschiedenen Phasen und Prozesse ermöglicht wird und auch eine Intervention durch digitale Medien abgebildet werden kann.

Moderne, nichtinvasive Untersuchungsmethoden detektieren aktive Hirnareale, indem sie die Hirn-Metabolismus-Rate aufzeichnen. So lassen sich eventuell typische Muster während des Lernens erkennen, woraus man schliessen könnte, welche Hirnareale für die Memorierung in meiner Untersuchung zuständig sind. Dies dürfte es wiederum ermöglichen, die Auswirkungen des Konsums digitaler Medien direkt neurobiologisch fundiert bewerten zu können und nicht aufgrund indirekter Testungen.

4. METHODIK

Basierend auf meinen Fragestellungen wollte ich untersuchen, ob der Konsum zweier unterschiedlich mit dem Rezipienten interagierenden Medien nach dem Lernen von unbekanntem Inhalten einen Einfluss auf die Gedächtnisleistung eines Individuums hat.

Für die praktische Untersuchung meiner Fragestellung und die Überprüfung meiner Hypothesen entschied ich mich für zwei separate Studien.

Ich plante, eine empirische Untersuchung in Form eines Experiments an meiner Schule durchzuführen. Durch eine möglichst grosse Probandenzahl sollten aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden. Die Studie sollte zählbare Resultate liefern, um H1, H2 und H3 objektiv zu überprüfen. Das Experiment sollte durch eine Umfrage der teilnehmenden Probanden ergänzt werden.

Da heute der grösste Teil der neurowissenschaftlichen Erkenntnisse vornehmlich durch apparative Messungen gewonnen werden, wollte ich in einer zweiten Studie auch den neurobiologischen Aspekt des durchgeführten Experiments berücksichtigen, um auch H4 auf den Grund zu gehen.

Wo die erste Analyse eine indirekte neuropsychologische Untersuchung durchführt, sollte die zweite Untersuchung durch eine direkte, apparative Messung eine Darstellung der konkreten Vorgänge im Hirn während des Experimentes liefern – also die Lern-, Ablenkungs- und Abrufphase visualisieren.

4.1. Empirische Studie: *memory test*

4.1.1. Entwicklung eines geeigneten *memory tests*

In der Wissenschaft gibt es diverse Methoden zur Bestimmung der Gedächtnisleistung von Probanden. Diese Tests sind standardisiert und validiert, um Messungen und Resultate vergleichbar zu machen. Ein Beispiel dafür ist der BVMT-R, abgekürzt für *brief visuospatial memory test revised*, bei welchem die Leistung des Kurz- und Arbeitsgedächtnisses von Probanden getestet wird. Bei dieser Testung werden den Probanden mehrere visuelle Stimuli gezeigt und nach wenigen Sekunden wieder abgefragt. Auf diese Weise wird der visuell-räumliche Skizzenblock des Arbeitsgedächtnisses geprüft. (Benedict, 1996)

Nach der Überprüfung von unterschiedlichen Testverfahren musste ich aber feststellen, dass keines dazu geeignet war, den drei Phasen, welche für meine Studie entscheidend sind, gerecht zu werden. Deshalb musste ich einen Test, konkret auf meine Fragestellungen ausgerichtet, selbst generieren. Das Experiment sollte nicht die Kurz- sondern die Langzeitgedächtnisleistung ermitteln. Weiter sollte der Fokus nicht auf der Gedächtnisleistung per se, sondern auf der potenziellen Veränderung durch Medienkonsum während der Konsolidierung zuvor gelernter Inhalte liegen. Weiter musste die zweite Phase meines *memory tests* variabel sein, entsprechend unterschiedlich beschaffener Ablenkungsphasen.

Zuerst sollten die Probanden Inhalte lernen, daraufhin wird in der Konsolidierungsphase auf verschiedene Weise abgelenkt und zum Schluss müssen die anfangs gelernten Inhalte in der Abrufphase geprüft werden.

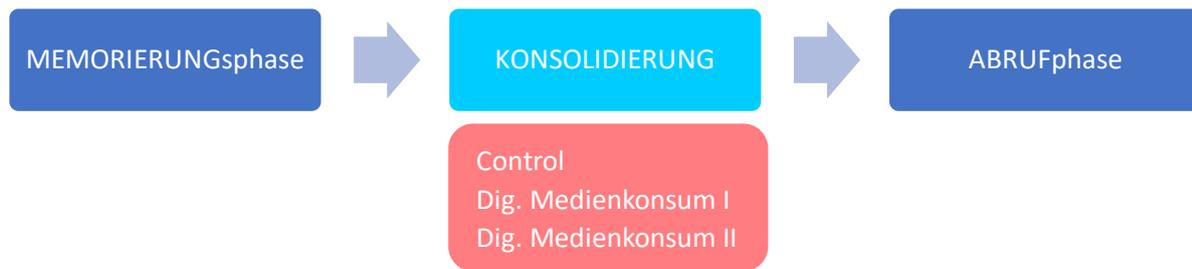


Abbildung 15. Schematische Darstellung der drei-phasigen Testmethode mit variabler zweiter Phase zur Testung einer durch Medienkonsum veränderten Gedächtnisleistung. Im roten Kasten sind die verschiedenen Arten der Ablenkung auf-gezeigt.

Eine derartige Interventionsstudie benötigt eine Kontrolle, um einen annehmbaren Vergleichspunkt zu schaffen, wofür ich im gleichen *setting* einen *control*-Test durchführe, ohne Ablenkung, bloss mit einer Ruhephase. Zusätzlich entschied ich mich, um einen möglichst grossen Datensatz zu erhalten und um interindividuelle Differenzen als Störfaktoren ausschliessen zu können, für ein *cross-over* Studiendesign. Jeder Proband musste also jeden Test und damit eine ganze Test-Serie absolvieren. Um dabei die Memorierungsleistung vor der Ablenkung, also in der Lernphase, bei jeder Testung möglichst auf gleichem Niveau halten zu können, wollte ich die Experimente an verschiedenen Terminen durchführen. Vergleichbar mit einer medizinischen *wash-out*-Phase (Paulussen, et al., 2022) sollten so gegenseitige Interferenzen durch die unterschiedlichen Tests vermieden werden. Die Erklärung meines Studiendesigns als nichtrandomisierte, kontrollierte *Cross-over*-Studie greift zurück auf die Einteilung gemäss Högemann. (Högemann, et al., 2014)

Für die weitere Experimententwicklung stellten sich mir primär folgende Probleme: Ich musste eruieren, welche Inhalte sich ideal zum Memorieren eignen, musste ausloten, wie gross die Anzahl zu lernender Inhalte sein sollte und welche zeitlichen Intervalle am besten geeignet wären, um etwaige Effekte messbar zu machen.

Da das Arbeitsgedächtnis gemäss Baddeley vier Komponenten beinhaltet (vgl. Kp. 3.2.1.), versuchte ich, meinen Test-Lerninhalt derart zu gestalten, dass möglichst viele dieser Komponenten simultan angeregt werden. So könnte ich einen späteren Einfluss durch die digitale Mediennutzung, auch wenn er bloss eine der Komponenten betreffen würde, detektieren.

Ich begann mit diversen Vorversuchen, welche ich jeweils im kleinen Rahmen bei meiner Familie und Bekannten austestete. Aufgrund der Rückmeldungen und der gesammelten Resultate konnte ich die Eignung der Lerninhalte bezüglich Schwierigkeit und Menge sowie die Dauer der Intervalle prüfen.

Bereits in der ersten Fassung meines *memory tests* benutzte ich aufgrund des assoziativen Prinzips der zentralen Exekutive im Arbeitsgedächtnis Karteikarten. Da bei der Karteikarten-Lernmethode zwei unterschiedliche Inhalte verknüpft werden, wird der episodische Puffer beansprucht, welcher dafür zuständig ist, zwei Information miteinander zu assoziieren (vgl. Kp. 3.2.1.). Solche Karteikärtchen sind Bestandteil der Lernmethoden aller Gymnasiasten. Ich wählte dafür die digitale Plattform 'Quizlet' (quizlet.com) aus. Dergestalt wäre das Format auch für die meisten Probanden klar, alltagsbezogen und vor allem repräsentativ für typisches Lernverhalten. Der Test bestand also aus einer bestimmten Anzahl zu lernender digitaler Karteikarten, welche jeweils ein deutsches Wort und dessen französisches Pendant enthielten. Die Vortests für dieses Modell führten jedoch zu stark variierenden Resultaten, da aufgrund unterschiedlicher Französisch-Vorkenntnissen die Inhalte einigen Probanden bereits bekannt und damit einfacher memorierbar waren. Diese Form von Lerninhalt war also gänzlich ungeeignet.

Die Lerninhalte mussten für alle Probanden zum gleichen Grad unbekannt sein. Ausserdem wollte ich auch den visuellen Teil des Arbeitsgedächtnisses miteinbeziehen, um damit weiter assoziatives Lernen zu fördern. So kam ich, in Anlehnung an andere Gedächtnistests, auf die Idee, mit Figuren – also mit

visuell-räumlichen Stimuli – zu arbeiten. Damit diese nun auch der Forderung nach gleichem (Un-)Bekanntheitsgrad für die TestteilnehmerInnen genügen würden, wollte ich mit gänzlich neuen, das heisst abstrakten anstatt symbolischen Figuren arbeiten. Deshalb generierte ich mit Hilfe des Turtle-Programms und der Programmiersprache Python (Code siehe Anhang Kapitel 10.2.1.) visuospatiale Figuren (vgl. Abb.16), die sich am Vorbild des BVMT-R orientierten.

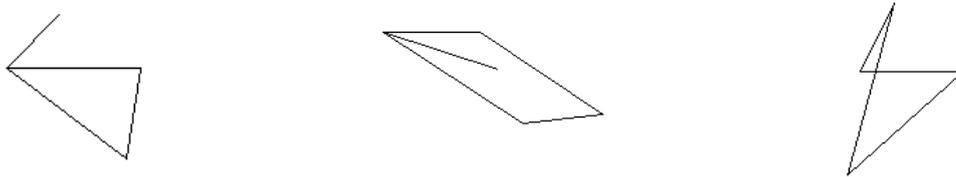


Abbildung 16. Beispiele computergenerierter Figuren als Lerninhalte während der Memorierungsphase. So wurden sie jeweils auf der Vorderseite der zu lernenden Karteikarten dargestellt.

Diese einzelnen Figuren verband ich nun mit jeweils einem einzigen Grossbuchstaben und führte mit diesen erneut mehrere Vorversuche durch. Auf diese Weise wurden nun sowohl die visuell-räumliche, die verbale als auch die assoziative Komponente des Arbeitsgedächtnisses 'angestrengt'.

Bei diesen Vortests gaben Probanden an, Schwierigkeiten mit dem Memorieren der Figuren zu haben, während die Assoziationen zu den einzelnen Buchstaben allen ziemlich einfach fielen. Der Computer konstruierte die Figuren aufgrund der Seitenanzahl der Formen garantiert zufällig. Wegen der zufälligen Winkelgrade und Seitenlängen entstanden dabei aber auch oftmals sehr abstrakte Figuren mit erschwerter 'Lesbarkeit' für die Probanden. Deshalb entschied ich mich, die Figuren nur noch zu 50 % vom Computer randomisiert generieren zu lassen, während ich die anderen 50 % selbst zeichnete.

Auch den verbalen Teil der Karteikarten passte ich an und ersetzte die einzelnen Buchstaben mit deutschen Substantiven. Denn in einem Gespräch mit Herrn Prof. Dr. Daniel Kiper (Professor für Neuroinformatik an der UZH) ergab sich, dass eine Verknüpfung mit ganzen Wörtern für meine Untersuchung wahrscheinlich geeigneter wäre. Es braucht mehr Zeit und Kreativität, sich das Wort-Figur-Paar bleibend einzuprägen, was zu einer genaueren Repräsentierung des assoziativen Teils unseres Arbeitsgedächtnisses führt.

Während der Testserie musste der Schwierigkeitsgrad der Tests garantiert konstant sein. Nur unter dieser Voraussetzung liessen sich die Resultate der Probanden bei drei Testungen miteinander vergleichen. Alle Karteikarten-Sets mussten also die exakt gleiche Anzahl an totalen Elementen in den geometrischen Figuren haben – als Element zählte ich jeweils einen Strich/Linie einer Figur. Eine Kreislinie, falls in einer Figur vorhanden, zählte als ein einziges Element. Ausserdem achtete ich darauf, dass in den drei Tests die Anzahl Wörter mit einem bestimmten Anfangsbuchstaben und einer bestimmten Silbenzahl nicht variierte.

Das entwickelte Schema mit den Figuren 50:50 vom Computerprogramm und von mir generiert und mit deutschen Substantiven verknüpft war erfolgreich und blieb bis zum finalen *memory test* genau so bestehen.

Nun mussten die Zeitintervalle und die Anzahl zu lernender Karteikärtchen derart bestimmt werden, dass die Probanden optimalerweise einige der memorierten Inhalte vergessen, sich jedoch an einen Grossteil noch erinnern könnten. Da in der ersten halben Stunde bis Stunde, wie weiter oben (vgl. Kp. 3.2.2.) beschrieben, ein Grossteil des Gelernten vergessen wird, war mir klar, dass ich mich irgendwo in diesem Bereich oder nur knapp darunter bewegen durfte. Um die sich freiwillig gemeldeten Probanden, die doch dreimal zur Testung erscheinen mussten, nicht mit zu viel Zeitaufwand zu belasten, sollte die Einzeltestung jeweils nicht länger als 30-45 Minuten dauern.

Mein Ziel war es, eine möglichst schöne Gauss'sche Verteilung der Datenwerte zu erreichen, da dies die Vergleichbarkeit und Aussagekraft der Daten hoffentlich erhöhen würde. Während den Vortestungen bestand nämlich das Problem, dass aufgrund weniger Lernkarten oder einfacherer Formen, oder auch erfragter Buchstaben statt Substantiven eine überwiegende Mehrheit der Probanden alle gelernten Inhalte immer noch wusste und die Verteilung der Resultate keine ausgeglichene Varianz um den Mittelwert zeigte. Die Verteilung präsentierte sich dann meist exponentiell, ein Beispiel findet sich auf Abbildung A2 im Anhang (Kp. 10.2.3.).

Eine exponentielle Verteilung ist in empirischen Studie weniger geeignet, da es schwierig ist, den Gipfel der Gauss'schen Verteilung vorherzusagen, da man bloss einen Ausschnitt am Anfang einer derartigen Verteilung betrachtet. Ausserdem würde die Aussagekraft erheblich eingeschränkt werden, da man die Tests kaum miteinander vergleichen könnte und resultierende Aussagen weniger verlässlich wären.

Deswegen versuchte ich, dies durch mehrere Vorversuche – wovon eine tabellarische Übersicht im Anhang (Kp. 10.2.2.) zu finden ist – zu verhindern, indem ich die Anzahl der Lerninhalte und die Zeitspanne zwischen den drei Testphasen genau derart gestaltete, dass die meisten Probanden ungefähr 65-75 % der Inhalte reproduzieren könnten und nur wenige die vollen 100 %.

Beim fünften Vorversuch gelang dann eine relativ schöne Gauss'sche Verteilung der Resultate, siehe Abbildung A3 im Anhang (Kp. 10.2.3.). Dafür funktionierte folgende Kombination (Abb. 17): Es wurden 20 Figur-Wort-Paare innerhalb eines Zeitraumes von fünf Minuten gelernt, gefolgt von einer 20-minütigen Phase 2, die sich auf drei Arten (*control*, passiver und aktiver Konsum digitaler Medien) gestalten liess. Anschliessend wurden 15 der gelernten Paare abgefragt, um das Antworten nach Ausschlussverfahren zu verunmöglichen. Für die Abfrage waren 3 Minuten vorgesehen. Die Figuren mussten nur passiv erkannt und das dazugehörige Wort aktiv reproduziert werden.

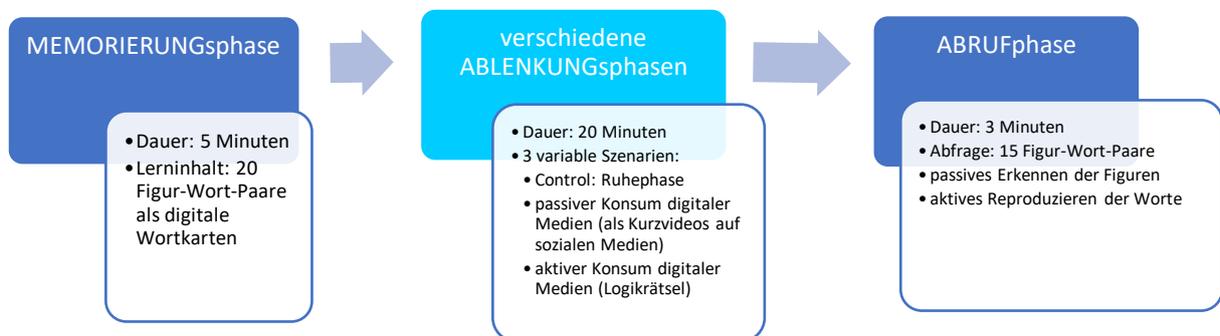


Abbildung 17. Schematische Darstellung des finalen Studienprotokolls mit variabler zweiter Phase zur Testung einer durch Medienkonsum veränderten Gedächtnisleistung.

Aufgrund des Alltagsbezugs zum gymnasialen Lernen stand von Beginn an fest, dass als Ablenkung durch passiven Medienkonsum Kurzvideos auf den sozialen Medien genutzt werden. Eine geeignete, digitale Aufgabe beim aktiven Medienkonsum musste hingegen zuerst gesucht werden. Wie bei den Figur-Wort-Paaren sollte auch hier darauf geachtet werden, dass die Schwierigkeit der zu lösenden Aufgabe für die Probanden möglichst gleich war. Meine ursprüngliche Idee, mein eigenes Verhalten standardisiert zu untersuchen, indem die Probanden digital Schachspielen sollten, musste ich daher verwerfen und auf ein allgemein bekanntes und zugängliches Logikrätsel wie *Sudoku* ausweichen. Sudokus sind Rätsel, bei denen ein 9x9 Gitter unterteilt in neun 3x3 Gitter mit den Zahlen 1-9 ausgefüllt werden muss. Dabei darf jede Zahl pro Spalte, Zeile und pro 3x3 Kästchen nur einmal vorkommen und eine Anfangsbelegung ist vorgegeben. Dies erschien mir als universell bekanntes Logikrätsel, was sich so bei der Durchführung auch bestätigte.

4.1.2. Finales Testverfahren: Vorbereitung und Durchführung

Im Frühjahrsemester 2023 rekrutierte ich für meine empirische Testreihe via einem *google forms* 67 Probanden an der Kantonsschule Freudenberg (KFR). Der Anteil, welcher schlussendlich alle drei Tests absolvierte, lag bei 55, also circa 82 %.

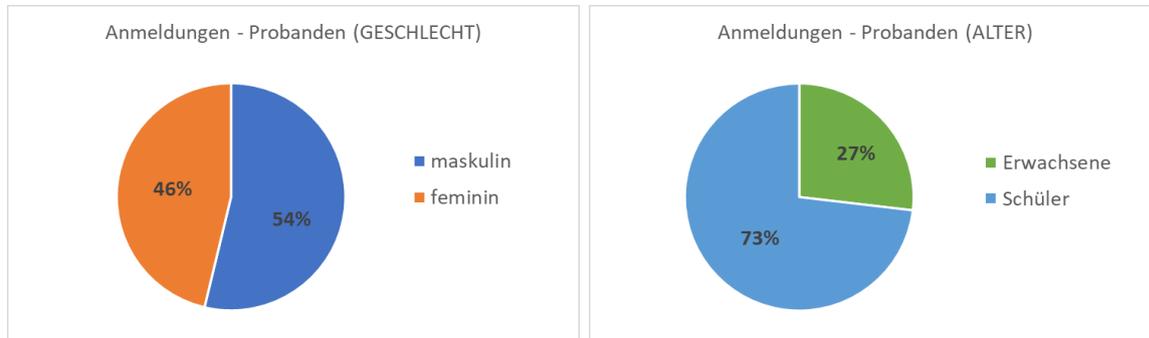


Abbildung 18. Verteilung der Studienteilnehmer gemäss Geschlecht und Alter, bei N=55.

Wie in den beiden Kuchendiagrammen (Abb. 18) ersichtlich, gab es mehr Anmeldungen von SchülerInnen im Vergleich zu Erwachsenen an der KFR. Dies lässt sich durch die grössere Anzahl SchülerInnen (rund 750) im Vergleich zu Erwachsenen (rund 150) an der KFR erklären. Prozentual gesehen haben sich also eigentlich mehr LehrerInnen für die Testungen angemeldet. Die Verteilung nach Geschlecht war hingegen ziemlich ausgeglichen.

Ursprünglich hatte ich errechnet, um die 40 Probanden für meine Studie rekrutieren zu müssen, um einen potenziellen Unterschied als statistisch signifikant bezeichnen zu können. Somit war ich mit 67 Anmeldungen vollkommen zufrieden, auch wenn mehr noch besser gewesen wäre.

Nur bei der Einschreibung wurde zwecks Kontaktaufnahme nach Name, Alter und Mail-Adresse gefragt, alle späteren Untersuchungen wurden stets anonymisiert durchgeführt. In einem zweiten Schritt gab ich die genauen Termine bekannt. Die Testungen fanden in den letzten drei Wochen vor den Sommerferien statt, jeweils montags und mittwochs während der Mittagszeit. Darüber hinaus musste ich auch zwei Nachholtermine nach den Sommerferien anbieten, da einzelne Probanden an Terminen verhindert waren.

Die Testpersonen konnten im Voraus für jede Woche jeweils einen Termin auswählen. Somit lagen zwischen zwei Testungen immer mindestens fünf Tage, normalerweise jedoch eine ganze Woche. Für die Testungen konnte ich ein Zimmer in der Kantonsschule Enge nutzen. Dieses bot genügend Platz für eine derart grosse Zahl an Probanden, verfügte über ein digitales Interface, um QR-Codes einblenden zu können und garantierte eine ruhige Atmosphäre.

4.1.2.1. Ablauf

Ein detaillierter Ablauf findet sich im Anhang (Kp. 10.1.1.), hier sei die Testdurchführung nur kurz zusammengefasst. Die Testreihe umfasste für jeden Probanden drei Termine, mit jeweils Start um 12.30 und geplantem Ende um 13.00. Zur Verhinderung einer hohen Abbruchquote erhielten die TeilnehmerInnen jeweils eine Erinnerungsmail. Für die Testungen brachten die Probanden ein eigenes digitales Gerät mit. Vor Ort wurden die Plätze mit Stift und gegebenenfalls Ohropax vorbereitet und aufgrund der Tageszeit jeweils ein Lunch verteilt. Letzterer sollte auch dazu beitragen, dass die Probanden die Testreihe nicht abbrechen würden.

Vor der allerersten Testung verschickte ich nebst dem Reminder eine Art 'Probe'-Quizlet, welches eine Imitation von drei Karteikarten analog zur späteren Testung enthielt (vgl. Anhang Kp. 10.1.2.). Gemäss Experimentvorgabe sollten die Lerninhalte zwar unbekannt, aber nicht überraschend sein. So konnte eine Demotivation durch Überforderung beim Erstkontakt mit der zu lösenden Aufgabe verhindert werden. Diese Taktik wirkte auch einer möglichen *learning curve* entgegen, welche bei cross-over-Studien oft ein Problem darstellt. Tendenziell gilt eben: Je öfter Probanden eine Aufgabe durchführen, desto bessere Leistungen erbringen sie. Dies würde meine Untersuchung und deren Aussagekraft natürlich torpedieren.

Um die Lernkurve weiter auszugleichen, wurde die Reihenfolge der Testserie bei Probanden, welche einen Termin aufgrund Krankheit oder Vergessen verpassten, etwas abgeändert. Deshalb absolvierten am letzten Termin vor den Ferien nicht alle Probanden den dritten Test, sondern alle sollten bis zu diesem Zeitpunkt den ersten und den zweiten Test geleistet haben. Eine derart veränderte Reihenfolge betraf insgesamt 14 Probanden, also rund 25 % aller Absolventen.

4.1.2.2. Testung 1: Kontrolle mit Ruhephase

Regulär fanden die beiden Testungen 1A und 1B am 26. respektive 28. Juni 2023 statt. Beim Termin 1A waren 31 und beim Termin 1B 18 Probanden anwesend. 6 Personen absolvierten den Test am ersten und weitere 3 am zweiten Nachholtermin (10. und 12. Juli) und 3 weitere Testungen führte ich im privaten Rahmen durch (17. und 26. Juni), was total 61 Absolventen ergab.

Für die erste Testung benötigte ich pro Proband folgendes Material:

- Abfrageblatt zur Testung 1 mit Stift
- Ohropax für die Ruhephase

Bei allen drei Testungen informierte ich die Teilnehmenden zu Beginn anhand einer PowerPoint-Präsentation (vgl. Anhang 10.1.7.) über den Testverlauf. Ausserdem zeigte ich jeweils kurz vor der Memorierungsphase alle Figuren des Datensets, damit die Probanden nicht überfordert sein würden und sich die Zeit richtig einteilen konnten. Darauf blendete ich den QR-Code ein, welcher zum Quizlet führte – damit begann der eigentliche Test. Dieser war wie folgt aufgebaut:

1. Memorierung des Datensets 1 (20 Karteikarten) – 5 Minuten
2. Ruhephase – 20 Minuten
3. Abrufen des Datensets 1 (15 Elemente) – 3 Minuten

Im ersten Teil mussten sich die Testpersonen möglichst viele der 20 Wort-Figur-Paare einprägen und wurden währenddessen zweimal über die verbleibende Zeit informiert. Da die erste Testung später als Kontrolle fungieren sollte, folgte mit der zweiten Phase eine *Ruheperiode*. Die Probanden schalteten sämtliche digitalen Geräte aus und hielten Silentium; die Ohrstöpsel verminderten Ablenkung durch akustische Stimuli.

Gegen Ende der Ruhephase wurden die Abfrageblätter verteilt, auf welchen die Probanden ihre randomisiert zugeteilte Nummer, ihr Alter und ihr Geschlecht eintragen mussten und welche eine Tabelle mit 15 der 20 gelernten Figuren enthielten. Zu diesen Figuren musste jeweils das passende Substantiv notiert werden.

4.1.2.3. Testung 2: Ablenkung durch passiven Medienkonsum

Regulär fand die Testung 2A am 3. und 2B am 5. Juli statt. Am ersten Termin waren 28 Probanden anwesend und zum Testtermin 2B erschienen 21 Absolventen. Die beiden Nachholtermine fanden

zeitgleich mit den regulären Terminen für die dritte Testung vor den Sommerferien statt, am 10. beziehungsweise 12. Juli mit 2 und mit 4 Probanden. Mit den drei wiederum privat durchgeführten Testungen (24. 6. und 3. 7.) resultierten daraus 58 Datenpunkte.

Für die zweite Testung benötigte ich analog zur ersten folgendes Material:

- Abfrageblatt zur Testung 2 mit Stift
- Probanden selbst: Digitales Gerät mit Kopfhörern

Die zweite Testung lief wie folgt ab:

1. Memorierung des Datensets 2 (20 Karteikarten) – 5 Minuten
2. Ablenkung durch den passiven Konsum von Kurzvideos auf den sozialen Medien – 20 Minuten
3. Abrufen des Datensets 2 (15 Elemente) – 3 Minuten

Ich wies die Probanden nach der fünfminütigen Lernphase an, auf Ihren digitalen Geräten die von Ihnen üblicherweise präferierten Plattformen der sozialen Medien zu öffnen, um sich dort *Kurzvideos* anzuschauen. Die Testpersonen durften also frei entscheiden, welche Social-Media-Portale sie nutzen wollten – wobei ich als Beispiele TikTok, Instagram Reels oder YouTube Shorts nannte. Wichtig war – und dies kontrollierte ich auch – dass die Studienteilnehmenden während der gesamten zwanzigminütigen Phase und ohne Unterlass passiv Kurzvideos konsumierten. Ich hatte alle Probanden gebeten, Kopfhörer mitzunehmen und hatte mittels QR-Code für Probanden, welche üblicherweise keine sozialen Medien nutzen, einen Link zu Youtube Shorts eingeblendet, welcher jedoch kaum Verwendung fand.

Die dritte und letzte Phase, die Abfrage, gestaltete sich analog zu Testung 1 und erneut auf Papier. Drei Minuten standen zur Verfügung, um zu den 15 abgefragte Formen das dazu passende Wort zu notieren.

4.1.2.4. Testung 3: Ablenkung durch aktiven Medienkonsum

Am ersten Testtermin 3A, 10. Juli, nahmen 27 Probanden teil und am Termin 3B, 12. Juli, waren es 13. An den beiden Nachholterminen am 28. und 29. August nahmen dann zusätzlich weitere 15 Personen teil. Hinzu kommen die drei Probanden, mit welchen ich die Testung privat am 2. und 10. Juli durchführte, was wiederum total 58 Absolventen ergab.

Für die dritte Testung benötigte ich analog zu den anderen folgendes Material:

- Abfrageblatt zur Testung 3 und enthaltener Fragebogen, Stift
- Probanden selbst: Digitales Gerät

Die letzte Testung gestaltete sich wie folgt:

1. Memorierung des Datensets 3 (20 Karteikarten) – 5 Minuten
2. Ablenkung durch den aktiven Konsum von digitalen Sudokus – 20 Minuten
3. Abrufen des Datensets 3 (15 Elemente) – 3 Minuten
4. Beantwortung des Fragebogens – unlimitierte Zeit

Bei der dritten Testung waren alle Probanden verpflichtet, sich in der zweiten Phase aktiv mit Sudokus zu beschäftigen. Die vorgegebene Website für die Logikrätsel war: www.sudoku.com, da diese auf allen Geräten von jeglichen Anbietern funktionierte. Der Schwierigkeitsgrad war nicht vorgegeben. Ich empfahl jedoch, 'einfach' oder 'mittel' auszuwählen, und wies alle Probanden an, möglichst viele Sudokus zu lösen, um garantieren zu können, dass alle ihre komplette Aufmerksamkeit auf diese Aufgabe richteten.

Die dritte Phase gestaltete sich wiederum gleich wie bei den anderen beiden Testungen. Im Anschluss an die Abfrage wurden die Probanden gebeten, einen auf der Rückseite mitabgedruckten Fragebogen auszufüllen.

4.1.2.5. Fragebogen

Am Schluss der Testreihe wurden mittels Fragebogen weitere Daten erhoben. In dieser Umfrage wurden die Probanden zu ihren Mediennutzungsgewohnheiten befragt. Die Testteilnehmenden mussten ihre Bildschirmzeiten angeben und dabei separat die Zeit auf Sozialen Medien nennen. Weiter wurde um eine Selbsteinschätzung bezüglich erbrachter Lernleistung und Auswirkungen des eigenen Medienkonsums auf die Gedächtnisleistung gebeten. Es wurde auch nach der Beurteilung der Übereinstimmung von Testszenario und Lernalltag gefragt.

Der vollständige Fragebogen ist im Anhang unter Kapitel 10.1.6. zu finden.

4.1.3. Datenerhebung

Die Resultate der empirischen Testreihe wurden bis zum Ende des letzten regulären Testtermins unter Verschluss aufbewahrt und nicht betrachtet, um meine Objektivität als Studienleiter während der Studie nicht zu beeinflussen. Aufgrund zeitlicher Limitationen musste jedoch bereits vor den Nachholterminen mit der Korrektur und Auswertung der Daten begonnen werden.

Dazu wurde eine Excel-Tabelle mit nummerierten Zeilen, entsprechend den Nummern der Probanden, erstellt, in welche die Resultate ohne Kenntnis des Probandennamens eingetragen werden konnten. Im finalen Excel-Worksheet fanden sich 55 vollständige Datensets, welche jeweils die drei Testresultate, das Alter und Geschlecht des Probanden, den durchschnittlichen Medienkonsum und das Ausmass an regelmässiger Nutzung von sozialen Medien und die weiteren Antworten des Fragebogens beinhalteten. Diese Rohdaten finden sich im Anhang (Kp. 10.3.1).

Die endgültigen Daten wurden daraufhin durch externe Prüfung stichprobenartig kontrolliert, um garantieren zu können, dass sich bei der Übertragung keine Fehler eingeschlichen hatten. Zusätzlich wurde für die weitere statistische Auswertung der Datensets ganz auf die Nummern verzichtet, um die Anonymität der Probanden zu garantieren. Ausserdem wurden sowohl während der gesamten Interventionsstudienreihe als auch nach der Auswertung keine persönlichen Resultate kommuniziert.

4.1.4. Datenauswertung und statistische Analyse

Mit den Daten wurde eine ausführliche statistische Auswertung angestellt, um einen potenziellen Unterschied darstellen und auch dessen Signifikanz überprüfen zu können. Hierfür wandte ich eine ANOVA an, kurz für *Analysis of Variance* – Varianzanalyse.

Dabei wird vorerst eine sogenannte *Nullhypothese* (H_0) vorausgesetzt, welche es dann zu widerlegen gilt. Die Nullhypothese bedeutet, dass die drei Mittelwerte der separaten Testungen, abgekürzt mit μ , als gleich angesehen werden. 'Gleich' bedeutet in diesem Kontext, dass deren Unterschiede nicht ausreichen, um einen statistisch signifikanten Unterschied aufzuzeigen. (Gonzalez, 2009)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

wobei μ_1 für den Mittelwert der Resultate (Anzahl an richtig abgerufenen Wort-Figur-Paare) der Gedächtnisleistungstestung des Kontroll-Test steht, μ_2 für den Mittelwert der Resultate nach dem passiven Konsum von Kurzvideos (zweiter Test) und μ_3 für den Mittelwert der Resultate nach dem aktiven Konsum von digitalen Sudokus (dritter Test).

Das 'Ergebnis' einer ANOVA ist der sogenannte p-Wert. Dieser symbolisiert die Wahrscheinlichkeit (aus dem Englischen: *probability*), dass die Nullhypothese zum ausgewählten Signifikanzniveau α zutrifft. Das Signifikanzniveau α wird gemäss wissenschaftlichem Standard bei 0.05 gewählt. Befindet sich der p-Wert unter dem in der Wissenschaft propagierten Schwellenwert von 0.05, bedeutet dies im Umkehrschluss eine über 95-prozentige Wahrscheinlichkeit, dass es beim ausgewählten α eine statistische Signifikanz zwischen den analysierten Mittelwerten gibt.

Die mathematischen Schritte, welche vorgenommen wurden, um die Varianzanalyse für die vorliegende Studie zu berechnen, finden sich in einer detaillierten Fassung im Anhang (Kp. 10.3.2.).

In dieser Arbeit interessierte es mich konkret, wo sich ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Tests und somit auch zwischen den drei unterschiedlich gestalteten Konsolidierungsphasen zeigt (vgl. F1 und F2). Die ANOVA kann dies nicht beantworten und daher führte ich auch sogenannte *post-hoc-Tests* durch. In meinem Fall handelte es sich hierbei um Zweistichproben-t-Tests. Dabei werden auf eine ähnliche, jedoch weniger komplizierte Art und Weise wie bei der ANOVA, jeweils zwei der drei Datensets mit Hilfe einer Nullhypothese verglichen und man prüft einen signifikanten Unterschied, indem man $H_{0.1}$, $H_{0.2}$ und $H_{0.3}$ zu widerlegen versucht. Bei der getätigten Untersuchung müssen drei solche t-Tests durchgeführt werden, beziehungsweise drei *follow-up*-Nullhypothesen untersucht werden, um alle möglichen Relationen innerhalb der als Interventionsstudie durchgeführten Testreihe zu überprüfen. Hinzu kommt, dass eine spezielle Variante des t-Tests angewendet werden muss, welche es erlaubt, sogenannte *abhängige* Stichproben zu vergleichen. Die Stichproben sind deshalb abhängig, da die *memory test*-Reihe gemäss dem cross-over-System so aufgebaut war, dass dieselben Probanden alle drei Testungen durchführten. (Methodenberatung UZH, o.J.)

$$H_{0.1}: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_{0.2}: \mu_1 = \mu_3$$

$$H_{0.3}: \mu_2 = \mu_3$$

Bei den post-hoc-Tests werden alle abgebildeten Nullhypothesen untersucht und eventuell widerlegt.

Mit Hilfe des Fragebogens werden weitere statistische Berechnungen ermöglicht. Die Population kann durch verschiedene Gruppierungsvariablen, wie beispielweise der regelmässige Medienkonsum in verschiedene Subgruppen aufgeteilt werden. Diese werden einer multifaktoriellen ANOVA unterzogen, also untereinander durch eine Vielzahl an ANOVAs verglichen. Ich möchte beurteilen können, welche Faktoren einen Einfluss auf die Erinnerungsleistung haben könnten, unter anderem, um F3 überprüfen zu können.

Dieses auch als *Subgruppenanalyse* bezeichnetes Vorgehen führte ich mit Hilfe der Statistik-Programmier-Software RStudio durch. Das Resultat besteht in diesem Fall aus mehreren p-Werten für die unterschiedlichen Relationen und es kann dann untersucht werden, ob und wo sich weitere signifikante Korrelationen finden lassen. (Methodenberatung UZH, o.J. und McHugh, 2011)

Als Gruppierungsvariablen wurden das Alter, der regelmässige Medienkonsum, der regelmässige Konsum sozialer Medien und erneut der Faktor der verschiedenen Ablenkungen angewendet, analog zu den im Fragebogen gesammelten Daten. Es wurden auch Kombinationen verschiedener Faktoren getestet.

Dabei muss hier vermerkt werden, dass Faktoren wie Medienkonsum, soziale Medien und Alter nicht als numerische Werte verwendet wurden, sondern dass die Population jeweils in zwei Gruppen aufgeteilt wurde. Meist wurde hierzu als Schwellenwert der Median verwendet, um die Population

ungefähr zu halbieren. Beim Alter teilte ich den Datenpool in Erwachsene (Lehrer) und SchülerInnen auf. (gesamtes Kp. 4.1.4.: Gonzalez, 2009)

Der Code für die Subgruppenanalyse in RStudio findet sich im Anhang unter Kapitel 10.3.4.

4.2. Neuroapparative Analyse

Eine neuroapparative Untersuchung sollte eine Methode bieten, die während des Experiments tatsächlich im Gehirn ablaufenden Vorgänge in Echtzeit genauer zur Darstellung zu bringen.

Dafür musste eine angepasste Version der Testreihe gestaltet werden, welche bei laufender neurobiologischer Aufzeichnung durchgeführt werden konnte.

Zur Visualisierung von Gedächtnisprozessen wäre eine Aufnahme eines fMRIs äusserst interessant gewesen, doch leider war es mir nicht möglich, diese Methode auszutesten. Obschon ich im Kontakt mit der Universität Zürich versuchte, ein fMRI durchführen zu können, verunmöglichten die fehlende Kapazität und vor allem die immensen Kosten eine derartige Untersuchung. Da ein PET-Scan noch teurer und unzugänglicher als ein fMRI ist, war auch diese Option nicht umsetzbar.

4.2.1. Vorbereitung und Durchführung der EEG-Untersuchung

Tatsächlich erhielt ich aber die Chance, beim Neurologen Herrn Dr. Joubin Gandjour in seiner Praxis 'Neuromedico' in Pfäffikon (SZ) ein EEG durchzuführen. Das EEG bot während der Aufzeichnung gar die Möglichkeit, sich bewegen zu dürfen, was bei anderen neuroapparativen Untersuchungen, wie unter Kapitel 3.3. besprochen, unmöglich wäre. Da mir 'nur' ein Termin für das EEG zur Verfügung stand, beschloss ich, während dieser Aufzeichnung zwei der drei Tests aus der Interventionsstudie zu absolvieren. Ich wählte hierzu den ersten Test mit Ruhephase, wiederum als Kontrolle, und den zweiten Test mit der Ablenkung durch Kurzvideos aus. Damit lag das Augenmerk auf den potenziellen, neurologisch erkennbaren Unterschieden während der Ruhe- und der Ablenkungsphase durch soziale Medien. Die beiden Tests wurden sequenziell mit einer kurzen Pause dazwischen durchgeführt.



Abbildung 19. Fertig eingerichtete EEG-Haube mit 21 ableitenden Elektroden.

Vor der Messung wurde in einer aufwändigen Prozedur ein EEG mit total 21 Elektroden mit 2 Erdungspunkten und 2 EKG-Elektroden unterhalb des rechten und linken Schlüsselbeins installiert. Die dafür benutzte Technik nennt man das *10-20-System*, eine standardisierte Art der Elektrodenplatzierung. (Jasper, 1958) Das finale Setup des EEGs ist in Abbildung 19 ersichtlich.

Das Aufkleben der Elektroden dauerte 30 Minuten. Die Elektroden wurden in gleichmässigen Abständen auf der Schädeldecke verteilt, um Interferenzen zu verhindern und um die Nachvollziehbarkeit der Messungen zu garantieren.

Eine konduktive Paste, bestehend aus einer gelartigen Flüssigkeit und körnchenartigen Salzkristallen, wurde unter jeder der Elektroden aufgetragen. Dieses Gel sorgt dafür, dass der Widerstand der Haut minimiert wird, indem es dieselbe entfettet. So sinkt der Widerstand auf der normalerweise von

Haaren geschützten Kopfhaut um rund 67 % von 120 k Ω auf 40 k Ω . Dies begünstigt die Aufzeichnung der elektrischen Hirnströme, da diese präziser detektiert werden können.

Die Untersuchung wurde an einem einzigen Abend (19.9.2023) durchgeführt. Zuerst wurden die elektrischen Impulse meines Hirns im Ruhezustand mit geschlossenen Augen während circa 20 Minuten aufgezeichnet. Daraufhin folgte der Ablauf der ersten Testung der Testreihe (vgl. Kp. 4.1.2.2.). Ich hatte 5 Minuten Zeit, um 20 mir unbekannte Figur-Wort-Paare als Karteikarten via Quizlet zu lernen. Hierfür wurde ein iPad verwendet. Nun ruhte ich während 20 Minuten mit durchgängig geschlossenen Augen, bevor zum Schluss eine dreiminütige Abrufphase folgte. Ich konnte meinen Kopf und meine Extremitäten in sitzender Position leicht bewegen, da die Elektroden fest auf meiner Kopfhaut fixiert waren und Mikro-Verschiebungen aufgrund fehlender hoher Auflösung kein grosses Problem darstellen würden.

Im Folgenden hatte ich eine halbstündige Ruhephase eingeplant. In dieser Zeit versuchte ich, meinen Kopf etwas zu 'lüften', um gegenseitige Interferenzen durch die unterschiedlichen Tests zu minimieren, da sie im Gegensatz zur empirischen Studie direkt hintereinander geschaltet werden mussten.

Es folgte der zweite Test (vgl. Kp. 4.1.2.3.), bei welchem ich ein neues Datenset mittels Quizlet lernte. Danach konsumierte ich 20 Minuten lang Kurzvideos auf YouTube Shorts und musste erneut zum Abschluss das Gelernte abrufen.

4.2.2. Datenerhebung

Während all diesen verschiedenen Phasen zeichneten die EEG-Elektroden die elektrische Aktivität im Kortex auf. Die aufgezeichneten Daten werden als EEG-Spektren bezeichnet und bilden die detektierte Stärke der elektrischen Felder in Funktion zur Zeit ab. Einzelne Linien stehen dabei für unterschiedlichen Elektrodenfelder an verschiedenen Positionen auf der Kopfhaut.

4.2.3. Datenauswertung

Da die Interpretation von EEG-Spektren sehr anspruchsvoll ist, werden in der Forschung oftmals komplexe Algorithmen angewendet, um solche Daten zu analysieren. Mir standen solche Möglichkeiten jedoch nicht zur Verfügung, weswegen die Spektren vom betreuenden Neurologen Herr Dr. med. Gandjour hinsichtlich potenzieller Veränderungen interpretiert und analysiert wurden.

5. RESULTATE

Der Datenpool umfasst total 165 Messungen von den einfach verblindeten, visuell-räumlich-verbal-assoziativen *memory tests* aus der Interventionsstudie, 55 komplette Fragebogen und die Aufzeichnungen einer EEG-Untersuchung über 2 Stunden. Im Folgenden soll dargelegt werden, welche Resultate mit Hilfe der statistischen Tests (vgl. 4.1.4. Datenauswertung) aus den Daten herausgefiltert werden konnten.

5.1. Empirische Studie: *memory test*

5.1.1. Auswertung der *memory-test-Reihe*

Nach den drei Testungen wurden unvollständige Datensets ausgeschieden, so sank N_1 (ursprüngliche Anmeldungen)= 68 auf N_2 (vollständige Datensets)= 55. Rund 86 % der initial angemeldeten Probanden komplettierten die Testreihe. Die Ausschlusskriterien dabei waren die Vollständigkeit der Testreihe und die korrekte Auftragsausführung.

5.1.1.1. Effekt von Medienkonsum auf die Erinnerungsleistung

In Anlehnung an das Studiendesign als Interventionsstudie sollten zunächst die Effekte der unterschiedlichen Ablenkungsformen während der drei Testungen in Form der Abrufresultate verglichen werden.

Table 1. Tabelle mit den Mittelwerten der Abrufresultate (Anzahl richtiger Antworten von 15) der drei Testungen, unterschieden nach m/f sowie als Gesamtmittelwerte ($N=55$), und mit den Gesamtmedianen inklusive Standardabweichung. In der vierten Zeile ist der Gesamtmittelwert jeweils als prozentualer Anteil aufgeführt. Neben den drei Spalten für die Testresultate ist ausserdem das mittlere Alter der jeweiligen Gruppe, deren durchschnittlicher Medienkonsum und deren Konsum sozialer Medien abgebildet.

	Resultat Testung 1	Resultat Testung 2	Resultat Testung 3	Alter [a]	Medien konsum [h]	Konsum soziale Medien [h]
Mittelwert Männer [N=28]	11.893	10.786	9.786	27.357	6.143	1.125
Mittelwert Frauen [N=27]	11.222	11.000	9.963	20.481	6.222	1.741
Gesamtmittelwert [N=55]	11.564	10.891	9.873	23.982	6.182	1.427
Gesamtmittelwert [% von max. 15]	77.1	72.61	65.82			
Gesamtmedian ± Standard- abweichung	12 ± 2.5	12 ± 3.15	11 ± 3.6	17 ± 13.43	6 ± 2.63	1 ± 1.35

Bereits anhand der ersten, einfachen statistischen Auswertung resultiert ein Unterschied zwischen den arithmetischen Mitteln der Resultate der drei Tests (oben in Tab. 1 dreifarbig hinterlegt). Der Vollständigkeit halber wurden hier sämtliche Resultate auch geschlechterspezifisch aufgeführt. Aufgrund grösserer Anzahl N sowie paralleler Unterschiede wurde in Folge aber mit den Gesamtwerten gerechnet.

Der Durchschnitt der Testung 1 belief sich, gerundet auf 3 Stellen, auf 11.564 richtige Antworten von 15. Bei Testung 2 betrug er 10.891 und bei Testung 3 lag er bei 9.873. Der Unterschied zwischen den durchschnittlichen Resultaten der Testung 1 und denjenigen der Testung 2 lag bei -4.49 % (in Bezug auf total 15) und zwischen Testung 1 und 3 bei -11.28 %. Die Resultate fielen beim zweiten Test also im Schnitt schlechter aus als beim *control* und in der dritten Testung zeigten sich die tiefsten Werte.

Neben der Berechnung von statistischen Werten wie dem Mittelwert und dem Median mit Standardabweichung wurden die Daten in Boxplots, siehe Abbildung 20, graphisch dargestellt, um deren Verteilung bezüglich Streuung und Symmetrie zu verdeutlichen. (Roeveen, 1986)

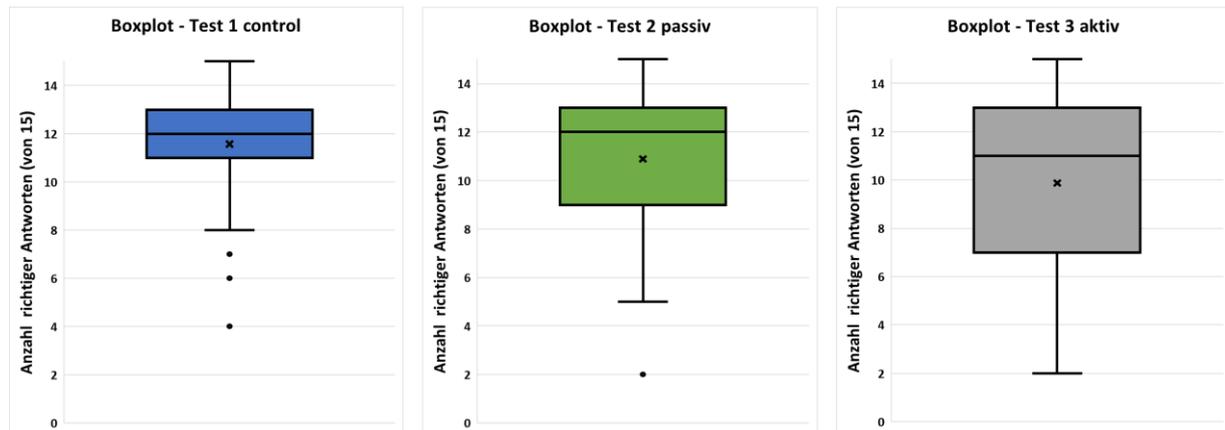


Abbildung 20. Abrufresultate der drei Testungen. Bei Test 1 folgte der Memorierung eine Ruhephase (control-Test), bei Test 2 wurden die Probanden nach dem Lernen durch den passiven Konsum von Kurzvideos abgelenkt und bei Test 3 lösten die Probanden während der Konsolidierungsphase aktiv Sudokus. Die vergleichende Darstellung der Boxplots der Abrufresultate zeigt die Mittelwerte in Form von Kreuzen, den Bereich zwischen den beiden Quartilen als Kasten und den Median als horizontale Linie im Kasten. Die y-Achse zeigt, wie viele der 15 abgefragten Figuren die Probanden korrekt zuordnen konnten.

Die Boxplots werden von Test zu Test weiter und sinken ab. Zusätzlich entfernt sich der Median weiter vom Mittelwert, was von einer unregelmässigeren Verteilung zeugt. Auch graphisch zeigt sich, dass die Probanden nach einem aktiven oder passiven Konsum digitaler Medien im Schnitt schlechter abschnitten als in der Kontrolle. Während die Erinnerungsleistung abnimmt, steigt die Variabilität der Resultate im Verlaufe der Testreihe.

In der ANOVA der Daten, siehe Tabelle 2, ergab sich bei dem Alpha-Level von 0.05 ein p-Wert von 0.000188. Der extrem niedrige p-Wert von unter 0.2 % bedeutet, dass zwischen den drei durchgeführten Tests ein Unterschied von hoher Signifikanz besteht.

Tabelle 2. Resultate der einfaktoriellen ANOVA bei $\alpha=0.05$ zwischen den Resultaten der drei durchgeführten memory tests. Der P-Wert (siehe Spalte 'Pr(>F)') weist hier eine hohe Signifikanz auf (siehe: 'significance code').

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Test	2	79.7	39.86	9.299	0.000188 ***
Residuals	108	462.9	4.29		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

5.1.1.2. Effekt von unterschiedlichem Medienkonsum auf die Erinnerungsleistung

Im *Post-hoc*-Test mit Zweistichproben t-Test für abhängige Stichproben können die Signifikanzniveaus aller möglicher Zweierkombinationen der drei Resultatmittelwerte ermittelt werden. In der Abbildung 21 sind die Unterschiede graphisch dargestellt, die genauen Resultate finden sich in der Tabelle A2 im Anhang Kp. 10.3.3.

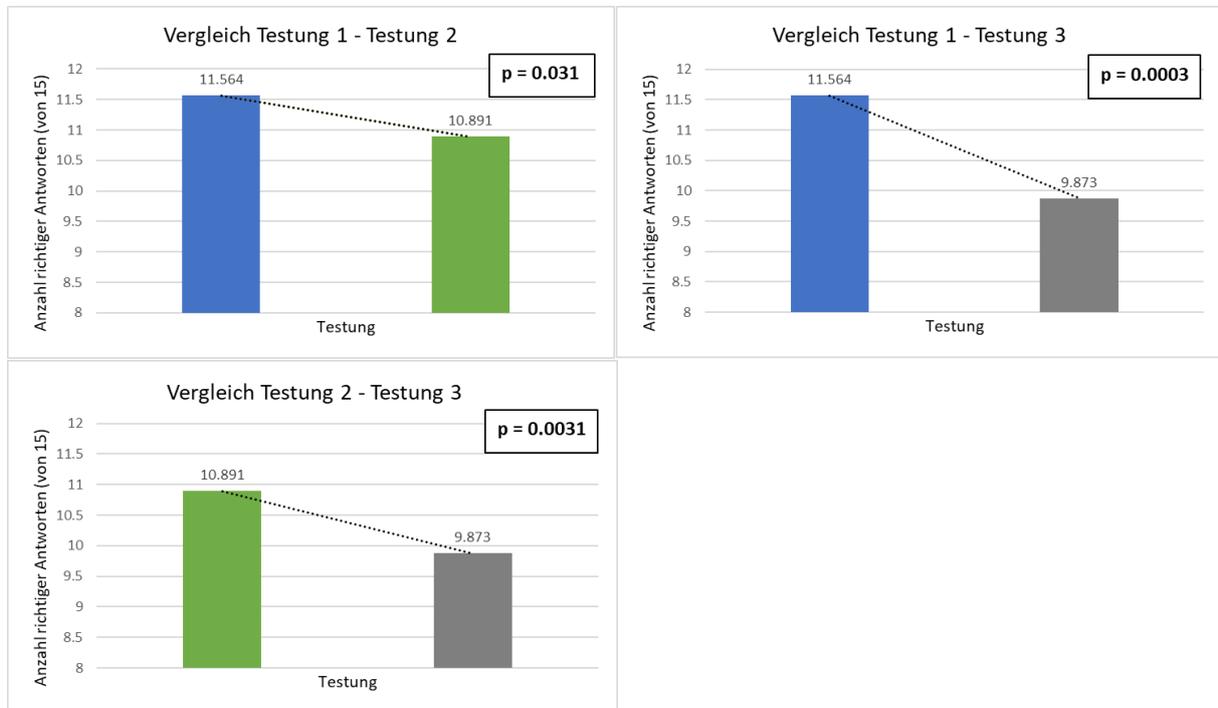


Abbildung 21. Post-hoc-Analyse anhand von drei t-Tests zur Ermittlung der Signifikanz aller möglichen Zweierkombinationen der drei Resultatmittelwerte der durchgeführten Testungen. 'P' steht für den P-Wert ($T < t$) einseitig bei $\alpha = 0.05$. Der blaue Balken steht für die Kontrolltestung (1), der grüne für den Test mit passivem (2) und der graue für den Test mit aktivem (3) Medienkonsum.

Die post-hoc-Untersuchung zeigt, dass die Abnahme der Anzahl richtig abgerufener Wort-Figur-Paare von Test 1 zu Test 2 mit $p=0.031$ signifikant ist, ebenso die Abnahme von Test 2 zu Test 3 mit $p=0.0003$. Auch die Abnahme von Test 2 zu Test 3 ist mit $p=0.0031$ signifikant. Die Nullhypothese kann also mit einer grossen Wahrscheinlichkeit komplett abgelehnt werden, denn die p-Werte befinden sich stets unter dem kritischen Schwellenwert von 0.05. So kann als finale Hypothese H_{final} festgehalten werden:

$$H_{final}: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Die Mittelwerte der Resultate aus Test 1 mit der Kontroll-Phase, aus Test 2 mit der Ablenkung durch den passiven Konsum von Kurzvideos und aus Test 3 mit der Ablenkung durch den aktiven Konsum von Sudokus sind also allesamt signifikant unterschiedlich beziehungsweise haben alle einen signifikant unterschiedlichen Einfluss auf die Erinnerungsleistung.

5.1.1.3. Effekt von regelmässigem Medienkonsum auf die Erinnerungsleistung

Weitere Faktoren, welche die Resultate der Tests beeinflussen können, analysierte ich mit Hilfe einer Subgruppenanalyse (vgl. Kp. 4.1.4.). Unter anderem wollte ich in Bezug auf F3 untersuchen, ob der regelmässige Konsum digitaler Medien einen Einfluss auf die Leistungen der Probanden hatte.

Als Gruppierungsvariablen wurden daher der regelmässige Medienkonsum, sowie der darin enthaltene regelmässige Konsum sozialer Medien, das Alter und erneut der Faktor der verschiedenen Ablenkungen verwendet. Es wurden auch Kombinationen verschiedener Faktoren getestet. Die Resultatübersicht aller p-Werte zu den Gruppierungsvariablen findet sich im Anhang Kapitel 10.3.5.

Die Population wurde bei der Gruppierung nach 'Medienkonsum' in eine Subgruppe mit «viel» und eine mit «wenig» aufgeteilt, wobei der Schwellenwert bei 6 Stunden lag. Beim 'Konsum sozialer Medien' wurde zwischen Nutzer mit «viel» und solchen mit «wenig» durchschnittlicher Zeit auf diesen Plattformen unterschieden, wobei der Schwellenwert hier bei 1 Stunde lag. Damit beide Subgruppen ähnlich gross sind, entsprechen die *thresholds* den Medianen, die in Tabelle 1 ersichtlich sind.

Zwischen den beiden 'Medienkonsum'-Subgruppen lassen sich in Bezug auf die Mittelwerte der Abrufresultate in den unterschiedlichen Tests die in Abbildung 22 dargestellten Unterschiede ausmachen.

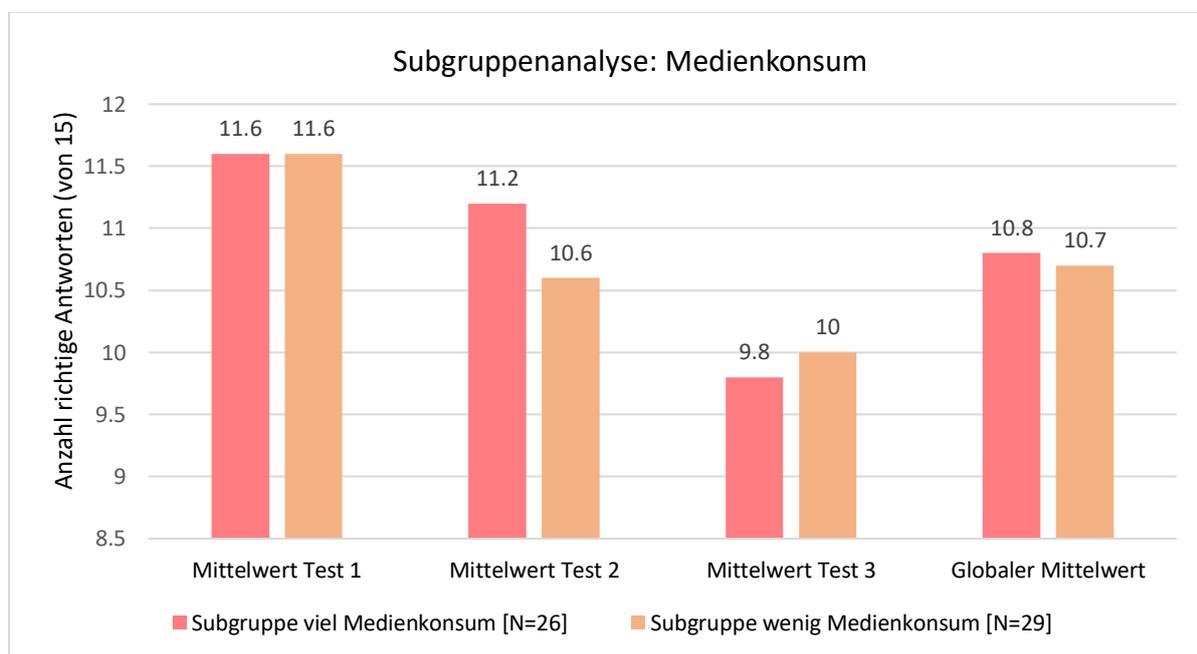


Abbildung 22. Mittelwerte der Testresultate der nach regelmässigem Medienkonsum aufgeteilten Subgruppen. Die Aufteilung in viel/wenig basiert auf dem Schwellenwert 6h/Tag.

Die Kontrolltestung zeigt keinen Unterschied zwischen den Subgruppen – identischer Mittelwert von 11.6. Bei Testung 2 erzielten Probanden mit weniger regelmässigem Medienkonsum durchschnittlich 10.6 korrekte Antworten, gegenüber 11.2 bei Probanden mit viel Medienkonsum. Bei der Testung 3 zeichnet sich ein kleinerer Unterschied ab (9.8 versus 10). Auch beim globalen Mittelwert unterscheiden sich die beiden Subgruppen kaum (10.8 versus 10.7).

In Bezug auf die Subgruppen mit viel und wenig Konsum sozialer Medien, siehe Abbildung 23, lassen sich folgende Unterschiede erkennen. Der Mittelwert der richtigen Antworten der Subgruppe mit viel Konsum sozialer Medien (vKsM) liegt bei Testung 1 bei 11.8, im Gegensatz zu 11.4 bei der Subgruppe mit wenig Konsum sozialer Medien (wKsM). Bei der Testung 2 erzielten die Probanden mit vKsM durchschnittlich 11.2 versus 10.6 bei den Personen mit wKsM. Der deutlichste Unterschied zeigt sich bei Testung 3 – 10.4 (vKsM) versus 9.4 (wKsM). Global erreichten Personen mit vKsM im Schnitt 11.1 richtige Antworten, im Verhältnis zu 10.4 bei Probanden mit wKsM.

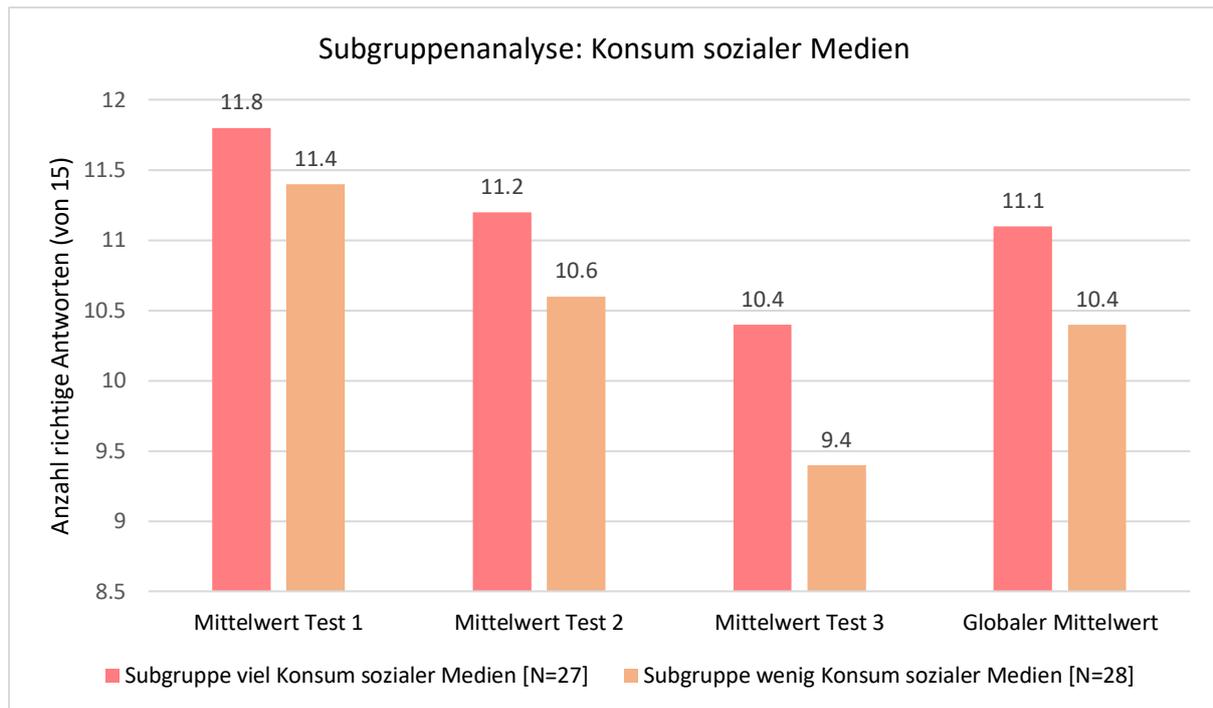


Abbildung 23. Mittelwerte der Testresultate der nach regelmässigem Konsum sozialer Medien aufgeteilten Subgruppen. Die Aufteilung in viel/wenig basiert auf dem Schwellenwert 1h/Tag.

Die durchgeführte Interventionsstudie macht deutlich, dass sich die Leistungen der Subgruppen im Mittel bei Test 1 praktisch nicht und bei den Testungen mit Intervention (2 und 3) deutlich unterscheiden. Ein hoher Medienkonsum (allgemein digitale Medien und speziell soziale Medien) korreliert meist mit besserem Abschneiden in den Tests mit digitaler Ablenkung.

In der multifaktoriellen ANOVA liessen sich diese Unterschiede jedoch nicht als signifikant nachweisen.

5.1.1.4. Weiterführende Auswertung

Neben dem bereits beschriebenen, hochsignifikanten Unterschied zwischen den Resultaten der drei verschiedenen Testungen fand sich in der multifaktoriellen ANOVA auch in der Kombination der Faktoren 'Alter' und 'Test' eine Signifikanz. Der p-Wert lag bei 0.38. Weiter befand sich der p-Wert beim Effekt 'Alter' sehr nahe an der kritischen Schwelle von 0.1, so kann man auch diesen Faktor, zwar mit etwas grösserer Vorsicht, als signifikant ansehen. Diese drei Effekte inklusive ihrer p-Werte sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3. Subgruppenvarianzanalyse: Darstellung der als signifikant bestimmten Einflussgrössen (Spalte 'Effect') auf das getestete Erinnerungsvermögen und deren P-Werte (Spalte 'p-value'), Auszug aus RStudio, vollständige Tabelle siehe Anhang Kapitel 10.3.5.

Effect	p-value
Alter	0.109
Test	< 0.001
Alter + Test	0.038

Die Signifikanz in Bezug auf das Alter zeigt sich, wenn man die Testresultate der beiden nach Alter aufgeteilten Subgruppen miteinander vergleicht, siehe Abbildung 24. In Bezug auf das Alter wurden die Datenpunkte in die beiden Subgruppen u30 und ü30 aufgeteilt, Lehrer- und SchülerInnen. Es zeigt sich, dass jüngere (u30) Probanden mit einem Durchschnitt von 11.06 global durchschnittlich mehr richtige Antworten erreichten als ältere (ü30) Personen, welche 10.1 erzielten. Betrachtet man die Testungen

separat, zeigen sich vor allem bei den Interventionstestungen (2 & 3) Unterschiede. Bei Testung 2 erzielten jüngere Probanden durchschnittlich 11.15 richtige Antworten gegenüber 10.25 bei älteren Personen. In Testung 3 war die Differenz am deutlichsten: 10.46 (u30) versus 8.44 (ü30). Beim Kontroll-Test zeigte sich hingegen kein Unterschied.

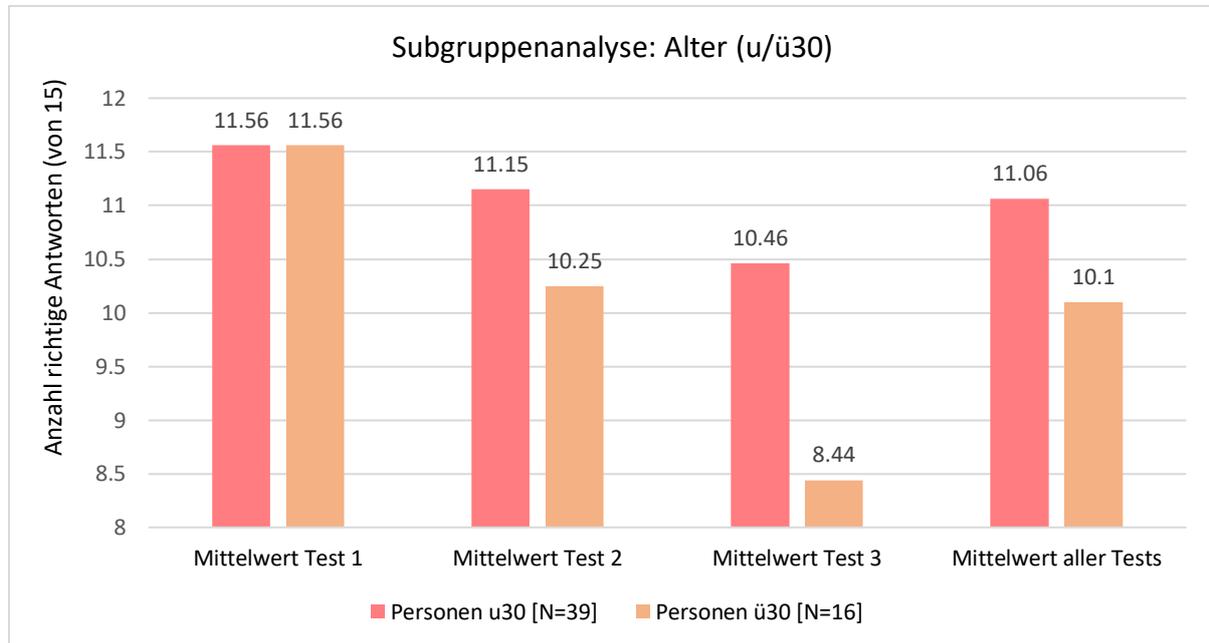


Abbildung 24. Mittelwerte der Testresultate der nach Alter aufgeteilten Subgruppen. Die Aufteilung in jung/alt basiert auf dem Schwellenwert 30 Jahre.

5.1.2. Auswertung des Fragebogens

Nach den Fragen zu den digitalen Medien-nutzungsgewohnheiten erkundigte sich der Fragebogen in der vierten Frage nach der Selbsteinschätzung der Probanden bezüglich ihrer besten Testleistung (vgl. Anhang Kp. 10.1.6.). Rund 64% aller Probanden vermuteten, bei der ersten Testung am besten abgeschnitten zu haben. Ein Viertel (25 %) schätzte, bei der zweiten Testung am besten gewesen zu sein. Um die 5 % aller Personen schätzten ihre Leistung beim dritten Test als ihre beste ein und weitere 5 % gaben an, bei allen drei Testungen gleich gut abgeschnitten zu haben, siehe Abbildung 25.

Dieses Resultat deckt sich mit der post-hoc-Auswertung, welche besagt, dass es beim *control* Test mit Abstand die meisten richtigen Antworten gab.

Die beiden Diagramme unten (Abb. 26 und 27) stellen die Meinung der Probanden bezüglich des Einflusses sozialer Medien nach dem Lernen sowie

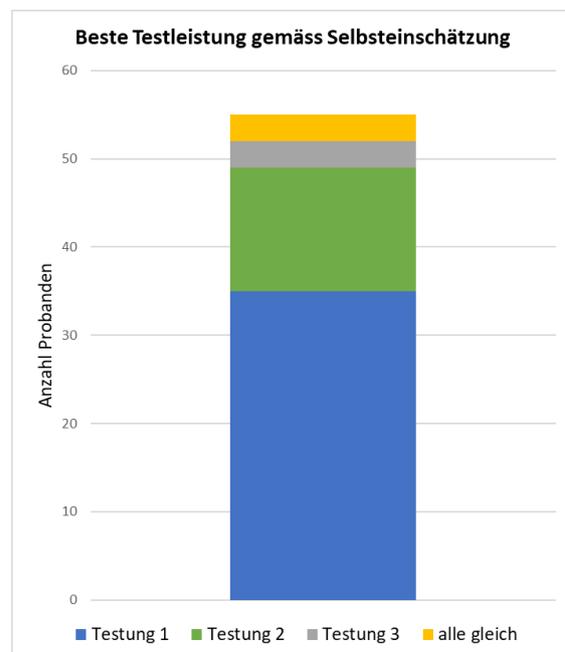


Abbildung 25. Subjektive Selbsteinschätzung der Probanden ihrer besten Testleistung. Die vier Optionen waren Test 1-3 (blau, grün und grau dargestellt) und eine gleichbleibende Leistung (gelb).

der grundsätzlichen Möglichkeit der nachträglichen Beeinflussung ihres Erinnerungsvermögens an zuvor Gelerntes dar.

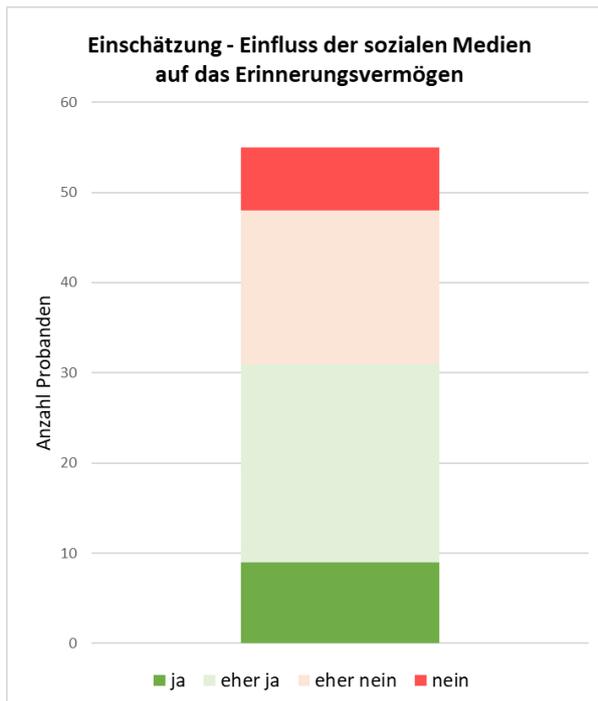


Abbildung 26. Subjektive Beurteilung des Effekts der sozialen-Medien-Nutzung auf die eigene Erinnerungsleistung. Zur Auswahl standen die Optionen ja (dunkelgrün), eher ja (hellgrün), eher nein (hellrot) und nein (rot).

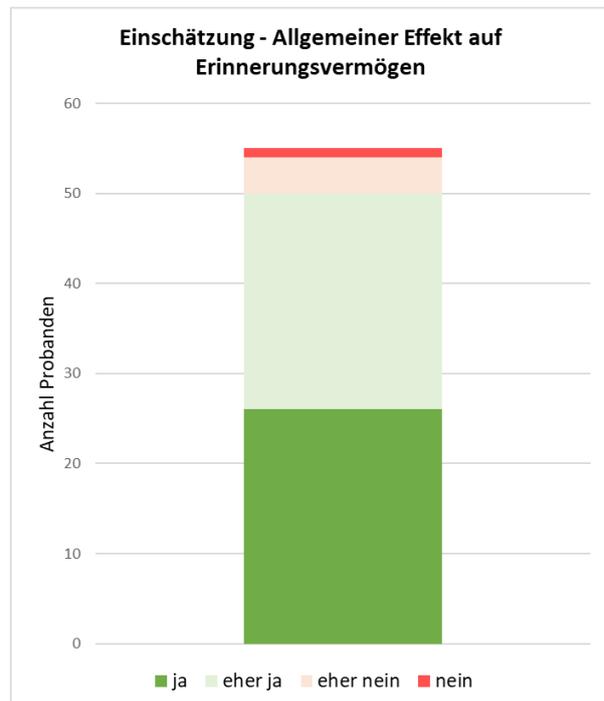


Abbildung 27. Subjektive Beurteilung eines grundsätzlichen, nachträglichen Effekts einer Ablenkung auf bereits Gelerntes. Zur Auswahl standen die Optionen ja (dunkelgrün), eher ja (hellgrün), eher nein (hellrot) und nein (rot).

Eine knappe Mehrheit von insgesamt 56 % antwortete mit ja oder eher ja (ja: 16%, eher ja: 40%) auf die Frage, ob der Konsum von sozialen Medien nach dem Lernen einen negativen Einfluss auf die Leistung des Gedächtnisses hat (vgl. Abb. 26). 31 % Prozent der Probanden sagten, dass der nachträgliche Konsum sozialer Medien eher keinen Einfluss auf die Erinnerungsleistung hat. Bloss 13 % aller Probanden schlossen einen Einfluss gänzlich aus.

Insgesamt über 90 % aller Probanden wählten bei der Frage, ob gelernte Inhalte generell nachträglich beeinflusst werden können, ja (47 %) oder eher ja (44 %) aus (vgl. Abbildung 27).

In Abbildung 28 wurden die Antworten der Probanden auf die Frage 'Meinen Sie, das Testszenario bildet Ihren (Lern-)Alltag ab?' festgehalten. Ungefähr drei Viertel, 71 %, beurteilten das Testszenario als sehr oder relativ realistisch und alltagsbezogen (11% und 60 %). Der restliche Viertel empfand das Szenario als weniger oder gar nicht relevant (20% und 9 %).

Die beiden Abbildungen 29 und 30 zeigen die Antworten auf dieselbe Frage nach der Realitäts- und Alltagsnähe der Testungen aufgeteilt in die zwei Subgruppen u30 und ü30.

Abbildung 29 zeigt, dass das designte Testszenario von jugendlichen Personen als wirklichkeitsnah aufgefasst wird. 82% (also 32 Probanden) fanden die Testungen nämlich sehr oder relativ alltagsbezogen (10% und 72%), während bloss 18% (7 Probanden) das Testszenario als etwas unrealistisch einschätzten.

In Abbildung 30 sind die Antworten der Personen ü30 abgebildet. Hier lässt sich ablesen, dass das Testszenario für Personen dieser Altersgruppe – grösstenteils Lehrer – eher nicht alltagsbezogen ist. Insgesamt beantworteten 59 % der befragten ü30- Probanden die Frage mit nein oder eher nein (35 % und 24 %). Um die 29 % antworteten mit «eher ja» und bloss 12 % mit «ja».

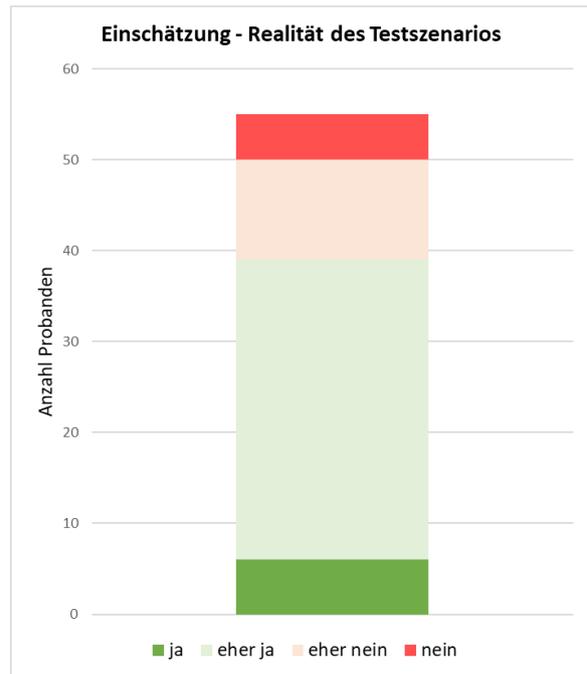


Abbildung 28. Subjektive Beurteilung der Realitäts-/Alltagsnähe im Testverfahren. N = 55. Zur Auswahl standen die Optionen ja (dunkelgrün), eher ja (hellgrün), eher nein (hellrot), nein (rot).

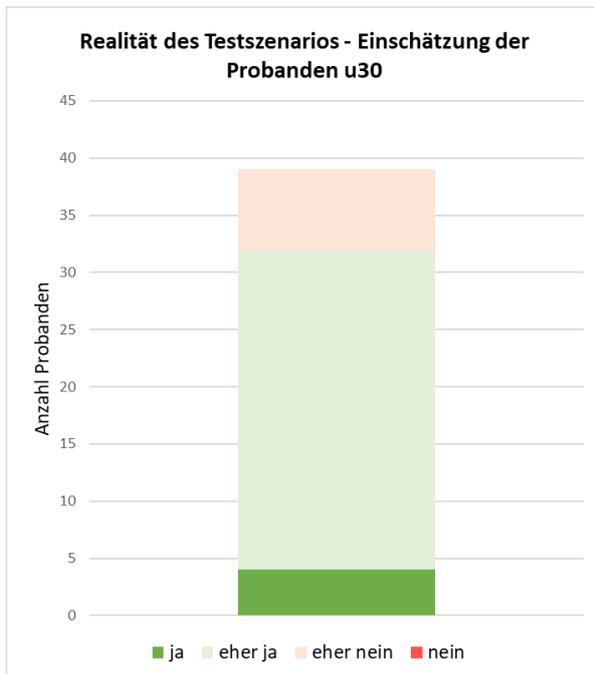


Abbildung 29. Subjektive Beurteilung der Realitäts-/Alltagsnähe im Testverfahren durch Probanden im Alter von u30 Jahren. N = 39. Zur Auswahl standen die Optionen ja (dunkelgrün), eher ja (hellgrün), eher nein (hellrot), nein (rot).

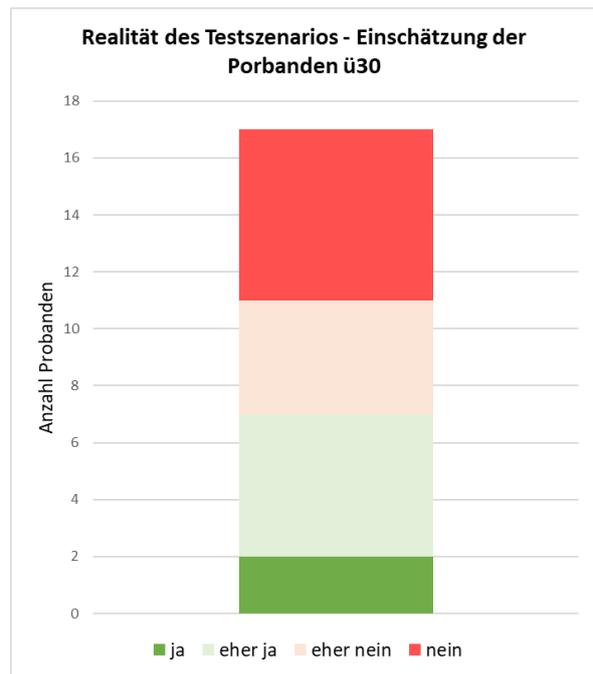


Abbildung 30. Subjektive Beurteilung der Realitäts-/Alltagsnähe im Testverfahren durch Probanden im Alter von ü30 Jahren. N = 16. Zur Auswahl standen die Optionen ja (dunkelgrün), eher ja (hellgrün), eher nein (hellrot), nein (rot).

5.2. Neuroapparative Analyse

Nach der Durchführung des EEGs entstanden digitale EEG-Spektren über den gesamten, abgeleiteten Zeitraum. In Abbildung 31 sind die verwendeten EEG-Elektroden mit Beschriftungen gemäss dem 10-20-System schematisch abgebildet. So lassen sich Teile der EEG-Spektren den Regionen des Kortex zuordnen.

Im Ruhe-EEG bei geschlossenen Augen zeigt sich, wie in Abbildung 32 ersichtlich, im abgeleiteten EEG und den dazugehörigen Spektren ein normaler Alphagrundrhythmus mit einer Frequenz von circa 10.5 Hz. Die schwarzen, gezackten Linien entsprechen den Aufzeichnungen der Elektroden. Die grüne Linie am unteren Ende der Abbildung zeigt das EKG (Elektrokardiogramm), welches standardmässig mitaufgezeichnet wird.

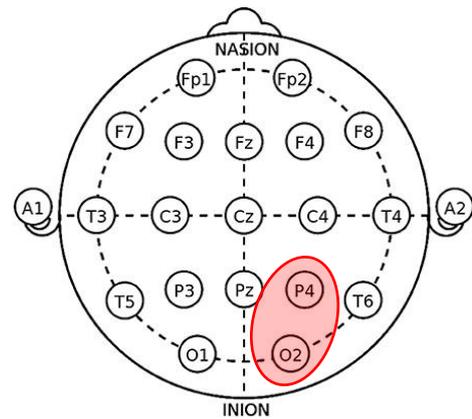


Abbildung 31. Das internationale 10-20-System für die Platzierung von EEG-Elektroden. Rojas, G.M., et al. 2018. Die rote Markierung zeigt einen Elektrodenbereich (P4-O2) über dem visuellen Kortex.

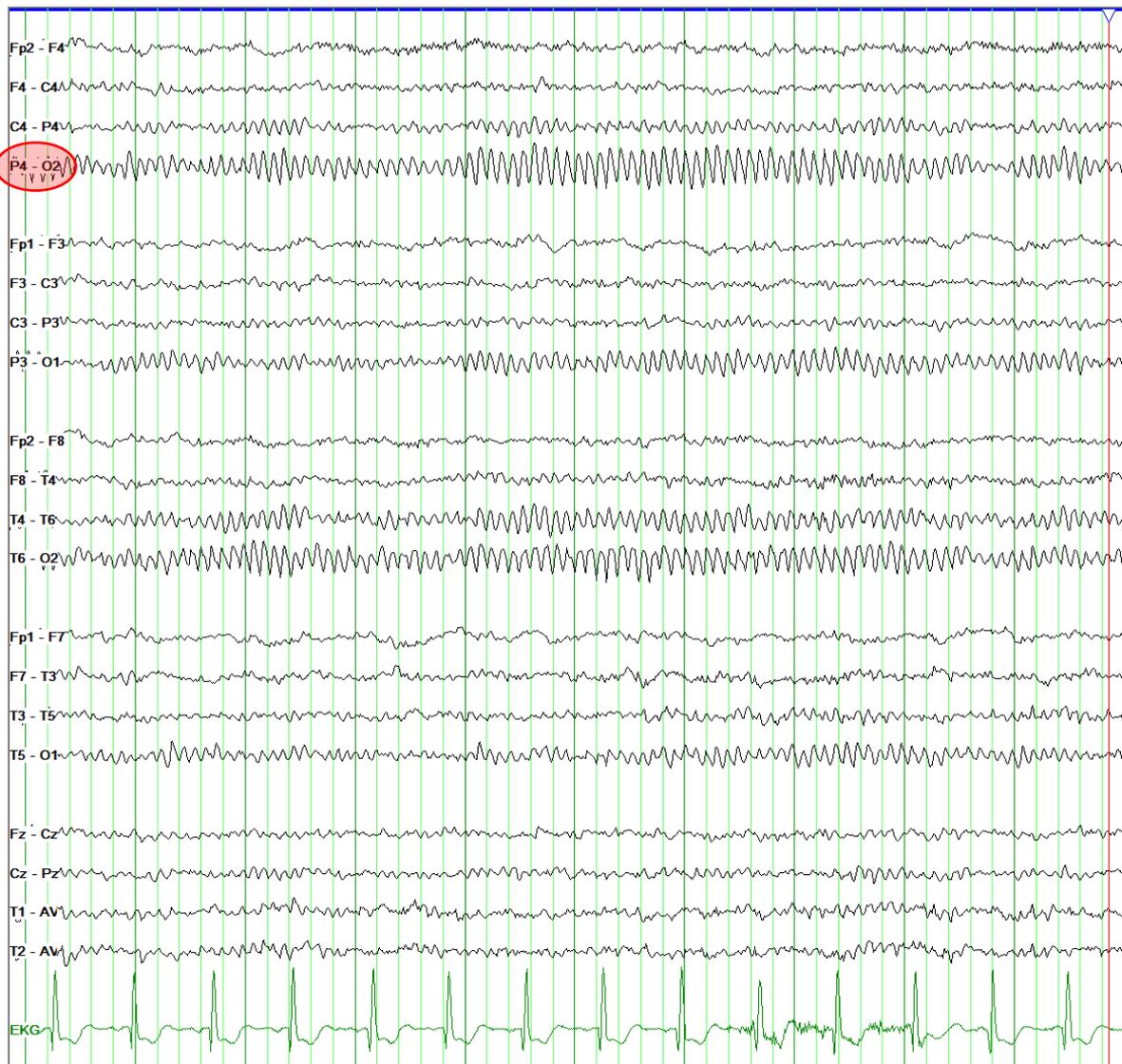


Abbildung 32. EEG-Spektrum vom 19.9.2023 vor dem Start des memory tests, als Null-Linie bei geschlossenen Augen. Die Graphik stellt die detektierten Feldstärken der unterschiedlichen Elektroden im Verlauf der Zeit dar. Rote Markierung = P4-O2.

Wenn man den Elektrodenbereich P4-O2 (siehe rote Markierung in Abb. 32) betrachtet, lässt sich in dieser Phase ein deutlich sichtbarer Alpha-Grundrhythmus mit einer Frequenz von 10-11 Hz erkennen. Dieser befindet sich am Hinterkopf und 'beobachtet' somit den okzipitalen Teil des Kortex (vgl. oben Abb. 31), also vor allem das visuelle Zentrum. Der klar sichtbare Grundrhythmus deutet darauf hin, dass der visuelle Kortex wenig aktiv war, was sich durch meine geschlossenen Augen in dieser Phase erklären lässt. Der primäre visuelle Kortex V1 zeigt bei fehlenden visuellen Stimuli kaum neuronale Signale.

Dies wird noch deutlicher, wenn man in den Spektren aus der nächsten Phase, siehe Abbildung 33, während welcher ich die Karteikarten des ersten Datensets memorierte, wiederum denselben Elektrodenbereich P4-O2 betrachtet.

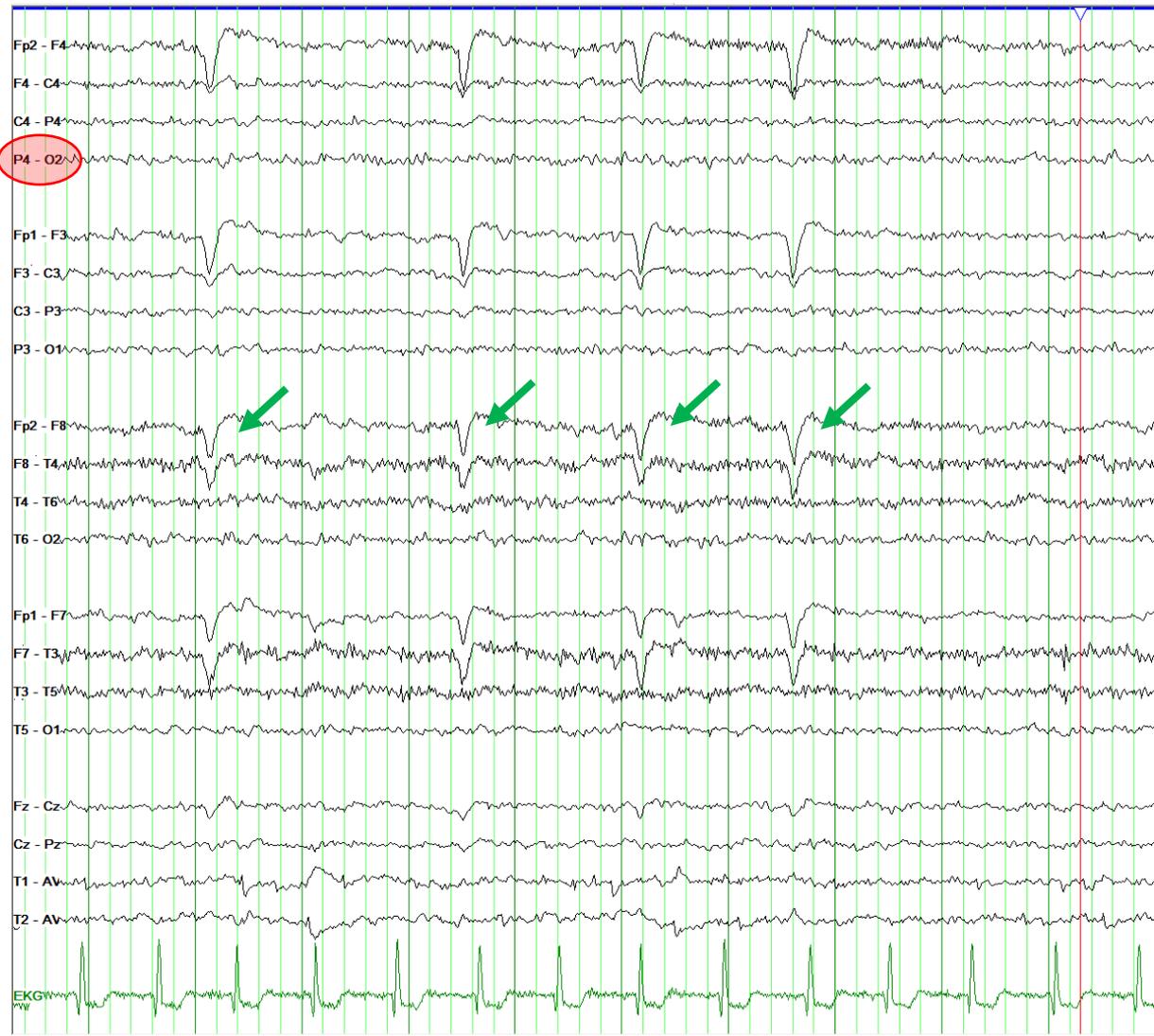


Abbildung 33. EEG Kurve vom 19.9.2023 während der Memorierungsphase im Kontrolltest, die Graphik stellt die detektierten Feldstärken der unterschiedlichen Elektroden im Verlauf der Zeit dar. Rote Markierung = P4-O2, grüne Pfeile = Beispiele für Blinzelartefakte.

Es zeigt sich bei diesem Elektrodenbereich kaum mehr ein Grundrhythmus, das Alpha-Muster ist verschwunden. Damit liegt eine hohe Aktivierung des visuellen Kortex aufgrund der geöffneten Augen und der visuellen Reize vor, welche beim Lernen der Karteikärtchen mit Wort-Figur-Paaren auf einem Tablet entstehen.

Ausserdem erkennt man hier sogenannte *Artefakte* (in der Abbildung 33 mit grünen Pfeilen gekennzeichnet). Artefakte sind untypische, extreme Ausschläge in einem EEG, welche sich nicht durch neurobiologisch-elektrische Hirnaktivität erklären lassen. In diesem Fall stammen sie vom Lidschlag beim Blinzeln. Die Muskeln werden durch ein elektrisches Nervensignal aktiviert, welches auch von den hochsensiblen Elektroden des EEGs detektiert wird. Beispielsweise registrierten Fp1-F3 und Fp2-F4 einen besonders heftigen Ausschlag der elektrischen Felder (vgl. Abb. 34, grüne Pfeile), da diese Elektroden sehr nahe bei den Augenlidern liegen (vgl. Abb. 31).

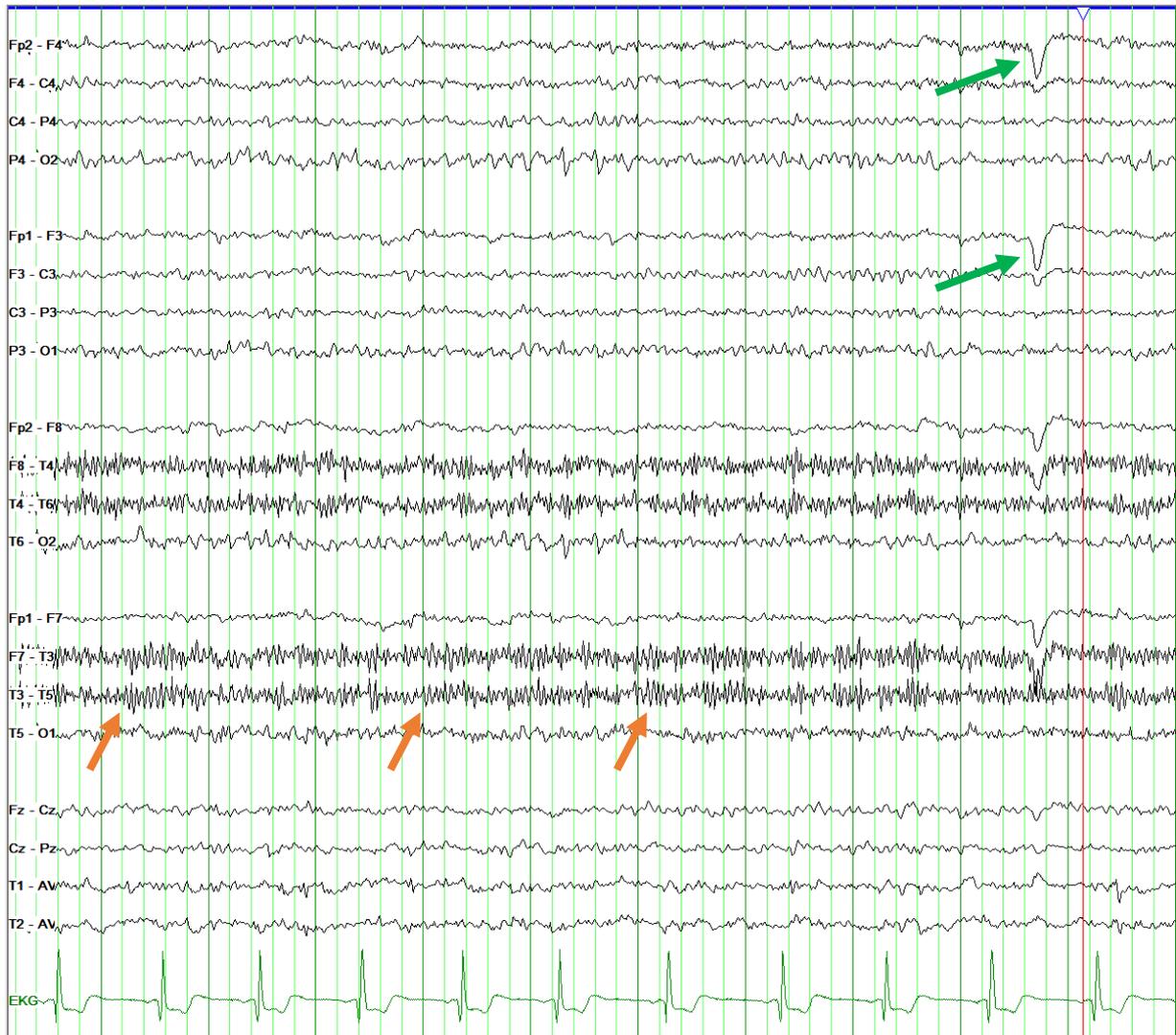


Abbildung 34. EEG Kurve vom 19.9.2023 während der Interventionsphase mit Kurzvideos. Die Graphik stellt die detektierten Feldstärken der unterschiedlichen Elektroden im Verlauf der Zeit dar. Grüne Pfeile = Blinzlerartefakte; orange Pfeile = sonstige Muskelartefakte über den Schläfen.

Eine weitere Aufzeichnung waren beidseitige Muskelartefakte über den Schläfen (vgl. orange Pfeile in Abb. 34) während der Ablenkungsphase der zweiten Testung, also während des passiven Konsums digitaler Medien, wie sie in diesem EEG-Spektrum zu sehen sind (vgl. Abb. 34). Diese sind vermutlich auf eine Verspannung der Nackenmuskulatur zurückzuführen. Ersichtlich sind sie vor allem in den Elektrodenbereichen F8-T4, T4-T6, F7-T3 und T3-T5.

6. DISKUSSION

Nach der Präsentation der Studienresultate sollen diese im Folgenden erläutert und kritisch beurteilt werden.

Die Analysen und möglichen Interpretationen der Resultate erfolgen entsprechend den formulierten Fragestellungen (F1-F4). Dabei sollen auch die Hypothesen (H1-H4) breiter diskutiert werden.

6.1. Empirische Studie: *memory test*

Die **Hypothese 1** kann mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit als richtig angesehen werden. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der durchschnittlichen Erinnerungsleistung der Probanden in der Abfrage bei Test 2 und der Kontrolltestung. Nach dem Konsum von Kurzvideos auf den sozialen Medien konnten sich die Probanden im Schnitt an 10.9 Figuren erinnern, wobei dieser Wert bei der Kontrolltestung bei über 11.5 lag. Dies bedeutet, dass H1 **beibehalten** werden kann, da sie in meiner Studie nicht widerlegt werden konnte.

Durch das Studiendesign als kontrollierte Interventionsstudie lässt sich aus diesem Resultat ein deutlicher negativer Zusammenhang zwischen dem Konsum sozialer Medien und dem Erinnerungsvermögen an kurz zuvor memorierte Inhalte feststellen. Die Kausalität für diesen Zusammenhang kann aufgrund der Signifikanz der erhobenen Resultate mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden.

Wenn in der Konsolidierungsphase nach dem Lernen eine Ablenkung durch Kurzvideos erfolgt, führt dies also wahrscheinlich dazu, dass sich die Probanden Lerninhalte weniger einprägen können. Die Ruhephase nach dem Lernen, wie in der Kontrolltestung, dürfte ein kurzfristiges *rehearsal* ermöglichen, da die Gedanken bei sonstiger ‚Leere‘ eher zum soeben Gelernten schweifen. Das Gehirn könnte sich damit weiterhin auf die Lerninhalte ‚konzentrieren‘, was in der zentralen Exekutive des Arbeitsgedächtnisses dazu führen würde, dass diese Inhalte als wichtig angesehen würden. Der Prozess der Übertragung in den langzeitigen semantischen Speicher würde initiiert. Durch eine mentale Wiederholung der gelernten Inhalte werden die synaptischen Verbindung gemäss des Prinzips von Hebb nachhaltiger verändert und bleiben deswegen auch nachhaltiger bestehen.

Diese Vermutung stimmt mit der Forschung von Jenkins et al. überein, welche bereits vor hundert Jahren ergab, dass gelernte Inhalte im Schlaf also in Ruhe besser konsolidiert werden können (Jenkins, 1924). Weiter wurde mir von mehreren Probanden berichtet, dass die Ruhephase ein mentales Repetieren ermöglichte und induzierte.

Dieses subjektive Empfinden bestätigt sich auch in den Resultaten der Befragung, in welcher eine Mehrheit schätzte, den ersten Test am besten reüssiert zu haben (vgl. Abb. 25). Mit dem Blick auf den Zeitpunkt der Beantwortung des Fragebogens, am Ende der ganzen Testreihe, lässt sich feststellen, dass sich eine überwiegende Mehrheit einer unterschiedlichen Testleistung in jedem Test bewusst war. Zum Teil fusst diese Annahme wohl auch auf der Erfahrung, beim ersten Test die Inhalte besser konsolidiert zu haben.

Das mehrkanalig aktivierend wirkende Konsumieren von Kurzvideos hingegen könnte als regelrechter *attention grabber* den nachträglichen Fokus auf Gelerntes eher behindern und damit dessen Abspeicherung negativ beeinflussen. Wenn man sich den Konsum von Kurzvideos vor Augen führt, ist es naheliegend, dass dabei vor allem audiovisuelle Reize im Gehirn verarbeitet werden. Dies geschieht

vornehmlich temporal und okzipital, dem audiovisuellen Kortex. Überlegt man hier weiter, dass soziale Medien oft einen individuellen Kontext aufrufen, könnte diese emotionale Beteiligung den Probanden zusätzlich ablenken. Denn soziale Medien basieren auf der emotionalen Stimulierung der Konsumenten, indem für diese interessante Inhalte ausgewählt und präsentiert werden (vgl. Prinzip der *For-You-Page*). Dies müsste freilich mit weiteren wissenschaftlichen Studien, die den Zusammenhang zwischen sozialen Medien und der emotionalen Stimulierung der Nutzer untersuchen, vertiefter überprüft werden.

Anders als die erste muss die **zweite Hypothese abgelehnt** werden. Meine ursprüngliche Annahme, dass eine als ‚sinnvoll‘ angesehene Beschäftigung wie das Lösen von Sudokus keinen oder gar einen positiven Einfluss auf das Erinnerungsvermögen hätte, muss als falsch angesehen werden. Denn die Probanden konnten sich nach dem intensiven Lösen von Sudokus an noch weniger Inhalte erinnern als bei Test 1 und 2. Auch diese Unterschiede sind statistisch signifikant. Wie bereits bei H1 untermauert dieses Resultat die mögliche Erklärung, dass die Ablenkung beziehungsweise die Konzentration auf eine andere Beschäftigung während der Konsolidierungsphase zu einer wesentlich schlechteren Erinnerungsleistung führen könnte. Das Lösen von Sudokus verlangt aufgrund derer komplexen mathematisch-logischen Struktur und der aktiven Interaktion wesentlich mehr Hirnleistung, also Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, als passives Konsumieren. Zahlen und Überlegungen müssen gespeichert, Berechnungen und logische Operationen durchgeführt werden, wodurch der Fokus noch mehr von den gelernten Inhalten abschweift als beim passiven Konsum von Kurzvideos. So könnten die memorierten Inhalte synaptisch nicht oder weniger konsolidiert werden und die Erinnerungsleistung fällt geringer aus.

Bei der Formulierung von H2 habe ich mich davon täuschen lassen, dass scheinbar sinnvolle und ‚intelligente‘ Aufgaben, wie eben ein Sudoku zu lösen, die Erinnerungsleistung positiv beeinflussen müssten. Ein aktiver Konsum einer gemeinhin als anspruchsvoll taxierten Applikation sollte doch - so meine Fehlannahme – auch grundsätzlich kognitive Leistung erhöhen. Dies konnte freilich mit meiner Testreihe nicht untersucht werden, da ein derartiges Gehirnjogging wohl erst längerfristig Wirkung zeigt. Kurzfristig erfordert das Lösen von Sudokus offenbar so viel Hirnkapazität, dass es der Konsolidierung von Lerninhalten schadet. Hier könnte das Testdesign zu einer Langzeit-Studie abgeändert werden. Alternativ könnte man sich im Fragebogen nach den Logikrätsel-Gewohnheiten der Probanden erkundigen und diese in die Auswertung miteinbeziehen.

In meiner **dritten Hypothese** vermutete ich, dass Personen mit häufigem, regelmässigem Medienkonsum nach einem kurzfristigen, passiven Konsum von digitalen Medien ein besseres Erinnerungsvermögen an zuvor Gelerntes zeigen als Personen, welche weniger häufig digitale Medien konsumieren. Diese Vermutung konnte in der Auswertung in Form eines ziemlich deutlichen Unterschieds der Mittelwerte der nach Medienkonsum aufgeteilten Subgruppen zwar beobachtet werden (vgl. Abb. 22), aber es wurde keine statistische Signifikanz gefunden. Dies könnte damit zusammenhängen, dass das N in der Subgruppe halbiert wurde und somit nicht für eine statistische Signifikanz in der ANOVA genügte.

Der Unterschied zwischen den beiden, nach viel/wenig Konsum sozialer Medien aufgeteilten, Subgruppen zeigte sich vor allem bei den Tests 2 und 3 als relativ hoch (vgl. Abb. 23). Die Subgruppe mit viel Konsum sozialer Medien schnitt konstant besser ab als diejenige mit wenig. Bei der zweiten Testung liesse sich dieses Phänomen dadurch erklären, dass Personen, die es gewohnt sind, oft soziale Medien zu konsumieren, sich davon tendenziell weniger ablenken lassen. Diese Annahme fusst auf Hayeks Theorie der Wahrnehmung als Teil des Gedächtnisses, welche eine Aktivierung von assoziativen Netzen auslöst. Mediengewohnte Probanden verfügen wohl bereits über solche Netze und haben deshalb mehr Kapazität zur *memory modulation* trotz des gleichzeitigen Medienkonsums (Basar, 2005). Bei weniger gewohnten Mediennutzern müssten solche Netzwerke zuerst gebildet werden, weswegen

die Konsolidierung weniger vollständig geschieht. In einer Folgestudie wäre es äusserst spannend, Medienvielnutzer hinsichtlich einer Art Adaptation an die digitale 'Umwelt-Belastung' zu untersuchen.

Weshalb die Personen mit grosser Mediengewohnheit beim Test mit dem Sudoku-Lösen ebenfalls deutlich besser abschnitten, lässt sich mit diesem Ansatz kaum erklären. Denkbar wäre hier vielmehr die Präsenz eines statistischen Ausreissers, da auch der p-Wert wesentlich zu hoch ausfällt.

Somit kann **Hypothese 3** im Rahmen der Testreihe leider **weder verworfen noch plausibilisiert** werden. Um die dritte Hypothese also genauer bewerten zu können, müsste man die Probanden-Anzahl deutlich erhöhen.

Neben der Überprüfung der Hypothesen konnten durch die Subgruppenanalyse noch zusätzliche Resultate gefunden werden.

In der ANOVA zeigte sich nämlich, dass das Alter der Probanden – aufgeteilt in die beiden Gruppen u30 und ü30 – in Kombination mit dem Faktor der Testung einen signifikanten Einfluss auf die Testleistung hatte. Ältere Probanden erinnerten bei Testung 2 und 3 weniger Wort-Figur-Paare als jüngere. Bei der Kontrolltestung schnitten die beiden Altersgruppen hingegen exakt identisch ab (vgl. Abb. 24). Dies führt zur Annahme, dass die Ablenkung durch aktiven oder passiven Konsum digitaler Medien ältere und jüngere Personen tatsächlich verschieden beeinflusst. Der Unterschied erklärt sich hier vermutlich nicht durch die mit dem Alter schwindende Gedächtnisleistung, im Rahmen der abnehmenden Neuroplastizität. Denn beim Kontrolltest mit Ruhephase zeigt sich bei älteren Personen kein Unterschied in der kognitiven Fähigkeit. Eine wesentliche Abnahme der Gedächtnisleistung setzt gemäss Hasker et al. (vgl. Abb. 6) erst ab dem Alter von circa 50 Jahren ein. In meiner Studie betrug das Durchschnittsalter bei den Personen ü30 jedoch bloss 43.8 Jahre. Ich tendiere hier zu derselben Erklärung wie bei Hypothese 3. Die u30-Gruppe zählt zu den *digital natives* und zeigt sich weniger störanfällig auf digitale Medien, da die dazugehörigen assoziativen Netze bereits ausgebildet und trainiert sind; wohingegen die Interferenz mit digitalen Medien während der Konsolidierung bei der ü30-Gruppe zu einer wesentlich schlechteren Erinnerungsleistung führte.

6.2. Neuroapparative Analyse

Die **vierte Hypothese** muss aufgrund der mangelnden Resultate aus der durchgeführten neuroapparativen Untersuchung als **falsch angesehen und verworfen** werden. In der EEG-Untersuchung, in welcher versucht wurde, bildgeberisch die Hirnfunktionen während des Memorierens, Konsolidierens und des Abrufens darzustellen, fand sich nach Beurteilung eines Fachspezialisten nämlich kein Unterschied zwischen den verschiedenen Phasen. Die aufgezeichnete Hirnaktivität bei der Intervention mit Kurzvideos differiert auch nicht zur Kontrolle. Einzig im visuellen Kortex zeigte sich in der Ruhephase ein Unterschied beim Kontrolltest aufgrund der geschlossenen Augen. Sämtliche detektierten Artefakte liessen sich in keinen eindeutigen Zusammenhang zur Testreihe stellen.

Auch wenn sich die EEG-Untersuchung für meine Fragestellung als nicht valabel herausgestellt hat, war die Erfahrung, ein EEG machen zu können, für mich persönlich bereichernd.

6.3. Methodenkritik

6.3.1. Empirische Studie: *memory test*

Da ich meine Testmethode zur Ermittlung der Gedächtnisleistung der Probanden selbst entwickelt habe, bedarf es einer ausführlichen Methodenkritik, um die Aussagekraft der ermittelten Resultate zu bestimmen.

Um die Zuverlässigkeit und homogene Schwierigkeitsstufe zwischen den drei Tests garantieren zu können, wurden – ich habe es oben (Kapitel 4.1.1.) erwähnt – mehrere Massnahmen ergriffen, welche die Vergleichbarkeit der Testungen sichern sollten. Selbstverständlich mussten die Probanden bei jeder der drei Testungen gleich viele Wort-Figur-Paare lernen, weiter entwickelte ich zwanzig Dreiersets mit Wörtern, welche immer in Bezug auf Silbenzahl und Anfangsbuchstaben übereinstimmten. Zusätzlich sorgte ich dafür, dass die drei 20er-Sets an Figuren insgesamt gleich viele Elemente beinhalten.

Trotz dieser Vorkehrungen zur Sicherstellung der Homogenität könnten sich die Tests in Bezug auf deren Schwierigkeit unterscheiden haben. Ich hatte mir zwar überlegt, verschiedenen Gruppen für dieselbe Testung unterschiedliche Datensets zur Memorierung aufzutragen, entschied mich jedoch aufgrund des enormen zusätzlichen organisatorischen Aufwands gegen diese Methode.

Weiter könnte kritisiert werden, dass die Probanden während der Interventions-/Ruhephasen jeweils die Möglichkeit hatten, einen kleinen Lunch (Sandwich) zu essen. Da dieser potenzielle Störfaktor aber bei allen drei Tests auftaucht, würde dieser Einfluss auch wieder annulliert, so liesse sich hier argumentieren.

Zudem seien auch mögliche *Biases* der Studie erwähnt. Ich hatte das Glück, eine grosse Anzahl an Probanden rekrutieren zu können. Dies verstärkte die Aussagekraft der Studienresultate. Die interne Validität der Studie würde ich als gut einschätzen, vor allem in Bezug auf die Schüler-Gruppe. Im Fragebogen zeigte sich nämlich, dass die Schüler den Alltagsbezug als relevant einschätzten (vgl. Abb. 30), und die ANOVA zeigte eine grosse Signifikanz. Dennoch könnte hier ein Selection-Bias bestehen. An der Interventionsstudie nahmen Probanden einer sehr homogenen Gruppe teil. Allesamt waren Gymnasiasten und die getesteten Erwachsenen waren alles Akademiker. Darüber hinaus war die Teilnahme an der Studie freiwillig und es wäre denkbar, dass sich nur Personen für meine Studie angemeldet hatten, die spezielles Interesse am Thema Medienkonsum haben. Die getesteten Probanden stellen somit kein Abbild der Allgemeinbevölkerung dar und repräsentieren vielleicht noch nicht einmal durchschnittliche Gymnasiasten. So können alle Studien-Resultate nur bedingt verallgemeinert werden. Die externe Validität für die Testserie als eher weniger gut beurteilt werden muss. (Cochrane Deutschland, 2016)

Dies müsste man in *follow-up*-Studien verändern, indem man Probanden aus unterschiedlichen Milieus rekrutieren würde.

Ein weiterer Kritikpunkt am Design einer Cross-Over-Studie im Allgemeinen ist die bereits erwähnte Lernkurve. In Abbildung 35 ist eine derartige *learning curve* dargestellt und es zeigt sich, dass das Verhältnis zwischen Lernen und Erfahrung eine schneller oder langsamer steigende Sättigungskurve ist. In der vorliegenden Studie könnte sie zu einer Verfälschung der Veränderungen in Bezug auf die Testleistungen führen. Diese können deshalb nicht als absolute Zahlen-/Prozentwerte angesehen werden. Es liesse sich die Vermutung anstellen, dass sich der Unterschied zwischen den Testungen noch deutlicher abgezeichnet hätte, wenn es keine Lernkurve der Probanden gäbe, beziehungsweise wenn jedes Mal andere Probanden den Test durchgeführt hätten. Natürlich war dies keine Option, weshalb ich versuchte, der Lernkurve entgegenzuwirken, indem ich den Probanden bereits vor Studienbeginn ein Probe-Datenset zur Verfügung stellte. So sollte der initiale, wesentliche Anstieg nach hinten verschoben werden, so dass sich die Unterschiede während der eigentlichen Studie bloss im nahezu horizontalen Bereich bewegen würden und idealerweise vernachlässigt werden könnten. Aus demselben Grund änderte ich bei einigen Probanden die Reihenfolge der Testungen.

Steep and Shallow

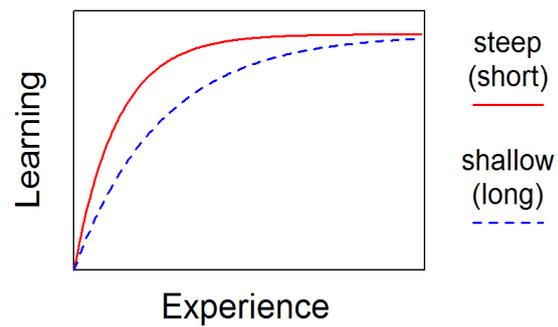


Abbildung 35. Steile (kurze) und flächere (lange) Lernkurve dargestellt in einem Diagramm – Lernen im Verhältnis zu Erfahrung. Alanf777 via wikimedia, 2013.

Schliesslich könnte man meiner Studie vorwerfen, dass das zu untersuchende Alltagsszenario zu karikiert imitiert wurde. Normalerweise würde nach einer Lernphase vielleicht nicht derart augenblicklich zum Handy gegriffen, so wie es mein Testdesign vorsah. Nicht nur aus zeitlichen Gründen musste aber während meiner Testung nach der Lernaufgabe sofort zum medialen Konsum gewechselt werden. Mein *memory*-Test verlangte dies auch, weil damit Engelkamps Beobachtung, dass nämlich die «Konsolidierung anfangs störanfälliger als später» ist (Engelkamp, 2013), ausgenutzt werden sollte (vgl. Kp. 3.2.2.). Falls aufgrund eines passiven oder aktiven Medienkonsums eine Ablenkung und Beeinflussung der *memory modulation* stattfinden würde, sollte diese auch garantiert sichtbar gemacht werden können. Meine Testung berücksichtigt aber, dass – so erlebe ich es im Alltag – Medien auch zur Belohnung oder Ablenkung genutzt werden und dies doch im relativ direkten Anschluss an anstrengendes Lernen.

Mit der vorliegenden Untersuchung kann nicht gezeigt werden, ob das Zeitintervall zwischen dem Ende der Memorierungsphase und dem Beginn des Medienkonsums eine Auswirkung auf das Erinnerungsvermögen hätte. Mit Blick auf die relativ kurze Halbwertszeit von Gedächtnisinhalten wage ich aber zu spekulieren, dass sich eine negative Auswirkung auf die Gedächtnisleistung gleich oder schwächer zeigen würde. Dazu müssten weiterführende Studien mit angepasster Intervention – beispielsweise Beginn des Medienkonsums erst 15 Minuten nach der Memorierung im Vergleich zu sofortigem Medienkonsum – durchgeführt werden.

6.3.2. Neuroapparative Analyse

Die Untersuchung im EEG als Untersuchungsmethode der elektrischen Hirnaktivität auf dem Kortex war nicht geeignet, die in den *memory tests* untersuchten Prozesse im Hirn visuell anzuzeigen. Grundsätzlich muss erwähnt werden, dass die Testreihe im EEG mit Test 1 und Test 2 nur unvollständig durchgeführt werden konnte, was natürlich eine grosse Schwäche dieser Studie ist.

Ein weiterer Nachteil der EEG-Methode zeigte sich darin, dass die Aktivität, welche nicht im Kortex geschah, nicht aufgezeichnet werden konnte. So blieb die wahrscheinlich hohe Aktivität im Hippocampus als Sitz des Arbeitsgedächtnisses unerkant. Weiter war die Anzahl ableitender Elektroden vielleicht zu gering und natürlich die Anzahl Probanden mit bloss einem Teilnehmer zu niedrig. Ausserdem werden zur wissenschaftlichen Analyse von EEG-Spektren oft komplexe Algorithmen verwendet, mit welchen unter Umständen doch Unterschiede hätten ausfindig gemacht werden können.

Wie im Methodikteil der Arbeit ausgeführt, müsste zur Darstellung der Hirnprozesse eher ein fMRI oder PET angefertigt werden. Hier bestünde die Schwierigkeit darin, dass sich der Proband bei der bildgeberischen Untersuchung gar nicht bewegen dürfte. Das Studiendesign müsste folglich weiter angepasst werden. Ob sich die verschiedenen Phasen denn in einem fMRI unterscheiden liessen, bleibt vorderhand offen.

7. FAZIT

Aufgrund meiner theoretischen Analyse der Prozesse von Lernen und Gedächtnis zeigte sich, dass nicht einzig die Memorierungsphase, sondern auch die Konsolidierungsphase anfällig auf äusserliche Interferenzen ist. Mit dem Studiendesign einer kontrollierten Interventionsstudie und den erhobenen Daten – auch aufgrund von signifikanten Ergebnissen – konnten die Fragen und Hypothesen zum Zusammenhang von Erinnerungsvermögen und Medienkonsum gut beleuchtet werden.

Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass die Phase nach dem Lernen möglichst nicht mit digitalem Medienkonsum zusammenfallen sollte. Dies hat nämlich eine negative Auswirkung auf die Konsolidierung der Lerninhalte. Dabei spielt es keine Rolle, welche Art digitale Medien genutzt werden. Gemeinhin als 'sinnvoll' taxierte digitale Applikationen führten sogar zu einer empfindlicheren Störung der Gedächtnisleistung als die als eher 'schlecht' angesehenen sozialen Medien. Die Erkenntnis, dass durch denselben Lernaufwand mit Berücksichtigung der Gestaltung der Konsolidierungsphase wesentlich höhere Gedächtnisleistungen erzielt werden könnten, sollte meiner Meinung nach in Leitfäden für SchülerInnen an Schulen Eingang finden (insbesondere wenn dort das BYOD-Konzept angewendet wird). In der Praxis könnten 'digitale-Detox'-Pausen empfohlen oder durchgesetzt werden, um die Effizienz des Lernens nicht negativ zu beeinflussen.

Ich persönlich werde meine Medienkonsum-Gewohnheiten aufgrund der Studien-Resultate in Zukunft sicher kritischer kontrollieren. Ich glaube sogar, ohne eingebildet wirken zu wollen, dass die Veröffentlichung meiner Studienresultate SchülerInnen und Lehrpersonen zu einem bewussteren Umgang mit digitalen Medien und im Idealfall zu effizienterem Lernen führen könnte.

Die Lernempfehlung an meine MitschülerInnen würde deshalb wie folgt lauten:

«Hirne weg von Handys nach anstrengenden Lernphasen!»

Diese Einsicht lässt sich so wahrscheinlich auch auf andere Bevölkerungsgruppen übertragen. Für eine allgemeingültige Empfehlung oder Aussage wären jedoch weiterführende Studien nötig.

8. DANKSAGUNG

Zuallererst gebührt allen Probanden aus der Schülerschaft und aus dem Lehrkörper der KFR ein herzliches und riesengrosses Dankeschön! Ihre Bereitschaft, sich für meine Studie aktiv zu engagieren und einzubringen, war die Grundlage für meine Forschung und hat meine Arbeit überhaupt erst möglich gemacht. Ihr Zeitaufwand dafür war nicht gering und alles andere als selbstverständlich. Ein besonderes Dankeschön geht auch an meine Nachbarn, die sich als Vorversuchs-Probanden zur Verfügung gestellt und mir so in einer frühen Phase der Studie zu wertvollen Erkenntnissen verholfen haben.

Einen grossen Dank möchte ich weiter meiner Betreuungslehrperson Frau Linn Sgier für ihre wertvolle Unterstützung aussprechen. Ich fühlte mich von ihr während des Prozesses der Maturitätsarbeit stets kompetent, interessiert und fördernd betreut und konnte in vielen fachlichen aber auch administrativen Belangen von Ihrer Begleitung profitieren. Naturwissenschaftliches Arbeiten hat für mich eine ganz andere Bedeutung gewonnen.

Ich bedanke mich herzlichst bei Herrn Francesco Antognini und Herrn Patric Müller, welche mich bei der statistischen Auswertung tatkräftig unterstützt haben. Dank Ihnen konnte ich viele neue spannende Aspekte der Datenanalyse verstehen und anwenden, was mir grosse Freude bereitete.

Dankbar bin ich weiter für die Zeit und die Ratschläge von Prof. Dr. Daniel Kiper, welcher mir mit seinem Fachwissen ebenfalls eine wichtige Hilfestellung für mein Forschungsanliegen bot. Seine Einblicke haben die Qualität meiner Arbeit erheblich verbessert.

Ein besonderes Dankeschön geht an Herrn Dr. med. Joubin Gandjour, welcher mich bei der Durchführung und Interpretation meiner EEG-Untersuchung tatkräftig unterstützt hat und mir neben seiner wertvollen Zeit seine Praxis als Untersuchungseinrichtung zur Verfügung stellte.

Ich möchte mich beim Hausdienst der KFR sowie beim Sekretariat und dem IT-Dienst der KEN für die logistische Unterstützung während meiner praktischen Untersuchung bedanken. Dank Ihrer Hilfe war stets ein reibungsloser Ablauf während aller Testungen gewährleistet.

Mein Dank gilt den Korrekturlesern, die mit kritischem Auge und sprachlichem Geschick dazu beigetragen haben, meine Arbeit zu verfeinern und sprachlich zu optimieren.

Das grösste Dankeschön geht an meine Eltern für ihre bedingungslose Unterstützung und Ermutigung während des gesamten Forschungsprozesses. Ihr Vertrauen hat mir die nötige Motivation und Stabilität verliehen und last but not least war ihre 'Sandwicheria Meierhof', Wädenswil bei sämtlichen Probanden hochgeschätzt.

9. BIBLIOGRAPHIE

9.1. Literaturverzeichnis

9.1.1. Wissenschaftliche Artikel

Baddeley, Alan. 2003. *Working memory: Looking back and looking forward*. Nature Reviews Neuroscience. S.829-839.

Bandetti, Peter. 2009. *What's new in neuroimaging methods?*. Annals of the New York Academy of Sciences. 1156/2009. S.260-293.

Belliveau, J.W., et al. 1991. *Functional Mapping of the Human Visual Cortex by Magnetic Resonance Imaging*. Science. 254/1991. S.716-719.

Benedict, Ralph. 1996. *Revision of the Brief Visuospatial Memory Test: Studies of normal performance, reliability, and validity*. Psychological Assessment. 8(2)/1996. S.145-153.

Carrillo-Reid, Luis. 2022. *Neuronal ensembles in memory processes*. Elsevier Seminars in Cell and Developmental Biology. 125/2022. S.136-143.

Cochrane Deutschland, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften - Institut für Medizinisches Wissensmanagement. 2016. *Bewertung des Biasrisikos (Risiko systematischer Fehler) in klinischen Studien: ein Manual für die Leitlinienerstellung*.

Eichenbaum, Howard. 1999. *The hippocampus and mechanisms of declarative memory*. Elsevier Behavioural Brain Research. 103/1999. S.123-133.

Engelkamp, Johannes. 2013. Lern- und Gedächtnispsychologie; S.173
Firth, J.A., et al. 2020. *Exploring the Impact of Internet Use on Memory and Attention Processes*. International Journal of Environmental Research and Public Health. 17/2020. S.1-12.

Gentry, Sarah V., et al. 2019. *Serious Gaming and Gamification Education in Health Professions: Systematic Review*. Journal of Medical Internet Research. 21(3)/2019.

Glover, Gary H. 2011. *Overview of Function Magnetic Resonance Imaging*. Neurosurgery Clinics of North America. Author Manuscript.

Goldstein, M. 1994. *Decade of the brain. An agenda for the nineties*. The Western Journal of Medicine. 161(3)/1994. S.239-241.

Jasper, H.H. 1958. *Report of the Committee on methods of clinical examination in electroencephalography; The ten-twenty electrode system*. 10(2)/1958. S.370-375.

Jenkins, J.G., et al. 1924. *Obliviscence during Sleep and Waking*. The American Journal of Psychology. 35(4)/1924. S.605-612.

Korte, Martin. 2020. *The impact of the digital revolution on human brain and behavior: where do we stand?*. Dialogues in Clinical Neuroscience. 22(2)/2020. S. 101-111.

Kühn, S., et al. 2013. *Playing Super Mario induces structural brain plasticity - gray matter changes resulting from training with a commercial video game*. Molecular Psychiatry. 19/2014. S.265-271.

- LaVoie, D.J., et al. 2007. *Recollecting, Recognizing, and Other Acts of Remembering: An Overview of Human Memory*. Journal of Neurologic Physical Therapy. 31/2007. S.135-144.
- McHugh, Mary. 2011. *Multiple comparison analysis testing in ANOVA*. Biochemia Medica. 21(3)/2011. S.203-209.
- Miller, Robert. 2006. *Theory of the normal waking EEG: From single neurones to waveforms in the alpha, beta and gamma frequency ranges*. Elsevier International Journal of Psychophysiology. 64/2007. S.18-23.
- Moisala, M., et al. 2016. *Media multitasking is associated with distractibility and increased prefrontal activity in adolescents and young adults*. NeuroImage. 134/2016. S.113-121.
- Ogawa, S., et al. 1993. *Functional brain mapping by blood oxygenation level-dependent contrast magnetic resonance imaging*. Biophysical Journal. 64/1993. S.803-812.
- Plihal, W., & Born, J. 1997. *Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory*. Journal of Cognitive Neuroscience. 9/1997. S.534–547.
- Poldrack, R.A., et al. 1997. *Functional anatomy of long-term memory*. Journal of clinical neurophysiology. 14(4)/1997. S.294-310.
- Richter-Bernburg, L. 1994. *Abubakr Muhammad Al-Razi's (Rhazes) Medical Works*. Medicina nei secoli. 6(2)/1994. S.377-392.
- Roosendaal, Benno and McGaugh, James. 2011. *Memory modulation*. Behavioral Neuroscience. 125(6)/2011. S.797-824.
- Royeen, Charlotte B. 1986. *The Boxplot: A Screening Test for Research Data*. American Journal of Occupational Therapy. 40(8)/1986. S.569-571.
- Sokoloff, L., et al. 1977. *The [14C]Deoxyglucose method for the measurement of local cerebral glucose utilization: theory, procedure, and normal values in the conscious and anesthetized albino rat*. Journal of Neurochemistry. 28(5)/1977. S.897-916.
- Sparrow, B., et al. 2011. *Google effects on memory: cognitive consequences of having information at our fingertips*. Science. 333/2011. S.776-778.
- Süss, D., et al. 2012. *JAMES – Jugend | Aktivitäten | Medien – Erhebung Schweiz, Ergebnisbericht 2012*.

9.1.2. Bücher

- Başar, Erol. 2005. *Memory and Brain Dynamics – Oscillations Integrating Attention, Perception, Learning, and Memory*. CRC Press. New York.
- Cicero, Marcus Tullius. 55 v. Chr. *De Oratore* 1. 5, 18.
- Finger, Stanley. 2005. *Minds Behind the Brain*. Oxford University Press.
- Ebbinghaus, Hermann. 1885. *Über das Gedächtnis. Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Duncker & Humblot, Leipzig.
- Gonzalez, Richard. 2009. *Data Analysis for Experimental Design*. The Guilford Press. New York.

Lameka, K., et al. 2016. *Handbook of Clinical Neurology, Volume 135 – Chapter 11 Positron Emission Tomography*. Elsevier.

Squire, L., et al. 2009. *Gedächtnis – Die Natur des Erinnerns*. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.

Tamraz, J.C., et al. 2006. *Atlas of Regional Anatomy of the Brain Using MRI*. Springer. Heidelberg.

Thompson, Richard. 2001. *Das Gehirn*. Springer. Los Angeles.

9.1.3. Internet

Antwerpes, Frank. 2023. *Neuronale Plastizität*. DocCheckFlexikon. www.flexikon.doccheck.com/de/Neuroplastizit%C3%A4t (Zugriff: 8.10.2023).

Buboquote. Jahr unbekannt. *Repetition is the mother of learning*. www.buboquote.com/en/quote/14311-horace-repetition-is-the-mother-of-learning (Zugriff: 23.10.2023).

Cuemath. Jahr unbekannt. *ANOVA Test*. www.cuemath.com/anova-formula/ (Zugriff: 19.7.2023).

Högemann, A., et al. 2014. *Studiendesign*. DocCheckFlexikon. Studiendesign www.flexikon.doccheck.com/de/Studiendesign (Zugriff: 28.10.2023).

Illing, Robert-Benjamin. Jahr unbekannt. *Geschichte der Hirnforschung*. www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/geschichte-der-hirnforschung/14480 (Zugriff: 10.10.2023).

Mackenzie, Ruairi. 2019. *Grey matter vs white matter*. Neuroscience News and Research. www.technologynetworks.com/neuroscience/articles/gray-matter-vs-white-matter-322973 (Zugriff: 9.10.2023).

Methodenberatung Universität Zürich. Jahr unbekannt. *Mehrfaktorielle Varianzanalyse*. https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/mvarianz.html (Zugriff: 23.8.2023).

Paulussen, U., et al. 2022. *Auswaschzeit*. DocCheckFlexikon. www.flexikon.doccheck.com/de/Auswaschzeit (Zugriff: 28.10.2023).

Rüdiger, Vaas. Jahr unbekannt. *Gedächtnis*. www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/gedaechtnis/4050 (Zugriff: 10.10.2023).

W.K. Jahr unbekannt. *Gehirnstoffwechsel*. Spektrum. www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/gehirnstoffwechsel/4122 (Zugriff: 15.7.2023).

Wolf, Christian. 2016. Thomas Willis – Begründer der modernen Neurologie. www.thebrain.info/node/1749 (Zugriff: 21.10.2023).

Zach in statology. 2022. *How to Calculate Sum of Squares in ANOVA*. www.statology.org/sum-of-squares-anova/ (Zugriff: 19.7.2023).

9.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Dall-E 2 x Photoshop AI. Prompt for Dall-E: “generate a digital art illustration of a pink, realistic brain in physical contact with a smartphone”.

Abbildung 2. Mackenzie, Ruairi. 2019. *Grey matter vs white matter*. Neuroscience News and Research. www.technologynetworks.com/neuroscience/articles/gray-matter-vs-white-matter-322973 (Zugriff: 9.10.2023).

Abbildung 3. Weidauer, T. in reflecta, 2020. *Grosshirn*. www.reflecta.network/posts/grosshirn (Zugriff: 9.10.2023).

Abbildung 4. Dasgehirn.info. 2012. *Aufbau eines Neurons*. www.thebrain.info/node/798 (Zugriff : 9.10. 2023).

Abbildung 5. Guy-Evans, O., et al. 2023. *What Happens At The Synapse Between Two Neurons?*. www.simplypsychology.org/synapse.html (Zugriff: 9.10.2023).

Abbildung 6. Squire, L. et al. 2009. *Gedächtnis – Die Natur des Erinnerns*, S.209.

Abbildung 7. Harnad, Stevan, 1985. www.southampton.ac.uk/~harnad/Archive/hebb.html (Zugriff: 10.10.2023).

Abbildung 8. Schacter, D., et al. 1994. *Memory systems*, The MIT Press. S.203-232.

Abbildung 9. Baddeley, Alan. 2003. *Working memory: looking back and looking forward*. S.829-839.

Abbildung 10. Icez via Wikimedia, *Vergessenskurve mit spaced repetition (forgetting curve)*. www.en.wikipedia.org/wiki/Spaced_repetition#/media/File:ForgettingCurve.svg (Zugriff: 13.10.2023).

Abbildung 11. IMotions. 2019. *Top 3 Devices for Monitoring and Measuring Brain Activity*. www.imotions.com/blog/learning/best-practice/top-3-devices-measuring-brain-activity/ (Zugriff: 8.4.2023).

Abbildung 12. NZBRI. Jahr unbekannt. *fMRI-Scan*. www.nzbri.org/Labs/mri/Images/ (Zugriff: 16.10.2023).

Abbildung 13. Rauf, Don. 2019. *Amyloid PET Scans May Drastically Change Alzheimer’s Diagnosis and Care, Study Finds*. www.everydayhealth.com/alzheimers-disease/amyloid-pet-scans-may-drastically-change-alzheimers-diagnosis-care-study-finds/ (Zugriff: 16.10.2023).

Abbildung 14. *Graphische Darstellung der drei Phasen des Gedächtnisprozesses*. Eigene Graphik.

Abbildung 15. *Darstellung einer drei-phasigen Testmethode*. Eigene Graphik.

Abbildung 16. *Beispiele computergenerierter Figuren*. Eigene Graphik.

Abbildung 17. *Schematische Darstellung des finalen Studienprotokolls*. Eigene Graphik.

Abbildung 18. *Verteilung der Studienteilnehmer gemäss Geschlecht und Alter*. Eigene Graphik.

Abbildung 19. *Fertig platzierte EEG-Haube mit 21 ableitenden Elektroden*. Photo privat.

Abbildung 20. *Vergleichende Darstellung der Resultate-Boxplots der Studie*. Eigene Graphik.

Abbildung 21. *Post-hoc-Analyse anhand von drei t-Tests zur Ermittlung der Signifikanz aller möglichen Zweierkombinationen der drei Resultatmittelwerten der durchgeführten Testungen. 'P' steht für den P-Wert ($T < t$) einseitig bei $\alpha = 0.05$. Eigene Graphik.*

Abbildung 22. *Mittelwerte der Testresultate der nach regelmässigem Medienkonsum aufgeteilten Subgruppen. Eigene Graphik.*

Abbildung 23. *Mittelwerte der Testresultate der nach regelmässigem Konsum sozialer Medien aufgeteilten Subgruppen. Eigene Graphik.*

Abbildung 24. *Mittelwerte der Testresultate der nach Alter aufgeteilten Subgruppen. Die Aufteilung in jung/alt basiert auf dem Schwellenwert 30 Jahre. Eigene Graphik.*

Abbildung 25. *Subjektive Einschätzung der Probanden ihrer besten Testleistung. Eigene Graphik.*

Abbildung 26. *Subjektive Beurteilung des Effekts der sozialen-Medien-Nutzung auf die eigene Erinnerungsleistung. Eigene Graphik.*

Abbildung 27. *Subjektive Beurteilung eines grundsätzlichen, nachträglichen Effekts einer Ablenkung auf bereits Gelerntes. Eigene Graphik.*

Abbildung 28. *Subjektive Beurteilung aller Probanden der Realitätsnähe im Testverfahren. Eigene Graphik.*

Abbildung 29. *Subjektive Beurteilung der Realitäts-/Alltagsnähe im Testverfahren durch Probanden im Alter von < 30 Jahren. Eigene Graphik.*

Abbildung 30. *Subjektive Beurteilung der Realitäts-/Alltagsnähe im Testverfahren durch Probanden im Alter von ≥ 30 Jahren. Eigene Graphik.*

Abbildung 31. Rojas, G.M., et al. 2018. *Study of Resting-State Functional Connectivity Networks Using EEG Electrodes Position As Seed*. *Frontiers in Neuroscience*. 12/2018.

Abbildung 32. EEG Kurve, Normalzustand. 19.9.2023. Jonas Himmelberger.

Abbildung 33. EEG Kurve, Memorierungsphase Kontrolltest. 19.9.2023. Jonas Himmelberger.

Abbildung 34. EEG Kurve, Interventionsphase mit Kurzvideo-Konsum. 19.9.2023. Jonas Himmelberger.

Abbildung 35. Alanf777 via wikimedia. 2013. *Short and long learning curves*. www.en.wikipedia.org/wiki/Learning_curve#/media/File:Alanf777_Lcd_fig08.png (Zugriff: 25.11.2023).

Anhang

Abbildung A1. Xtremex via dreamstime.com. Jahr unbekannt. *Gehirndetail*. www.de.dreamstime.com/lizenzfreies-stockfoto-gehirndetail-image36825755 (Zugriff: 25.6.2023).

Abbildung A2. *Verteilung der Resultate im Vorversuch III*. Eigene Graphik.

Abbildung A3. *Verteilung der Resultate im Vorversuch V*. Eigene Graphik.

Abbildung A4. Statkat.com. 2023. *Finding the p-value from an F-value, using the table with critical F-values*. www.statkat.com/find-p-value/f-value.php (Zugriff: 19.7.2023).

9.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. *Tabelle mit den ersten, einfachen statistischen Auswertungen. Eigene Tabelle.*

Tabelle 2. *Resultate der einfaktoriellen ANOVA bei $\alpha=0.05$ zwischen den Resultaten der drei durchgeführten memory tests. Auszug aus RStudio.*

Tabelle 3. *Subgruppenvarianzanalyse: Darstellung der als signifikant bestimmten Einflussgrößen. Eigene Tabelle.*

Tabelle A1. *Auswahl getätigter Vorversuche (im Zeitraum: März-Mai 2023) bei Veränderung der Lerninhalte und Zeitintervalle. Eigene Tabelle.*

Tabelle A2. *Tabellenübersicht für die Berechnung einer ANOVA. nach cuemath.com. Jahr unbekannt. ANOVA test. www.cuemath.com/anova-formula/ (Zugriff: 18.7.2023).*

Tabelle A3. *Darstellung der Resultate der Zweistichproben t-Tests bei abhängigen Stichproben mit der jeweilig untersuchten Nullhypothese, Auszug aus Excel. Eigene Tabelle.*

Tabelle A4. *Tabelle mit den Resultaten aus der Subgruppenanalyse, Auszug aus RStudio. Eigene Tabelle.*

10. ANHANG

Im Anhang werden ergänzende Materialien aufgelistet, viele der Graphiken sind Screenshots oder Abbildungen, welche vom Verfasser dieser Arbeit erstellt wurden.

10.1. Finale *memory tests*

10.1.1. Ablauf

Die Test-Räumlichkeit wurde bei relativ gedrängtem Zeitplan jeweils vor der Testung eingerichtet; Laptop für die Instruktion der Probanden mit einer PowerPoint-Präsentation installiert, Stifte und Ohropax an den Plätzen verteilt und die nummerierte Teilnehmerliste und die Abfrageblätter (vgl. ebenfalls weiter unten Kp. 10.1.3.-10.1.5.) bereitgelegt. Am Eingang erhielten die Probanden die blind zugeteilten Nummern, so dass sie ihre Tests später kennzeichnen konnten. Diese Massnahme erlaubte eine einfach verblindete und somit anonymisierte Auswertung der Daten, um den Datenschutz und die Privatsphäre aller Teilnehmenden zu gewährleisten. Neben der Nummer sollten die Testpersonen jeweils auch ihr Alter und Geschlecht auf dem Abfrageblatt notieren, da diese Daten in die Analyse einfließen sollten. Die Probanden nahmen im Saal mit jeweils mindestens einem Meter Abstand Platz und bekamen zum Lunch ein Sandwich und Eistee.

Am Tag vor den einzelnen Tests erhielten die Probanden jeweils via E-Mail und Teams eine Erinnerung nicht nur an den bevorstehenden Termin, sondern auch daran, unbedingt ein elektronisches Device, am besten Handy und wenn möglich auch Kopfhörer mitzubringen. Vor der allerersten Testung verschickte ich zusätzlich eine Art 'Probe'-Quizlet (vgl. unten in diesem Kapitel), welches eine Imitation von drei Karteikarten enthielt, wie sie später während der richtigen Testung zu lernen sein würden.

Ich begrüßte die Probanden und begann damit, das Testszenario zu skizzieren. Daraufhin wurde ein QR-Code (weiter unten im Kapitel zu finden) eingeblendet, welcher direkt zum jeweiligen Karteikarten-Set auf Quizlet führte. Vor dem Beginn der Memorierungsphase blendete ich jeweils während circa 10 Sekunden bereits alle Figuren ein, so dass man sich als Proband auf die Menge vorbereiten konnte und die darauffolgenden fünfminütige Lernphase vollkommen ausnutzen konnte. Die Testpersonen mussten sich möglichst viele der 20 Wort-Figur-Paare einprägen, wurden zweimal über die verbleibende Zeit informiert und durften nicht sprechen.

Ohne – oder mit kleinstmöglicher – Unterbrechung begann daraufhin die zweite, zwanzigminütige Phase, während dieser ich keine Zeitangaben machte, um die Probanden möglichst wenig von den jeweiligen Szenarien (Ruhephase, aktiver und passiver Konsum von digitalen Medien) abzulenken. Ich erlaubte den Probanden, während dieser Phase zu essen und zu trinken, da die Untersuchung in der Mittagspause stattfand.

Während der ersten Testung, die später als Kontrolle dienen sollte, folgte mit der zweiten Phase eine Ruheperiode. Ich wies die Probanden an, sämtliche digitalen Geräte auszuschalten und erinnerte erneut an das Silentium. Dank der Ohrstöpsel sollten die Probanden möglichst wenigen Stimuli ausgesetzt sein und sich nicht ablenken lassen.

Bei der zweiten Testung wies ich die Probanden nach der fünfminütigen Lernphase an, auf ihren digitalen Geräten, die von ihnen üblicherweise präferierten Plattformen der sozialen Medien zu öffnen, um sich dort Kurzvideos anzuschauen. Die Testpersonen durften also frei entscheiden, welche Social-Media-Portale sie nutzen wollten – wobei ich als Beispiele TikTok, Instagram Reels oder YouTube Shorts

nannte. Wichtig war – und dies kontrollierte ich auch – dass die Studienteilnehmende während der gesamten zwanzigminütigen Phase und ohne Unterlass derartige Kurzvideos konsumierten. Ich hatte alle gebeten, Kopfhörer mitzunehmen und hatte mittels QR-Code (vgl. PPP weiter unten 10.1.7.) für Probanden, welche üblicherweise keine sozialen Medien nutzen, einen Link zu Youtube Shorts eingeblendet.

Bei der dritten Testung waren alle Probanden verpflichtet, sich in der zweiten Phase mit Sudokus zu beschäftigen. Die vorgegebene Website war: www.sudoku.com, da diese auf allen Geräten von jeglichen Anbietern funktionierte. Der Schwierigkeitsgrad war nicht vorgegeben. Ich empfahl jedoch 'einfach' oder 'mittel' auszuwählen und wies alle Probanden an, möglichst viele Sudokus zu lösen, um garantieren zu können, dass alle ihre komplette Aufmerksamkeit auf diese Aufgabe richteten.

Die dritte und letzte Phase, die Abfrage, gestaltete sich analog, auf Papier und bei jeder Testung gleich. Drei Minuten standen zur Verfügung, um auf Papier zu den 15 abgefragten Formen das dazu passende Substantiv zu notieren.

Am Schluss der Testreihe wurden die Probanden nach der Abfrage gebeten, einen auf der Rückseite mitabgedruckten Fragebogen (vgl. weiter unten Kp. 10.1.6.) auszufüllen.

10.1.2. Probequizlet

<https://quizlet.com/ch/811613601/beispiel-memory-test-flash-cards/?i=31uvwd&x=1jqt>

10.1.3. Datenset 1

https://quizlet.com/ch/810836152/final_memory_test_i-flash-cards/?i=31uvwd&x=1jqt

Abfrageblatt: (Screenshot aus Word)

Abfrage – TEST 1

Nummer: Alter: Geschlecht:

10.1.4. Datenset 2

https://quizlet.com/ch/811062873/final_memory_test_ii-flash-cards/?i=31uvwd&x=1jqt

Abfrageblatt: (Screenshot aus Word)

Abfrage – TEST 2

Nummer: Alter: Geschlecht:

10.1.5. Datenset 3

https://quizlet.com/ch/813438219/final_memorytest_iii-flash-cards/?i=31uvwd&x=1jqt

Abfrageblatt: (Screenshot aus Word)

Abfrage – TEST 3

Nummer: Alter: Geschlecht:

10.1.6. Fragebogen

1. Wie viele Stunden benutzen Sie / benutzt du digitale Geräte pro Tag ? (Schule/Arbeiten an digitalen devices zählt auch!)
..... Stunden
2. Wie viele Stunden pro Tag befinden Sie sich / befindest du dich auf den sozialen Netzwerken? (digitale social media Plattformen wie instagram, tiktok, snapchat usw.)
..... Stunden
3. Wie viele social media Apps benutzen Sie / benutzt du regelmässig?
(es zählen Apps wie Whatsapp, Teams, Instagram, Snapchat, Tiktok, Facebook etc)
..... App
4. Bei welchem Test haben Sie / hast du Ihrer / Deiner Meinung nach am besten abgeschnitten? (Kreuz setzen)
..... Test 1 Test 2 Test 3 alle gleich
5. Haben Sie / Hast du das Gefühl, das Gelernte nach dem Konsum von Kurzvideos auf den sozialen Medien schlechter abrufen zu können? (Kreuz setzen)
... trifft sehr zu ... trifft eher zu ... trifft eher nicht zu ... trifft gar nicht zu
6. Haben Sie / Hast du allgemein das Gefühl, dass die Phase nach dem Lernen einen Einfluss auf ein späteres Abfrage- Resultat haben könnte? (Kreuz setzen)
... ja ... eher ja ... eher nein ... nein
7. Meinen Sie / Meinst du, das Testszenario (vgl. 5.) bildet Ihren / Euren (Lern-)Alltag ab? (Kreuz setzen)
... ja ... eher ja ... eher nein ... nein

10.1.7. PowerPoint-Präsentationen

Alle abgebildeten Folien wurden zwischen dem 24. Juni und dem 10. Juli vom Verfasser in MS PowerPoint erstellt. Die QR-Codes wurden in der Gratisversion der Website www.qr-code-generator.com gefertigt.

Testung 1



Memory Test 1
Maturitätsarbeit-Studie
Jonas H.



Abbildung A1. Darstellung des menschlichen Hirns. Xtremex via dreamstime, o.J.



Vielen herzlichen Dank für Ihre/Eure Teilnahme!





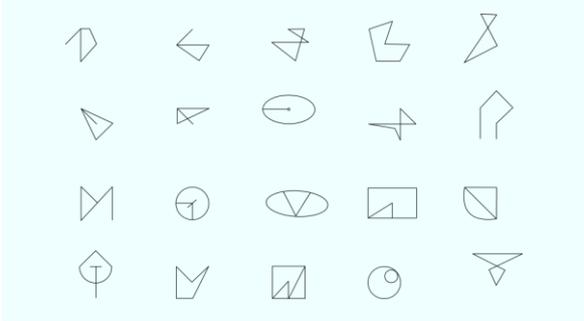
Ablauf







MEMORISIEREN À 5 MIN REST-DIGEST À 20 MIN ABFRAGE À 3 MIN



QR - Code scannen!



PASSWORT:
MA2023

Viel Erfolg!



Testung 2

Memory Test 2

Maturitätsarbeit-Studie
Jonas H.



Abbildung A1. Darstellung des menschlichen Hirns. Xtremex via dreamstime, o.J.

Vielen herzlichen Dank für Ihre/Eure Teilnahme!



Ablauf



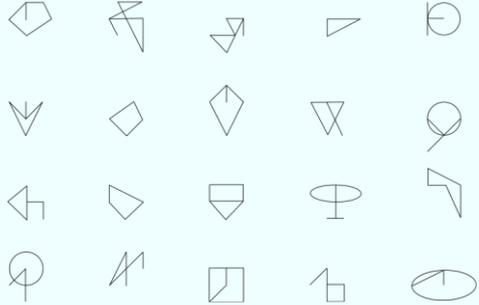
MEMORISIEREN À 5 MIN



SOCIAL MEDIA - PHASE À 20 MIN



ABFRAGE À 3 MIN

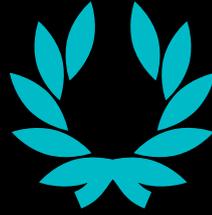


QR - Code scannen!



PASSWORT:
JHMA23

Viel Erfolg!

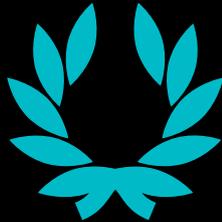


QR - Code scannen!



1. youtube.com aufrufen (QR-Code)
2. Zur Kachel «Shorts» navigieren
3. Kurvideos konsumieren!

Viel Erfolg!



Testung 3

Memory Test 3

Maturitätsarbeit-Studie
Jonas H.



Abbildung A1. Darstellung des menschlichen Hirns. Xtremex via dreamstime, o.J.

Vielen herzlichen Dank für Ihre/Eure Teilnahme!



Ablauf - Test 3



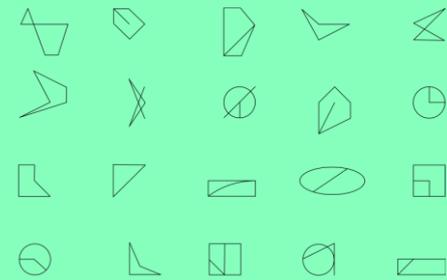
MEMORISIEREN À 5 MIN



ACTIVE - PHASE À 20 MIN



ABFRAGE À 3 MIN

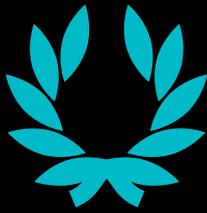


QR - Code scannen!



PASSWORT:
MAIII23

Viel Erfolg!



10.2. Entwicklung des *memory tests*

10.2.1. Python Code

Mit folgendem Code konnten Figuren, wie sie unter Kapitel 10.1. in den *memory tests* zu finden sind, generiert werden.

```
import turtle
import random

def generate_figure_with_line():
    # turtle screen wird erstellt
    screen = turtle.Screen()
    # turtle wird erstellt
    t = turtle.Turtle()
    # turtle ausblenden
    t.hideturtle()
    # Figur mit zufälliger Anzahl Seiten zwischen 2 und 4
    num_sides = random.randint(2, 4)
    # Ausgangsposition wird gespeichert
    initial_position = None
    # Figur wird gezeichnet, mit zufälligen Winkeln
```

```

for _ in range(num_sides):
    angle = random.randint(15,165)
    distance = random.randint(50, 150)
    if initial_position is None:
        initial_position = t.position()
    t.forward(distance)
    t.right(angle)
# zurück zur Ausgangsposition, um die Figur zu vervollständigen
t.goto(initial_position)
# eine zufällige Zahl wird ausgewählt 0/1 ergo 50% Chance
draw_line = random.randint(0, 1)

# wenn 1 herauskommt, wird eine zusätzliche Linie generiert

if draw_line == 1:
    # zufälliger Punkt wird generiert
    x = random.randint(-100, 100)
    y = random.randint(-100, 100)
    # turtle bewegt sich vom Ausgangspunkt zu diesem zufälligen Punkt
    t.pendown()
    t.goto(x, y)
    # screen bleibt offen, um Figur noch ansehen zu können
    turtle.done()
# oben definierte Funktion 'generate_figure_with_line' ausführen
generate_figure_with_line()
turtle.done()

```

10.2.2. Übersicht der Vorversuche

Tabelle A1. Auswahl getätigter Vorversuche (im Zeitraum: März-Mai 2023) bei Veränderung der Lerninhalte und Zeitintervalle.

	I	II	III	IV	V	FINAL
Anzahl Karteikarten	15	15	15	15	20	20
Anzahl abgefragter Inhalte	15	15	15	15	15	15
Zeitintervalle [min]	5, 10, 5	5, 10, 5	5, 10, 5	5, 15, 5	5, 20, 5	5, 20, 3
Inhalt der Karteikarten	Buchstabe – Buchstabe	Figur – Buchstabe	Wort – Wort	Figur – Wort	Figur – Wort	Figur - Wort
Resultate	Viel zu einfach	Figuren interessant, insgesamt stets etwas einfach	Stets etwas einfach	stets einfach für die meisten Probanden	Ausgeglichene Resultate um einen Mittelwert	

10.2.3. Verteilungskurven von Vorversuchen

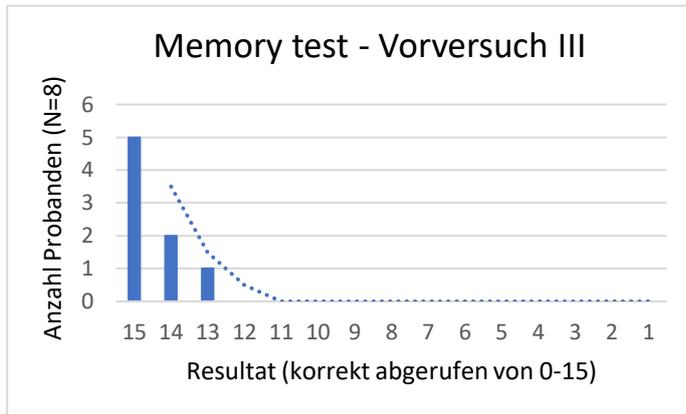


Abbildung A2. Die Verteilung der Resultate im Vorversuch III zeigt eine exponentielle Zunahme, je näher man an die maximale Punktzahl kommt, und illustriert somit, dass der Test bei Vorversuch III zu einfach war. Es wurden während 5 min 15 Wort-Wort-Paare memoriert, die nach 10 min wieder abgerufen wurden.

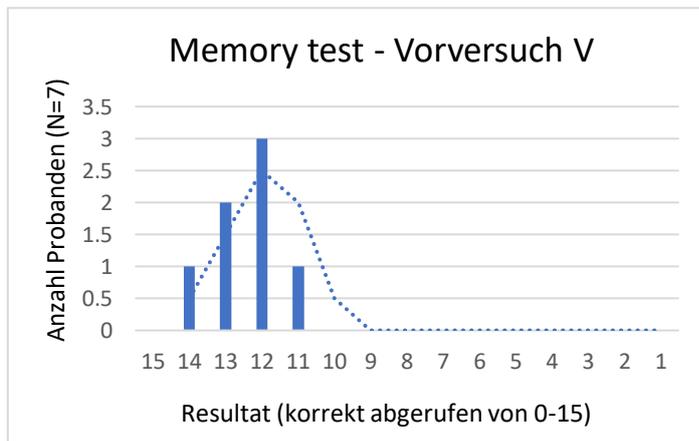


Abbildung A3. Die Resultate im Vorversuch V präsentieren sich als Gauss'sche Kurve. Es wurden während 5 min 20 Wort-Figur-Paare memoriert und nach 20 min wurden 15 davon abgefragt.

10.3. Statistik

10.3.1. Rohdaten

Resultat Test 1	Resultat Test 2	Resultat Test 3	Alter [a]	Genus	Medienkonsum [h/d]	Konsum sozialer Medien [h/d]
12	14	13	17	m	10	2.5
13	10	5	17	f	7	1.5
14	14	13	16	f	6	1.75
14	13	14	13	f	10	9
13	6	7	13	f	2	1
13	15	14	17	f	2	1
6	5	4	17	f	6	0.5
12	12	8	54	m	4	0.25
14	12	11	37	m	6	0.5
14	13	14	18	m	4	1
15	14	13	18	f	6	4.5
11	10	5	15	f	10	1.5
14	12	14	17	m	9	2.5
12	14	11	14	f	9	2
9	15	11	15	f	8	1
12	14	12	14	f	2	1
11	7	5	45	f	8	0
15	12	14	15	f	5	1.5
12	14	11	39	m	8	0.25
13	13	8	16	m	7	2
12	9	11	17	f	8	2
12	15	14	17	m	3	1
12	12	10	35	f	2	0
12	11	7	15	f	9	0.75
11	10	15	17	m	3.5	2.5
10	10	8	17	m	8	0.25
10	2	2	17	m	5	2
12	10	4	38	m	4	2
14	12	10	17	m	5	0
12	8	4	39	f	5	1
11	12	10	15	f	3	1.5
12	12	15	14	f	3	3
13	12	11	49	m	3	1
8	8	6	32	m	4	0.75
7	13	15	14	f	8	1.5
12	9	8	45	m	4	0
12	9	7	17	m	8	2
6	5	4	14	f	3	1
4	7	9	13	f	5	2
13	15	14	14	f	3	1.5

14	13	5	17	m	8	1.5
15	13	11	52	m	9	0.25
15	14	14	16	f	10	2
8	8	5	56	m	8	0
13	13	11	17	m	3.5	1.5
6	5	7	13	m	3	1.5
13	10	12	32	m	5	1
11	7	14	17	m	10	0.75
9	7	7	17	m	8	1.5
11	14	12	17	f	10	3
13	14	13	17	m	4	1
13	12	12	17	m	8	1.5
9	11	10	54	f	8	0.5
13	13	13	47	m	11	0.75
9	5	6	47	f	11	2

10.3.2. Berechnung der ANOVA

Man beginnt mit der Berechnung der Summe der Quadrate, gemäss der zweiten Spalte in dieser Tabelle, welche ich zusammengestellt habe:

Tabelle A2. Tabellenübersicht für die Berechnung einer ANOVA. Nach cuemath.com, o.J.

Quelle der Varianz	Summe der Quadrate	Freiheitsgrad	Mittelwert der Quadrate	F-Wert
Zwischen den Gruppen	SSB	Df ₁	MSB	f
Fehler	SSE	Df ₂	MSE	
Total	SST	Df ₃		

Die SSB (sum of squares between), auch SSR (sum of squares regression) genannt, ist die Summe der quadrierten Differenzen zwischen den einzelnen Gruppenmittelwerten und dem Gesamtmittelwert, während die SSE (sum of squares of errors) die Summe der quadrierten Differenzen zwischen jeder einzelnen Beobachtung und dem Gruppenmittelwert der betreffenden Beobachtung symbolisiert. SST (sum of squares total) ist die Summe der quadrierten Differenzen zwischen jeder einzelnen Beobachtung und dem Gesamtmittelwert. (Zach in statology, 2020)

Mathematisch ausgedrückt sehen die jeweiligen Abweichungsquadrate so aus:

$$SSB = \sum n_j \times (\bar{X}_j - \bar{X})^2$$

$$SSE = \sum (X - \bar{X}_j)^2$$

$$SST = SSB + SSE$$

wo n_j die Stichprobengrösse der j-ten Gruppe, \bar{X}_j den Mittelwert der j-ten Gruppe und \bar{X} den Gesamtmittelwert symbolisieren. (Cuemath, o.J.)

Weiter muss man die Freiheitsgrade der Datenwerte bestimmen, welche sich folgendermassen berechnen lassen:

$$Df_1 = k - 1$$

$$Df_2 = N - k$$

$$Df_3 = N - 1$$

wo k die Anzahl an Gruppen und N die totale Anzahl an Datenpunkten beschreibt. (Cuemath, o.J.)

Des Weiteren müssen die durchschnittlichen Quadrate ausgerechnet werden, welche es ermöglichen, den F-Wert zu ermitteln.

$$MSB = \frac{SSB}{Df_1}$$

$$MSE = \frac{SSE}{Df_2}$$

Zum Schluss findet man nun den F-Wert, indem man das MSB durch das MSE teilt:

$$f = \frac{MSB}{MSE}$$

Nun folgt eine weitere Berechnung, welche den entscheidenden p-Wert liefern wird. Dieser p-Wert wird es dann ermöglichen, zu bestimmen, ob ein signifikanter Unterschied vorhanden ist oder nicht. Der Name des p-Werts stammt von *probability*, also Wahrscheinlichkeit. Dementsprechend ist die Berechnung des p-Werts eine Wahrscheinlichkeitsberechnung, genauer genommen die Fläche unter der Kurve, also ein Integral, der f-Kurve:

Die blau eingefärbte Fläche stellt hier den p-Wert dar und der rote Punkt den Wert f . Die f-Kurve variiert je nach ausgewähltem α , dem Signifikanzniveau. Da in der Wissenschaft nahezu immer mit $\alpha = 0.05$, also einem Signifikanzniveau von 95 % gearbeitet wird, entschied auch ich mich für diesen Wert.

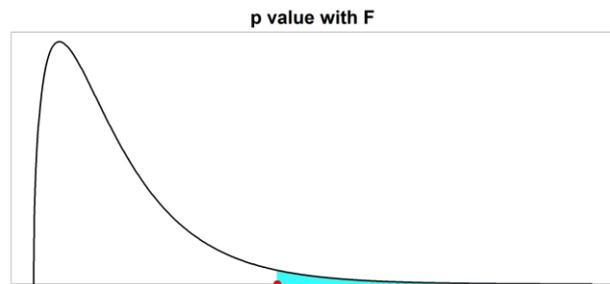


Abbildung A4. Geometrische Darstellung der Bestimmung des p-Werts (hellblaue Fläche) von einem gegebenen f-Wert (roter Punkt). Statkat, 2023.

Je grösser der f-Wert, desto kleiner die Fläche unter der immer flacher werdenden Kurve und deswegen auch desto kleiner das p . Damit der f-

Wert seinerseits möglichst gross ist, muss das *Mean Square of Error (MSE)* möglichst klein sein, denn die Division durch eine immer kleiner werdende Zahl ergibt ein immer grösseres Resultat. Das MSE wiederum ist genau dann sehr klein, wenn der Df_2 sehr gross ist, da die Division durch eine immer grösser werdende Zahl ein immer kleineres Resultat ergibt. Da dieser Freiheitsgrad vor allem vom N , also der Populationsgrösse der Studie abhängt, ist es bei einer ANOVA stets entscheidend, eine genügend hohes N zu haben. Eine zu kleine *sample size* erschwert es massiv oder verunmöglicht es gar komplett, einen statistischen Unterschied nachweisen zu können.

Das p symbolisiert die Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese zum ausgewählten Signifikanzniveau zutrifft. Befindet sich der p-Wert unter dem in der Wissenschaft propagierten Schwellenwert von 0.05, bedeutet dies im Umkehrschluss eine über 95-prozentige Wahrscheinlichkeit, dass es beim ausgewählten Signifikanzniveau α eine statistische Signifikanz gibt.

10.3.3. Resultate der Zweistichproben t-Tests bei abhängigen Stichproben

Tabelle A3. Darstellung der Resultate der Zweistichproben t-Tests bei abhängigen Stichproben mit der jeweilig untersuchten Nullhypothese. Auszug aus Excel, gelb hervorgehoben sind die kritischen Werte zur Bestimmung einer Signifikanz zu erkennen, die $P(T \leq t)$ einseitig.

$H_{0.1}: \mu_1 = \mu_2$			$H_{0.2}: \mu_1 = \mu_3$			$H_{0.3}: \mu_2 = \mu_3$		
Zweistichproben t-Test bei abhängigen Stichproben			Zweistichproben t-Test bei abhängigen Stichproben			Zweistichproben t-Test bei abhängigen Stichproben		
	Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 3		Variable 2	Variable 3
Mittelwert	11.5636364	10.8909091	Mittelwert	11.5636364	9.87272727	Mittelwert	10.8909091	9.87272727
Varianz	6.36161616	10.0989899	Varianz	6.36161616	13.2242424	Varianz	10.0989899	13.2242424
Beobachtunge	55	55	Beobachtunge	55	55	Beobachtunge	55	55
Pearson Korrel	0.59696036		Pearson Korrel	0.42589965		Pearson Korrel	0.70385007	
Hypothetische	0		Hypothetische	0		Hypothetische	0	
Freiheitsgrade	54		Freiheitsgrade	54		Freiheitsgrade	54	
t-Statistik	1.90056234		t-Statistik	3.65474307		t-Statistik	2.84283358	
P(T<=t) einseit	0.03135146		P(T<=t) einseit	0.00029183		P(T<=t) einseit	0.00314964	
Kritischer t-W€	1.67356491		Kritischer t-W€	1.67356491		Kritischer t-W€	1.67356491	
P(T<=t) zweise	0.06270292		P(T<=t) zweise	0.00058366		P(T<=t) zweise	0.00629928	
Kritischer t-W€	2.00487929		Kritischer t-W€	2.00487929		Kritischer t-W€	2.00487929	

10.3.4. Code für mehrfaktorielle ANOVA in RStudio

Dieser Code wurde vom Autor dieser Arbeit in Zusammenarbeit mit Patric Müller erstellt.

```
library("readxl")
library(ez)
library(afex)
data <- read_excel("C:/Users/jonas/Downloads/Final_data_R_copy2.xlsx")1
zz <- data.frame(data[,c(1,2,3,4,6,7)])
zz$Person <- as.factor(zz$Person)
zz$Test <- as.factor(zz$Test)
zz$Alter <- as.factor(zz$Alter)
zz$Medienkonsum <- as.factor(zz$Medienkonsum)
zz$socmed <- as.factor(zz$socmed)

fit1 <- ezANOVA(data=zz, dv=Resultat1, wid = Person, within = Test, between =
c(Alter,Medienkonsum,socmed),return_aov=TRUE)

summary(fit1$aov)

fit2 <- aov_ez(id = 'Person', dv = 'Resultat1', data = zz, between = c('Medienkonsum','Alter'), within =
'Test')
fit2
nice(fit2,correction='none')
summary(aov(data=zz, Resultat1~Test*Alter*Medienkonsum+Person))
```

¹ Dateipfad von Gerät zu Gerät verschieden!

10.3.5. Resultattabelle der mehrfaktoriellen ANOVA

Tabelle A4. Tabelle mit den Resultaten aus der Subgruppenanalyse, Auszug aus RStudio. Unter der Spalte 'Effect' ist die jeweils untersuchte Gruppierungsvariable zu erkennen. Relevant zur Beurteilung einer statistischen Signifikanz ist der Wert in der Spalte 'p value' und die Bewertung gemäss den 'Significance' codes'.

	Effect	df	MSE	F	ges	p.value	
1	Medienkonsum	1, 47	22.36	0.19	.003	.669	
2	Alter	1, 47	22.36	2.67	.040	.109	
3	socmed	1, 47	22.36	0.95	.015	.334	
4	Medienkonsum:Alter	1, 47	22.36	0.15	.002	.699	
5	Medienkonsum:socmed	1, 47	22.36	0.08	.001	.782	
6	Alter:socmed	1, 47	22.36	2.09	.031	.155	
7	Medienkonsum:Alter:socmed	1, 47	22.36	0.42	.006	.519	
8	Test	2, 94	4.23	8.58	***	.048	<.001
9	Medienkonsum:Test	2, 94	4.23	0.64	.004	.528	
10	Alter:Test	2, 94	4.23	3.38	*	.019	.038
11	socmed:Test	2, 94	4.23	0.84	.005	.436	
12	Medienkonsum:Alter:Test	2, 94	4.23	1.91	.011	.154	
13	Medienkonsum:socmed:Test	2, 94	4.23	0.55	.003	.579	
14	Alter:socmed:Test	2, 94	4.23	0.60	.003	.554	
15	Medienkonsum:Alter:socmed:Test	2, 94	4.23	1.97	.011	.145	

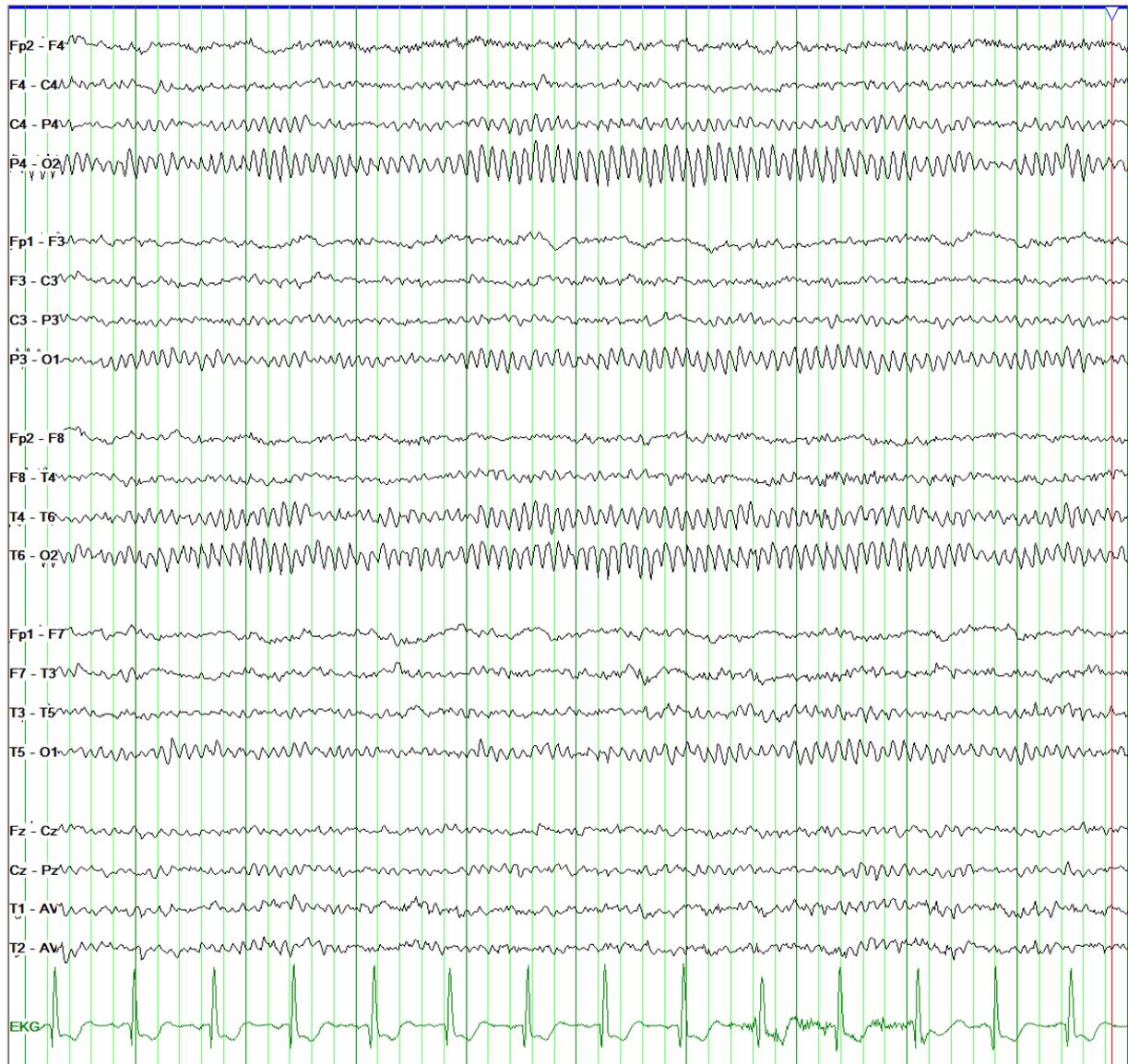
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '+' 0.1 ' ' 1							

10.4. EEG-Spektren

Alle folgenden EEG Spektren wurden am 19.9.2023 unter Beaufsichtigung von Dr. med. Joubin Gandjour in der Praxis 'neuromedico' (Bahnhofstr. 28, 8808 Pfäffikon) aufgezeichnet. Als Proband diente der Verfasser dieser Arbeit. Die Spektren wurden später hauptsächlich von Dr. Gandjour ausgewertet.

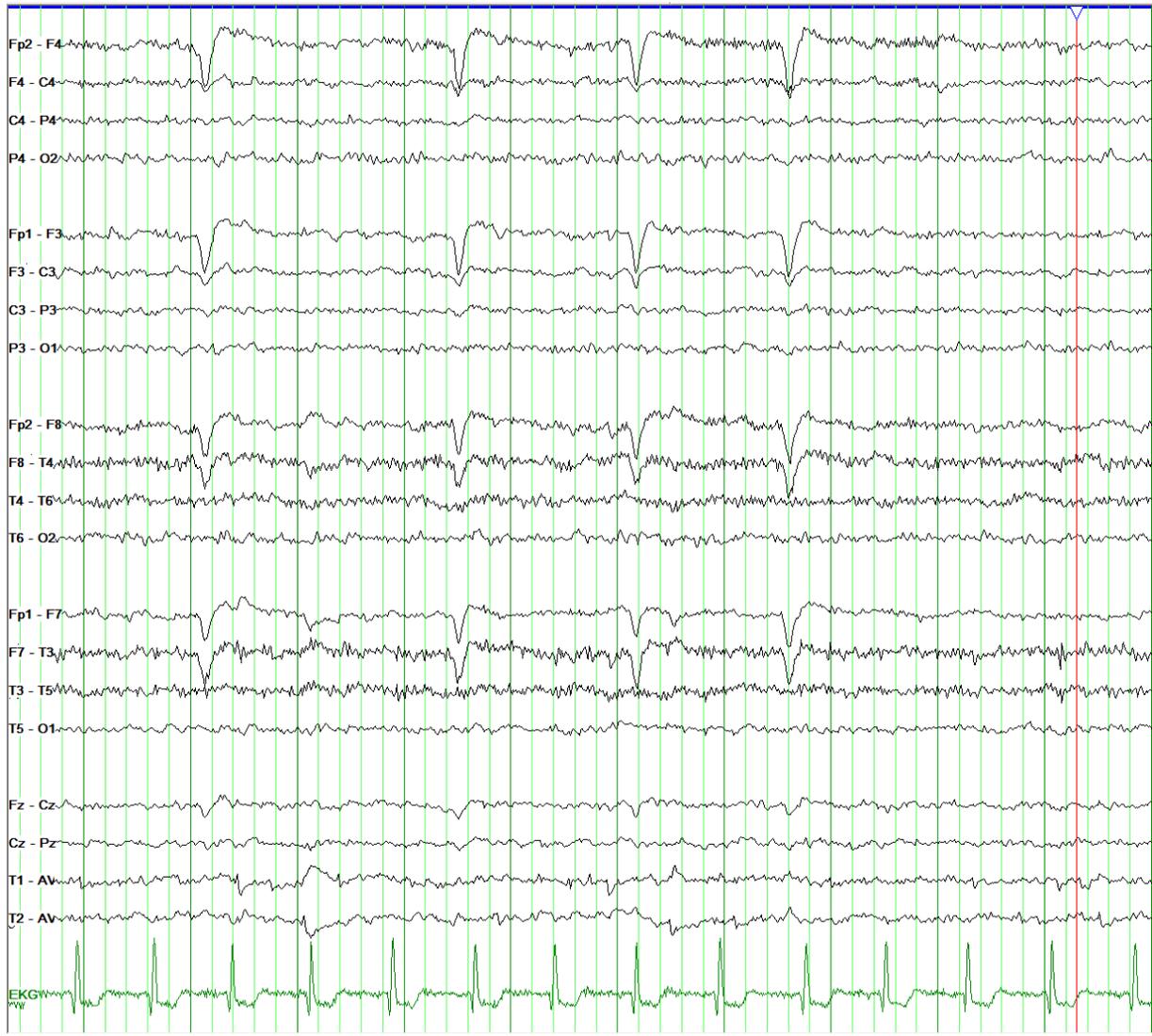
1) Phase vor Beginn der Untersuchung

Normaler Alphagrundrhythmus, 10.5/s:



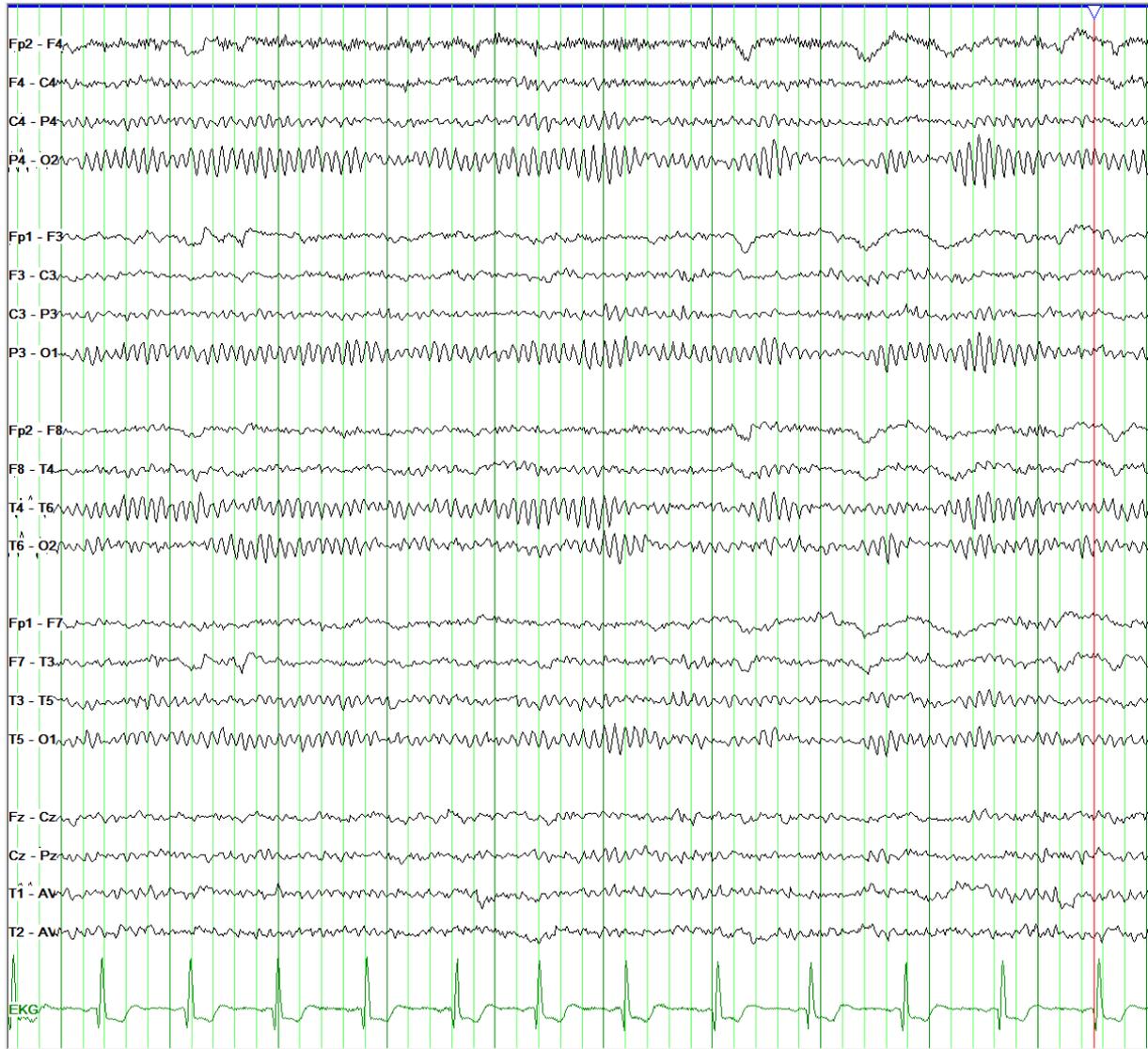
2i) Erste Memorierungsphase

Grundrhythmus nicht abgrenzbar bei geöffneten Augen, Lidschlagartefakte:



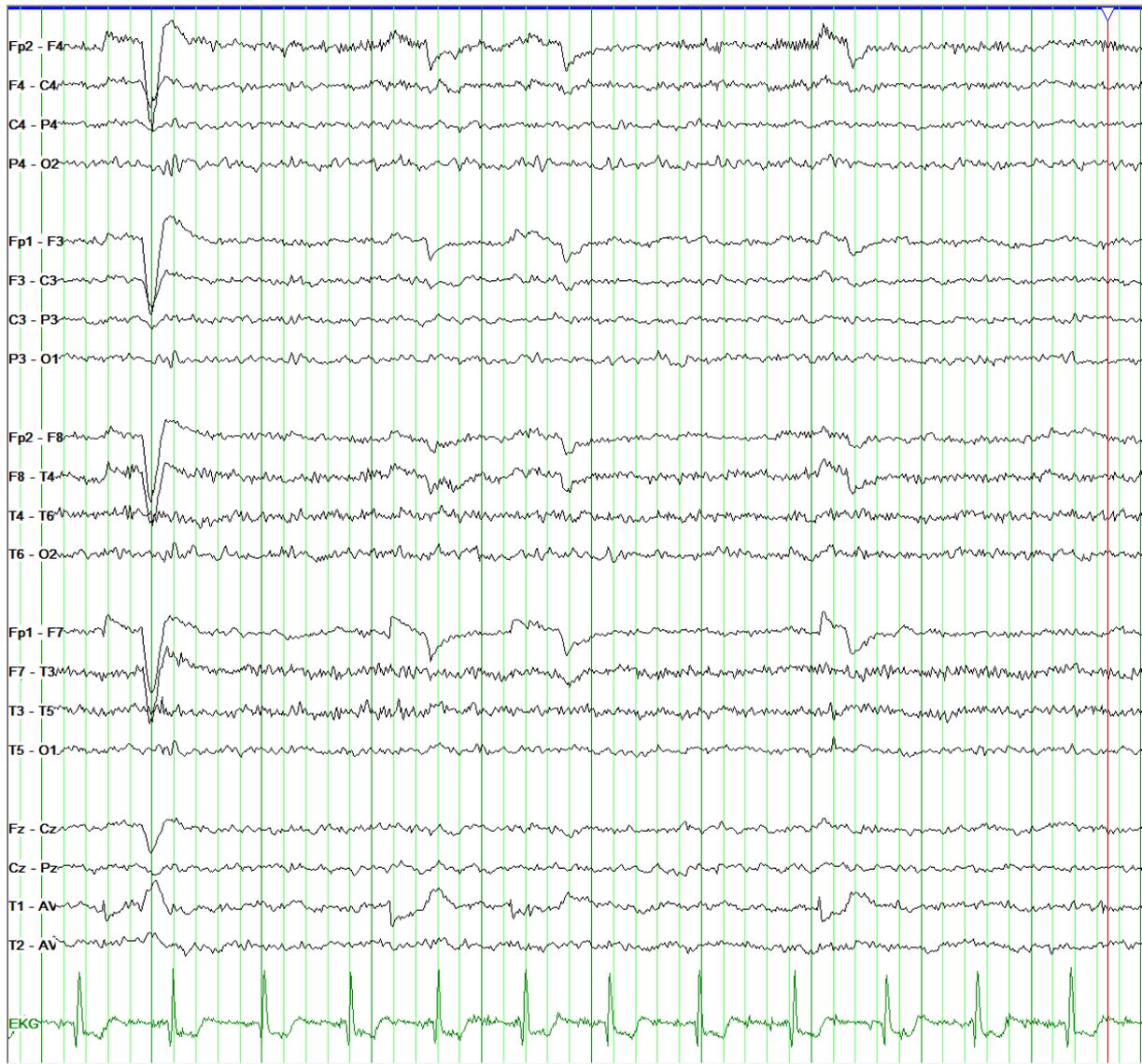
2ii) Ruhephase in erster Testung

Normaler Alphagrundrhythmus bei geschlossenen Augen, 11/s:



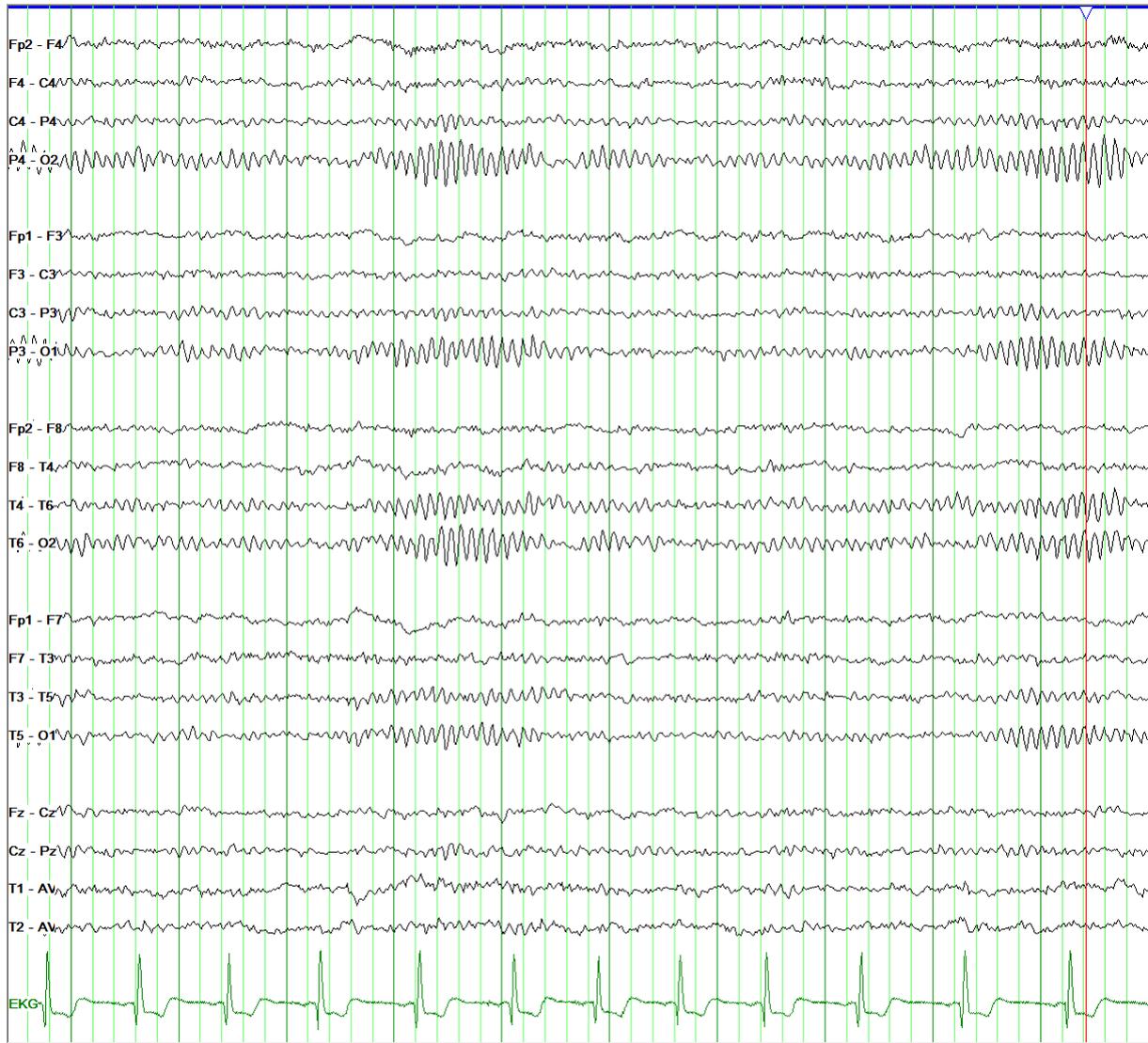
2iii) Abrufphase der ersten Testung

Grundrhythmus nicht abgrenzbar bei geöffneten Augen, Lidschlagartefakte:



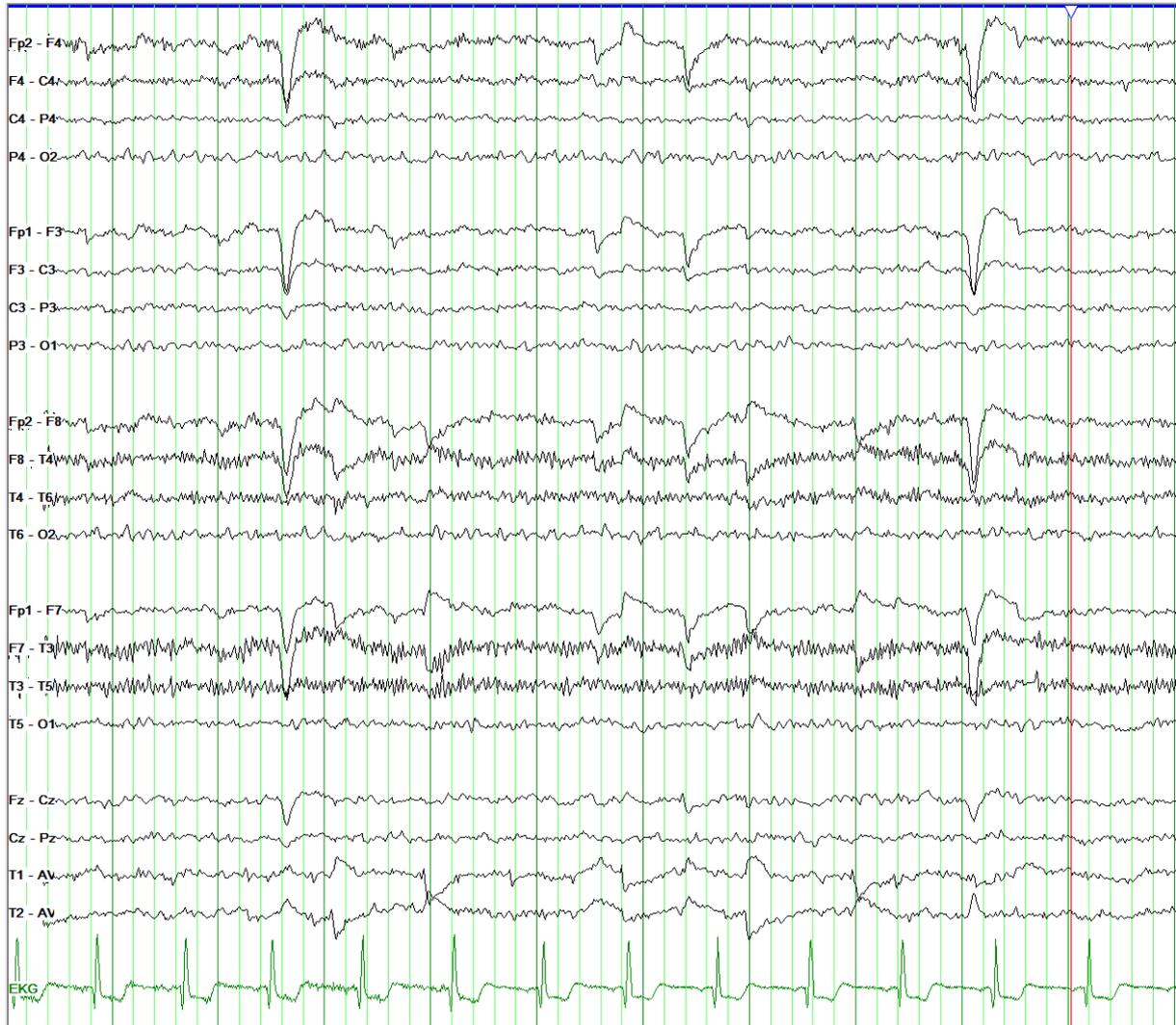
3) Ruhephase zwischen den beiden Testungen

Normaler Alphagrundrhythmus, 10.5-11/s:



4i) Memorierungsphase der zweiten Testung

Grundrhythmus nicht abgrenzbar bei geöffneten Augen, Lidschlagartefakte:



4ii) Ablenkungsphase der zweiten Testung – passiver Konsum sozialer Medien

Grundrhythmus nicht abgrenzbar bei geöffneten Augen, Lidschlagartefakte, Muskelartefakte über den Schläfen beidseitig:



4iii) Abrufphase der zweiten Testung

Grundrhythmus nicht abgrenzbar bei geöffneten Augen, Lidschlagartefakte, Muskelartefakte über den Schläfen bds.



5) Aufzeichnung nach der EEG-Untersuchung

Normaler Alphagrundrhythmus bei geschlossenen Augen, 10.5-11/s:



11. REDLICHKEITSERKLÄRUNG

Kantonsschule Freudenberg Zürich

Gymnasium Freudenberg

Maturitätsarbeit

Redlichkeitserklärung

Originalarbeit

Ich erkläre, dass es sich bei der eingereichten schriftlichen Arbeit mit dem Titel

Handys und Hirne – Welchen Einfluss haben digitale Medien auf unser Gedächtnis und Erinnerungsvermögen? – Neurobiologische Analyse anhand empirischer Studie

um eine von mir selbst und ohne unerlaubte Beihilfe verfasste Originalarbeit handelt. Ich bestätige, dass die Arbeit nicht bereits früher am Gymnasium Freudenberg oder an einer anderen Schule eingereicht worden ist.

Verweise auf Quellen

Ich erkläre, dass sämtliche Bezüge auf fremde Quellen (Originaltexte, Sekundärliteratur, Bilder, Tabellen usw.), die in der oben genannten Arbeit verwendet wurden, deutlich als solche gekennzeichnet und mit korrekten Quellenangaben versehen sind. Ich erkläre, dass ich Künstliche Intelligenz (z.B. ChatGPT) als Hilfsmittel ausschliesslich in der Art und Weise eingesetzt habe, wie es in der schriftlichen Arbeit deklariert ist.

Plagiats-Prüfung

Ich bin damit einverstanden, dass meine Arbeit zur Überprüfung der korrekten und vollständigen Angabe der Quelle mit Hilfe einer Software (Plagiatserkennungstool) geprüft wird. Zu meinem eigenen Schutz wird die Software auch dazu verwendet, später eingereichte Arbeiten mit meiner Arbeit elektronisch zu vergleichen und damit Abschriften und eine Verletzung meines Urheberrechts zu verhindern. Falls Verdacht besteht, dass mein Urheberrecht verletzt wurde, erkläre ich mich damit einverstanden, dass die Schulleitung meine Arbeit zu Prüfzwecken herausgibt.

Massnahmen bei Plagiaten und anderen Unredlichkeiten

Ich bestätige, dass ich die Plagiarismus-Richtlinien des Gymnasiums Freudenberg gelesen und verstanden habe. Ich nehme zur Kenntnis, dass bei unerlaubter Beihilfe sowie bei mangelhaften Quellenangaben (Plagiaten) rechtliche Schritte unternommen werden und ich mit disziplinarischen sowie mit anderen Massnahmen rechnen muss, welche in folgenden Erlassen vorgesehen sind:

- Schulordnung der Kantonsschulen vom 5. April 1977
- Reglement für die Maturitätsprüfungen an den Gymnasien des Kantons Zürich vom 10. März 1998 (Revisionen 26.5.2008/30.8.2010)
- Plagiarismus-Richtlinien des Gymnasiums Freudenberg vom 13.6.2008.

Name: Himmelberger

Vorname: Jonas Andrin

Datum: 12.12.2023

Unterschrift Schülerin/Schüler: