

Aus dem
Institut für Medizinische Psychologie und
Verhaltensneurobiologie

**Stimulus-Response-Lernen in Virtueller Realität und im
Labor: Kontrolle der reinen Kontextauswirkung ohne
Konsolidierungsphase**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

**vorgelegt von
Thoma, Amelie Sophie
2026**

Dekanin: Professorin Dr. S. Y. Brucker

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. K. Rauss

2. Berichterstatter: Professorin Dr. B. Derntl

Tag der Disputation: 17.07.2026

Für meine Oma

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
1 Einleitung	1
1.1 Gedächtnis	1
1.1.1 Gedächtniskonsolidierung	3
1.2 Stimulus-Response-Learning	5
1.3 Kontext	8
1.4 Virtuelle Realität	9
1.4.1 Risiken der VR-Technologie	10
1.4.2 Immersives Lernen in der virtuellen Realität	12
1.5 Fragestellung	14
2 Material und Methoden	15
2.1 Proband:innen	15
2.2 Versuchsablauf	17
2.2.1 Versuchsaufbau 2D	17
2.2.2 Versuchsaufbau VR	18
2.3 Versuche	21
2.3.1 Stimulus-Response-Lernen	21
2.3.2 Psychomotorischer Vigilanztest	24
2.3.3 Fragebögen	25
2.3.3.1 Demographische Informationen	25
2.3.3.2 Edinburgh Handedness Inventory	25
2.3.3.3 Stanford Sleepiness Scale	25
2.3.3.4 Tiredness Symptom Score	25
2.3.3.5 Compliance and Health-Check	25
2.3.3.6 Misery Score	26
2.3.3.7 Simulator Sickness	26
2.4 Daten- und Statistische Auswertung	26

3	Ergebnisse.....	27
3.1	Ergebnis S-R Lernen	27
3.1.1	Wechselkosten bei gleichbleibendem Kontext bzw. Kontextwechsel 27	
3.1.2	Einfluss von Kontextwiederholung bzw. Kontextwechsel auf Richtigkeit beim S-R-Lernen	31
3.2	Ergebnis Wiedererkennungsaufgabe und explizite Gedächtnisaufgabe 34	
3.2.1	Einfluss von Kontextwiederholung bzw. Kontextwechsel auf Richtigkeit bei der Wiedererkennungsaufgabe	34
3.2.2	Einfluss von Kontextwiederholung bzw. Kontextwechsel auf Richtigkeit bei der expliziten Gedächtnisaufgabe	37
3.3	Kontrollvariablen.....	40
3.3.1	PVT	40
3.3.2	Fragebögen.....	42
3.3.2.1	Stanford Sleepiness Scale	42
3.3.2.2	Tiredness Symptom Score	44
3.3.2.3	Compliance & Health-Check	47
3.3.2.4	Simulator Sickness & Misery Score	47
4	Diskussion	48
4.1	S-R Lernen	49
4.2	Wiedererkennungsaufgabe.....	51
4.3	Explizite Gedächtnisaufgabe	51
4.4	Vergleich 2D/VR.....	52
5	Zusammenfassung	55
6	Literaturverzeichnis.....	56
7	Erklärung zum Eigenanteil	62
8	Veröffentlichungen.....	63
9	Danksagung.....	64
10	Anhang	65

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Probandeneinteilung	16
Abbildung 2: Versuchsablauf schematisch	20
Abbildung 3: Enkodierung des S-R-Lernen	21
Abbildung 4: S-R-Aufgaben in der Abrufphase	23
Abbildung 5: Einfluss des Kontexts auf die kombinierten Wechselkosten der Reaktionszeit	29
Abbildung 6: Einfluss des Kontexts auf die kombinierten Wechselkosten der Reaktionszeit in aufgeteilten Probandengruppen	31
Abbildung 7: Einfluss des Kontexts auf S-R-Lernen	32
Abbildung 8: Einfluss des Kontexts auf S-R-Lernen in aufgeteilten Probandengruppen	33
Abbildung 9: Einfluss des Kontexts auf Richtigkeit bei der Wiedererkennungsaufgabe	35
Abbildung 10: Einfluss des Kontexts auf Richtigkeit bei der Wiedererkennungsaufgabe in aufgeteilten Probandengruppen	36
Abbildung 11: Einfluss des Kontexts auf Richtigkeit bei der expliziten Gedächtnisaufgabe	38
Abbildung 12: Einfluss des Kontexts auf Richtigkeit bei der expliziten Gedächtnisaufgabe bei aufgeteilten Probandengruppen	39
Abbildung 13: psychomotorische Vigilanztest (korrigiert)	40
Abbildung 14: Vergleich der zwei PVT in aufgeteilten Gruppen	42
Abbildung 15: Müdigkeit nach "SSS" vor (A) bzw. nach (B) dem ersten Hauptversuch	43
Abbildung 16: Müdigkeit nach "SSS" vor (A) bzw. nach (B) dem ersten Hauptversuch bei aufgeteilten Probandengruppen	44
Abbildung 17: Müdigkeit nach "TSS" vor (A) bzw. nach (B) dem ersten Hauptversuch	45
Abbildung 18: Müdigkeit nach "TSS" vor (A) bzw. nach (B) dem ersten Hauptversuch bei aufgeteilten Probandengruppen	47

Abkürzungsverzeichnis

2D	Zweidimensional
EHl	Edinburgh Handedness Inventory
MISC	Misery Scale
PVT	Psychomotorischer Vigilanztest
S-R	Stimulus-Response
SSS	Stanford Sleepiness Scale
TSS	Tiredness Symptom Score
VR	Virtuelle Realität

1 Einleitung

1.1 Gedächtnis

Erinnerungen zu speichern und abzurufen ermöglicht es Lebewesen sich wechselnden Umgebungseinflüssen anzupassen und zu überleben.

Unter dem Begriff Gedächtnis wird eine Vielzahl verschiedener Abläufe zur Speicherung, Bewahrung und Abruf von Erinnerungen und Gelerntem zusammengefasst. Das Gedächtnis kann in unterschiedliche Systeme eingeteilt werden, beispielsweise zeitlich oder anhand des Bewusstseinsgrades.

Die folgenden grundlegenden Beschreibungen stützen sich maßgeblich auf das Lehrbuch „Kognitive Neurowissenschaften“ von L. Jäncke aus dem Jahre 2013. Zeitlich kann das Ultrakurzzeitgedächtnis vom Kurzzeitgedächtnis und vom Langzeitgedächtnis unterschieden werden. Das Ultrakurzzeitgedächtnis behält Informationen nur für wenige Sekunden. Es beinhaltet mindestens einen visuellen und einen akustischen Teil (Zoelch et al., 2019). Das Kurzzeitgedächtnis speichert Informationen für Sekunden bis wenige Minuten, die dort gespeicherten Informationen werden entweder ins Langzeitgedächtnis übergeben, im Arbeitsgedächtnis verarbeitet oder vergessen. Das Langzeitgedächtnis stellt einen unbegrenzten Speicher dar. Gelerntes kann unbegrenzt lange gespeichert werden, und es kann unbegrenzt viel gespeichert werden. Das Arbeitsgedächtnis dient zur Verarbeitung der ihm zur Verfügung gestellten Informationen (Jäncke, 2013).

Bei dem Bewusstseinsgrad des Langzeitgedächtnisses kann das deklarative (explizites, bewusste) Gedächtnis und das nicht-deklarative (implizite, unbewusste) Gedächtnis unterschieden werden. Das deklarative Gedächtnis setzt sich aus dem semantischen Gedächtnis und dem episodischen Gedächtnis zusammen. Das semantische Gedächtnis ist für Fakten und abstraktes Wissen zuständig. Das episodische Gedächtnis speichert Erinnerungen an Ereignisse in einem autobiographischen Kontext. Im episodischen Gedächtnis werden Emotionen mit den Erinnerungen

abgespeichert. Es ist unklar, ob die beiden Gedächtnisformen unterschiedliche Gedächtnissysteme sind oder ein System zusammen bilden, das je nach Nutzung anders agiert (Ullman, 2004; Rasch & Born, 2013; Zoelch et al., 2019).

Das nicht-deklarative Gedächtnis kann in das perzeptuelle Gedächtnis, das prozedurale Gedächtnis, das Gedächtnis für elementare Aspekte und das Gedächtnis für assoziative Zusammenhänge eingeteilt werden (Jäncke, 2013).

Das prozedurale Gedächtnis umfasst Fähigkeiten wie Fahrrad fahren oder Laufen. Diese sogenannten Skills bedürfen einer langen Lernphase, können nach dem Erlernen aber unbewusst ausgeführt werden. Das perzeptuelle Gedächtnis speichert Wahrnehmungen ab, die nicht ans semantische Gedächtnis gekoppelt sind. Dadurch können Orte oder Menschen erkannt werden, ohne dass man sich bewusst ist, woher oder warum man sie kennt. Das Gedächtnis für elementare Aspekte wird durch Konditionierung gebildet. Die Konditionierung kann sowohl klassisch oder instrumentell geschehen. Diese Art des Gedächtnisses beinhaltet die Verknüpfung von Reizen und Reaktionen bei der klassischen Konditionierung, sowie die Verknüpfung von Verhalten und Konsequenz bei der instrumentellen Konditionierung. Das Gedächtnis für assoziative Zusammenhänge umfasst Gelerntes, das als sogenanntes „Priming“ (Bahnung) dienen kann. Hierbei kann neu gelerntes schneller zugeordnet werden, wenn es mit bereits vorhandenem unbewusstem Wissen verglichen werden kann (Jäncke, 2013; Squire, 1992; Zoelch et al., 2019). Beim Priming werden zueinander in Bezug stehende Reize unterbewusst vom Gehirn verarbeitet und lösen eine Reaktion aus. Wenn das Gehirn zu einem Reiz bereits eine Reaktion verknüpft hat, wird bei wiederholtem Kontakt zu demselben oder einem ähnlichen Reiz die Reaktion schneller ausgeführt. Reize können von außen kommen wie beispielsweise Bilder, Geräusche oder andere Sinneseindrücke. Die Reize können allerdings auch vom Gehirn selbst ausgelöst werden in Form von Erinnerungen und Gefühlen. Nach einem Reiz und der Bildung von einer Gedächtnisspur wird das Gehirn der vorhandenen Spur folgen und die Reaktion auf den Reiz schneller auslösen (Kolodej, 2022).

Deklarative Erinnerungen können bewusst oder unbewusst abgespeichert werden, sie werden aber meist bewusst abgerufen. Episodische Erinnerungen werden schnell geformt, sind aber anfällig gegenüber dem Verfall von Erinnerungen. Semantische Erinnerungen entstehen hauptsächlich aus dem wiederholten Encodieren oder Aktivieren von episodischen Erinnerungen. Um das Speichern von deklarativen Erinnerungen von mehr als 15 Minuten zu ermöglichen, muss der Hippocampus intakt sein (Rasch & Born, 2013; Frankland & Bontempi, 2005).

Nicht-deklarative Erinnerungen können auch bei beschädigtem Hippocampus geformt und gespeichert werden und sind nicht anfällig für den Verfall. Bei der Ausübung einer Fähigkeit ist es schwierig, die aktiven Gedächtnissysteme auseinander zu halten, es werden meist das deklarative und nicht-deklarative Gedächtnis zusammen eingesetzt. Vor allem beim Erlernen neuer Fertigkeiten arbeiten beide Gedächtnissysteme miteinander (Rasch & Born, 2013; Zoelch et al., 2019).

1.1.1 Gedächtniskonsolidierung

Neu Gelerntes wird in drei Phasen verarbeitet. Die erste Phase wird als Enkodierung bezeichnet, dabei wird ein wahrgenommener Reiz in eine Erinnerung umgewandelt, diese ist aber sehr anfällig gegenüber Veränderungen und dem simplen Vergessen. In der zweiten Phase, der Konsolidierung, wird das Gelernte gefestigt und verarbeitet. Dabei wird das Gelernte in das bestehende Wissensnetzwerk integriert. In der letzten Phase, dem Abruf, wird das im Langzeitgedächtnis gespeicherte Wissen abgerufen und kann so erneut wahrgenommen und verarbeitet werden (Rasch & Born, 2013). Konsolidierung findet sowohl während Ruhephasen im Wachzustand, als auch und insbesondere im Schlaf statt.

Es werden zwei zentrale Aspekte der Konsolidierung diskutiert: Einerseits gibt es zahlreiche Studien zur synaptischen Konsolidierung, welche zu einer Renormalisierung des globalen Erregungsniveaus beiträgt, nachdem dieses

sich im Laufe des Wachzustandes durch kontinuierliche Potenzierung synaptischer Aktivitäten erhöht (Dudai et al., 2015). Bei der synaptischen Konsolidierung, auch Zellkonsolidierung genannt, wird die Genexpression der Synapsen verändert, um deren Wirksamkeit anzupassen. Die synaptische Konsolidierung festigt Erinnerungen innerhalb weniger Stunden (Squire et al., 2015).

Demgegenüber wird als Systemkonsolidierung die Neustrukturierung des Langzeitgedächtnisses bezeichnet, nachdem die Enkodierungsphase abgeschlossen ist und Informationen von Kurzzeit- in Langzeitspeicher übertragen werden. Hierbei wird der Ort der Speicherung immer mehr vom Hippocampus zum Neocortex verlagert. Die Systemkonsolidierung dauert Tage bis Monate an, teilweise auch Jahre, abhängig von dem Gedächtnissystem und der Erinnerung. Die Systemkonsolidierung wird geprägt durch wiederholte Wellen von synaptischer Konsolidierung in den Gehirnarealen, in dem das Neugelernte gespeichert wird (Dudai et al., 2015). Die Geschwindigkeit der Konsolidierung ist abhängig von dem vorher vorhandenen Wissen, an welches das neu Gelernte angeknüpft werden kann. Solch vorhandenes Wissen kann z.B. in Form eines Schemas angelegt sein. Ein Schema ist ein Netzwerk, das aus mehrfach erlebten ähnlichen Situationen, oder ähnlichem Wissen gebildet wird (van Kesteren et al., 2012; Audrain & McAndrews, 2022).

1900 wurde von Müller und Pilzecker die Konsolidierungshypothese aufgestellt. Diese beruht auf der Untersuchung von dem Einfluss von nachträglicher Beeinflussung auf das Gelernte. Hierbei wurde untersucht, inwieweit nachträgliche Beeinflussung Einfluss auf das Gelernte hat. Sie stellten fest, dass neue Erinnerungen eine Zeitlang anfällig für Beeinflussungen sind (Squire et al., 2015). Je früher die Beeinflussung stattfindet, desto gravierender ist ihre Auswirkung. Daraus kann geschlossen werden, dass die Erinnerungen mit verstrichener Zeit gefestigter sind als direkt nach der Lernphase.

Heutzutage ist die Konsolidierungshypothese weitgehend akzeptiert. Viele Studien konnten belegen, dass durch beispielsweise psychische, pharmakologische und elektrophysiologische Beeinflussung das Gelernte

leichter vergessen, oder stärker gefestigt wird (McGaugh, 2000). Neuere Studien zeigen, dass die Konsolidierung nicht nur einmal stattfindet. Beim Abrufen der Erinnerungen kann eine „Rekonsolidierung“ starten, wenn die Erinnerungen mit neuem Wissen ergänzt werden. Im Zeitraum der Rekonsolidierung sind die Erinnerungen erneut anfällig gegen Beeinflussung, werden wie bei der ersten Konsolidierung aber mit der Zeit resistent (Dudai et al., 2015; Rasch & Born, 2013; Alberini, 2011).

1.2 Stimulus-Response-Learning

1905 stellte Edward Thorndike die Stimulus-Response-Theorie auf. Diese besagt, dass das Verhalten durch positive und negative Reaktionen und Ergebnisse gelenkt wird. Diese Theorie diente als Grundlage für viele Versuche zur Konditionierung und dem Verhalten von Lebewesen. Studien und Experimente konnten beweisen, dass das Gehirn anders auf neue Stimuli im Vergleich zu bekannten Stimuli reagiert.

Durch Ausführen einer Reaktion nach einem Reiz wird eine Erinnerungsspur im Gehirn angelegt. Durch die Wiederholung des spezifischen Reizes wird die angelegte Verknüpfung gefestigt. Bei erneutem Aufrufen der Verknüpfung wird die Reaktion schneller ausgeführt. Priming kann die Reaktionszeit, die Genauigkeit oder die Hemmschwelle, um auf einen Reiz zu reagieren, verändern (Henson et al., 2014). Die Reaktion auf den Reiz läuft dann schnell und ohne bewusste Erinnerung an vergangene Kontaktpunkte mit dem Stimulus ab (Kolodej, 2022). Priming kann schon ab einer Wiederholungszahl von zwei Wiederholungen nachgewiesen werden (Miao et al., 2023).

Beim Stimulus-Response-Lernen (S-R-Lernen) wird eine solche verknüpfte Erinnerung geschaffen. Diese Erinnerungsspur verbindet den Stimulus und die nachfolgende Reaktion oder den Stimulus und die Aufgabe, die mit dem Stimulus einhergeht (Miao et al., 2023). Das Kreieren dieser Erinnerungen wird durch wiederholtes Durchführen von Stimulus-Response-Aufgaben erreicht: Je häufiger eine Stimulus-Response Aufgabe ohne Änderung durchgeführt wird,

desto schneller wird die Reaktionsgeschwindigkeit und desto geringer die Fehlerzahl (Logan, 1990). Es wird vermutet, dass durch das Priming Teilschritte bei der Verarbeitung übersprungen werden können (Henson et al., 2014).

Wird der gleiche Stimulus in einer anderen Aufgabe gezeigt oder wird eine andere Reaktion gefordert, sinkt hingegen die Reaktionsgeschwindigkeit und es steigt die Fehlerzahl. Dies wird als „negatives Priming“ bezeichnet. Negatives Priming entsteht durch die automatische Zuordnung des Stimulus zu der, vorher durch Priming gelernten, Reaktion (Rothermund et al., 2005).

Es wurde angenommen, dass bei Stimulus-Response Learning nur eine Bahnung der Assoziation zwischen dem Stimulus und der darauffolgenden Aktion stattfindet. Neuere Studien zeigen allerdings, dass auch die Assoziation zwischen der Klassifikation, die auf einen Reiz folgend eingeteilt wird und dem Reiz eine separate Bahnung bedingt. Es gibt also mindestens zwei Erinnerungsspuren, eine Bahnung für die Stimulus-Klassifikation Assoziation und eine Bahnung für die Stimulus-Aktion Assoziation (Moutsopoulou & Waszak, 2013).

Das Priming für die verschiedenen Assoziationen hat additive Effekte, so können alle Assoziationen verbessert sein, ohne eine Auswirkung auf die Geschwindigkeit anderen Assoziationen zu haben. Sie verstärken oder beeinträchtigen sich nicht gegenseitig, können aber alle gleichzeitig verbessert werden (Moutsopoulou et al., 2018).

Eine Veränderung einer der beiden Komponenten der Assoziationen bewirkt eine Verschlechterung der Reaktionszeit und der Genauigkeit. Bei der Veränderung beider Komponenten, also sowohl der Klassifikation und Aktion verschlechtern sich die Reaktionszeit und die Genauigkeit mehr, als wenn nur eine Komponente geändert wird. Dies spricht dafür, dass die beiden Bahnungen mindestens teilweise unabhängig voneinander gespeichert und abgerufen werden (Moutsopoulou et al., 2018; Henson et al., 2014).

Die sinkende Reaktionsgeschwindigkeit wird als switch costs oder Wechselkosten bezeichnet. Wird die Klassifikationsaufgabe beispielsweise von

größer/kleiner zu lebendig/nicht-lebendig gewechselt oder die Aktion von Taste drücken zu laut sagen geändert, wird durch den gleichen Stimulus erst die geprimte Erinnerungsspur abgerufen. Dann muss die vorhandene Bahnung gelöst werden und der Stimulus komplett neu verarbeitet werden, damit steigt die Reaktionszeit und Fehlerzahl (Horner & Henson, 2009).

Stimulus-Aktion-Assoziationen werden kürzer gespeichert als Stimulus-Klassifikation-Assoziationen. Es wird vermutet, dass die Klassifikation eines Stimulus relevanter für das Verhalten ist, als die Aktion, die auf einen Stimulus folgt, da sich die Klassifikation nicht ändert, die Aktion aber in einem anderen Kontext bei gleichem Stimulus anders gewählt werden sollte (Moutsopoulou & Waszak, 2013). Beispielsweise ist die Klassifikation eines Tieres meist gleichbleibend als lebendig einzuordnen, egal wo die Person sich befindet, das Aufheben eines Gegenstandes oder Tastendrücken muss aber angepasst werden, je nach dem in welchem räumlichen Verhältnis sich die Person zum Gegenstand oder Taste befindet.

Auch beim Stimulus-Response Lernen ist die Erinnerungsspur der Stimulus-Aktion Assoziation anfälliger und verblasst schneller. Moutsopoulou et al. konnten 2018 nachweisen, dass Stimulus-Klassifikation Assoziationen auch noch eine Woche nach dem Lernen nachweisbar sind. Stimulus-Aktion Assoziationen waren nur noch nach einer Woche nachweisbar, wenn die gleiche Aufgabe in einem zweiten Test 24 Stunden nach dem ersten Versuch nochmals durchgeführt wurde. Bei diesem zweiten Test waren keine Erinnerungsspuren nachweisbar. Wenn ein zweiter Zwischenversuch mit anderen Stimuli 48 Stunden nach dem ersten Versuch durchgeführt wurde, wurden die Erinnerungsspuren miteinander verknüpft und waren eine Woche nach dem ersten Versuch ebenfalls nachweisbar. Die Stimulus-Klassifikation Assoziation und die Stimulus-Aktion Assoziation scheinen im Gehirn anders konsolidiert zu werden, mit unter anderem unterschiedlichen Schwerpunkten auf die längerfristige Speicherung der Erinnerungsspuren (Moutsopoulou et al., 2018).

1.3 Kontext

Auch der Kontext, also die Umgebung bei den Versuchen, spielt eine Rolle. In Versuchen mit Ratten, konnten McDonald et al. 2001 in mehreren unterschiedlichen Testaufbauten beweisen, dass der Kontext einen Einfluss auf das Stimulus-Response Lernen hat. Ratten wurden in ein Labyrinth mit acht Armen gesetzt. Vier der Arme des Labyrinths waren beleuchtet und hatten am Ende Futter, die dunklen Arme waren leer. Nachdem die Ratten dem Versuchsaufbau erlernt hatten, wurden sie in ein gleiches Labyrinth aber in einem anderen Raum gesetzt. Der Versuchsaufbau war gleich, die erleuchteten Arme hatten Futter, die Dunklen nicht. Die Ratten, die einen Kontextwechsel durchliefen, waren schlechter in den folgenden Versuchen als die Ratten, die im gleichen Raum wie beim Lernen getestet wurden.

Allerdings zeigte der Kontextwechsel eine positive Auswirkung, wenn die Aufgabe im Labyrinth von Futter in den erleuchteten Armen zu Futter in den dunklen Armen wechselte. Die Ratten, die im gleichen Raum blieben, brauchten länger zum Erlernen der neuen Aufgabe als die Ratten, die im anderen Raum getestet wurden.

Ein weiterer Versuch, bei denen ein Labyrinth verändert wurde und die Ratten in beiden Räumen lernten wurde durchgeführt. Nach dem Erlernen beider Aufgaben in den Labyrinthen, wurde bei einer Rattengruppe das veränderte Labyrinth im anderen Raum getestet, während bei der anderen Gruppe das veränderte Labyrinth im gewohnten Raum verblieb. Beide Gruppen zeigten ähnliche Ergebnisse. Wenn allerdings die Aufgabe verändert wurde, waren beide Gruppen zu Beginn deutlich schlechter als bei der gewohnten Aufgabe, Ratten die einen Kontextwechsel durchliefen, verbesserten sich aber schneller als Ratten, die den Raum nicht gewechselt hatten (McDonald et al., 2001). Diese Versuche zeigen deutlich, dass der Kontextwechsel genauso einen Einfluss auf die Reaktionszeit und Fehlerquote hat wie ein Assoziationswechsel.

Der Kontext kann beispielsweise in verschiedenen Räumen untersucht werden. Diese Räume sollten sich in Aufbau, Einrichtung und Lichtverhältnissen unterscheiden, um eine möglichst große Differenz zwischen den Räumlichkeiten zu erreichen. Moderne Technologien ermöglichen durch virtuelle Umgebungen eine neue Möglichkeit die Umgebungen grundlegend verschieden zu gestalten. Verschiedene Räume sind nicht mehr zwingend notwendig. Um den Unterschied der Kontexte so groß wie möglich zu machen, wurden die Versuche in dieser Arbeit in zwei verschiedenen Laboren durchgeführt. In einem Labor wurde zusätzlich die virtuelle Realitätstechnologie genutzt.

1.4 Virtuelle Realität

Als virtuelle Realität (VR) wird eine computergenerierte Umgebung bezeichnet, die die User erleben und mit ihr interagieren können. Die virtuelle Realität wird unter anderem über spezielle VR-Brillen präsentiert. Diese Brillen haben Bildschirme, die die virtuelle Umgebung darstellen. Ebenso sind Sensoren verbaut, die die Kopfbewegungen und Neigung misst und dadurch die virtuelle Umgebung den Bewegungen anpasst und die Kopfbewegungen in der virtuellen Realität simuliert. Kopfhörer, die den User die Umgebungsgeräusche im dreidimensionalen Raum simulieren, helfen die Immersion in die virtuelle Welt zu verbessern. Über Eingabegeräte wie Controller, können sich die User in der virtuellen Umgebung bewegen und mit der virtuellen Welt interagieren und sie formen. Die Eingabegeräte können ebenfalls mit Sensoren ausgestattet sein, die messen, wo sich die Hände der User befinden und welche Bewegungen ausgeführt werden.

Die erzeugte virtuelle Realität muss glaubhaft dargestellt sein, aber nicht zwangsläufig eine realistische Umgebung abbilden. Die Umgebung muss so glaubhaft dargestellt werden, dass die Nutzer:innen vergessen, dass der Bildschirm nur eine begrenzte Blickfeldweite zulässt. Um dies zu unterstützen, müssen alle Sinneseindrücke der realen Welt so weit wie möglich

ausgeschlossen, oder in die virtuelle Welt mit eingegliedert werden. So sollte kein Licht durch die VR-Brille gelangen oder keine Töne von außen zu den Usern dringen. Der User sollte als stehend in der virtuellen Realität dargestellt werden, wenn er auch in echt steht. Der Erfolg der Immersion ist aber auch von der Vorstellungskraft und der Bereitschaft sich auf die virtuelle Welt einzulassen abhängig (Moritz, 2025).

Virtuelle Realität wird für vielzählige Dinge eingesetzt. Die größte Nutzerbasis sind die Videospiele. Interaktive Spiele sorgen für ein immersives Spielerlebnis. Auch Lernen kann durch die virtuelle Realität gefördert werden. In der virtuellen Realität können Szenarien sicher nachgestellt werden, ohne Risiko für die Proband:innen. So können beispielsweise Notfallsituationen für Ersthelfer:innen simuliert werden, eine Flugzeugsimulation für Pilot:innen oder ein Fahrsimulator in der Fahrschule. In der Psychologie werden Versuche der Behandlung von Phobien und Angststörungen mit der VR-Technologie durchgeführt. Man konfrontiert die Patient:innen mit ihren Ängsten in einem komplett kontrollierbaren Umfeld. Die angstausslösenden Trigger können von den Behandler:innen individuell angepasst und gesteuert werden, so dass eine Exposition mit der Angst langsam gesteigert werden kann und bei Bedarf direkt abgebrochen werden kann (Huckauf & Schweiker, 2025).

1.4.1 Risiken der VR-Technologie

Trotz der positiven Eigenschaften und Möglichkeiten, die die virtuelle Realität mit ihrer immersiven Technologie bietet, kann sie auch einen negativen Einfluss auf den Menschen haben. Die Nutzung von virtueller Realität kann eine Sucht auslösen und die User so sozial isolieren. Dies kann zu weiterreichenden Problemen wie Depressionen, Angststörungen oder Einsamkeit führen.

Auch direkte Krankheitsgefühle können von der virtuellen Realität ausgelöst werden.

Die VR-Krankheit beschreibt ein Symptombild, dass Unwohlsein, Übelkeit, Schweißausbruch, Schwindel bis zu Erbrechen beinhalten kann. Meist liegt eine widersprüchliche Wahrnehmung zwischen der auf dem Bildschirm gezeigten Bewegung und Fehlen dieser Bewegung im Realen oder der Wahrnehmung einer echten Bewegung und dem Fehlen dieser in der virtuellen Welt, der VR-Krankheit zugrunde. Schnelle Kopfbewegungen, die von dem Headset nicht korrekt wahrgenommen oder verarbeitet werden, falsch kalibrierte Augenabstände oder das Bewegen aus dem abgesteckten Bereich der virtuellen Simulation lösen sehr häufig die VR-Krankheit aus. Meist tritt das Unwohlfühlen schon bei der Benutzung der VR-Brille auf und klingt langsam ab, wenn man die Brille abnimmt. Manche Menschen berichten aber auch erst nach dem Absetzen der VR-Brille über aufkommendes Unwohlsein, welches Desorientierung und Instabilität einschließen kann (Wölfel, 2023). Auch das alleinige lange auf den Bildschirm der VR-Brille schauen kann trockene Augen, schmerzende Augen und Kopfschmerzen auslösen. Dieses Phänomen wird „eye strain“ genannt. Dies kann auch bei normalen Bildschirmen auftreten, ist aber häufiger bei VR-Brillen da der Bildschirm dort viel näher ist (Dörner & Steinicke, 2019).

Eine weitgehend akzeptierte Theorie, warum es zu VR-Krankheit kommt, ist die „Theorie der Sinneskonflikte“. Sie sagt aus, dass eingehende Sinneseindrücke nicht mit den vom Gleichgewichtsorgan gesendeten Signalen übereinstimmen. Wenn Usern simuliert wird, sie würden mit einem Fahrzeug fahren widerspricht das der Tatsache, dass sich die User eigentlich nicht vom Ort bewegen. Bewegung, Beschleunigung und Neigungen des Körpers und Kopfes werden vom Vestibularorgan an das Gehirn weitergeleitet. Wenn das Gesehene nicht mit dem Empfundenen übereinstimmt, kann das zur VR-Krankheit führen. Dies ist vergleichbar mit der Reisekrankheit. Nicht alle Menschen sind gleichermaßen anfällig. Man kann vor einer Simulation nicht abschätzen, wie die jeweilige Person darauf reagiert. Das Alter, Geschlecht und Vorerkrankungen können eine Rolle spielen bei der Wahrscheinlichkeit an der VR-Krankheit während der Nutzung der VR-Brille oder danach zu leiden. So leiden Kinder seltener als alte Menschen an der Krankheit und Frauen häufiger

als Männer. Je angeschlagener der Zustand des Users, desto eher erleidet er Nebenwirkungen. Schon Schlafmangel oder Schnupfen können die Wahrscheinlichkeit erhöhen an der VR-Krankheit zu leiden. Auch die verwendete Technologie, Nutzungsdauer und Haltung haben Einfluss. User, die sitzen werden seltener VR-krank als User, die stehen. Wenn ein User die Bewegungen in der Virtuellen Realität selbst steuert, wird Unwohlsein seltener empfunden, als wenn sich ein User auf einem fremdgesteuerten Fahrzeug befindet (LaViola, 2000; Wölfel, 2023).

Durch langsam länger werdende Sitzungen mit der VR-Brille können die Symptome der VR-Krankheit abgeschwächt werden. Der Körper gewöhnt sich langsam an das simulierte Bild und die potenziell widersprüchlichen Sinneseindrücke. Allerdings ist die Adaptation an die virtuelle Realität nur möglich, wenn die User die VR-Krankheit beim Tragen der VR-Brille erfahren und nicht danach (LaViola, 2000).

Um die Schwere der VR-Krankheit festzulegen, werden Fragebögen verwendet, die die Betroffenen nach eigenem Ermessen beantworten. Es gibt verschiedene Fragebögen, die sich dazu eignen; meist wird der „Simulation Sickness“-Fragebogen, der von Kennedy et al. 1993 von einem Reisekrankheitsfragebogen angepasst wurde, verwendet (Kim et al., 2018). Aber auch kürzere Fragebögen, wie die Elendsskala („Misery Scale“, MISC) finden Verwendung (Bos et al., 2005).

1.4.2 Immersives Lernen in der virtuellen Realität

Als immersives Lernen bezeichnet man Lernen, das von VR unterstützt wird. So wird den Lernenden die Möglichkeit geboten, sich intensiv und interaktiv mit dem Lernstoff auseinanderzusetzen. Die Lernenden profitieren von der virtuellen Umgebung, wenn mehr als nur Theorie unterrichtet wird.

Theoretischer Unterricht in VR ist maximal gleich gut wie in der Realität. Er hat aber mit einigen technischen Problemen zu kämpfen, wie Unlesbarkeit der präsentierten Folien in VR aufgrund von Pixelauflösung, das Problem, eigene

Notizen nicht leicht aufschreiben zu können und viele weitere. Der jetzige Stand der Technik ermöglicht also für den Theorieunterricht einen nicht vergleichbaren Standard (Deuchler & Wölfel, 2022).

Das immersive Lernen in der virtuellen Realität zeigt beim Erlernen praktischer Fähigkeiten vielversprechende Erfolge. So können Szenarien simuliert werden, die in der Realität sehr aufwändig oder gefährlich zu simulieren wären.

Bestimmte Techniken können in VR immer wieder geübt werden, ohne Ressourcen zu verbrauchen die Konstruktion von Gebäuden im Architekturstudium kann helfen sich mit Dimensionen auseinanderzusetzen. Operationen im Medizinstudium können geübt werden. Auch Fähigkeiten wie das Fahrradfahren oder das Auseinanderbauen von Maschinen können geübt werden. Das spielerische Erkunden von Umgebungen und Interaktion mit der virtuellen Welt muss Bezug zu Realität haben um als immersives Lernen zu gelten, da das Gelernte in echt auch anwendbar sein soll. So können beispielsweise Reisen in die Vergangenheit einen anderen Standpunkt des Geschichtsunterrichtes eröffnen (Wölfel, 2023).

Ablenkung von außen kann Lernfortschritte einschränken. In einer virtuellen Lernsimulation können störende Einflüsse ausgeschaltet werden. Außerdem kann das zu Lernende durch Modelle oder Bilder besser verstanden werden. In der virtuellen Realität ist es einfach ein Modell zur Verfügung zu stellen (Fiorella & Mayer, 2021).

Lernende, vor allem Schüler:innen stehen dem immersiven Lernen sehr offen und motiviert gegenüber. Das Erregen von Interesse und positiven Emotionen fördern das Lernen und den Erfolg dessen. Parong und Meyer fanden 2018 heraus, dass Proband:innen, die über eine Folienpräsentation gelernt haben in einem anschließenden Test besser abschnitten als Proband:innen, die mittels VR gelernt haben. Wurden die Proband:innen, die mittels immersiven Lernen gelernt haben allerdings gebeten, das Gelernte zusammenzufassen, schnitten sie besser ab als die Proband:innen im regulären Lernumfeld. Je nach Lernmethode muss also eine andere Testmethode gewählt werden. Die Proband:innen, die in der virtuellen Realität lernten, berichteten außerdem über

weitaus höhere Motivation, Engagement und Interesse als Proband:innen, die die Folienpräsentation gezeigt bekamen (Parong & Mayer, 2018).

Da mit der Dauer der Nutzung auch die Wahrscheinlichkeit steigt an der VR-Krankheit zu leiden, sind Lerneinheiten sinnvoll, die kurz gehalten werden können.

1.5 Fragestellung

Diese Arbeit ist das Folgeprojekt zu Arbeiten, die sich mit der Frage auseinandergesetzt haben, welche Rolle der Kontext bei der Konsolidierung von Stimulus-Response Aufgaben spielt.

Die vorangegangenen Arbeiten untersuchten den Einfluss von Mittagsschlaf auf das S-R- Lernen. Die Proband:innen wurden in eine Schlafgruppe und eine Wachgruppe eingeteilt. Nach der Lernphase hielt die Schlafgruppe zwei Stunden Mittagsschlaf. Die Wachgruppe durfte in dieser Zeit Dokumentationen ansehen. Je die Hälfte der Schlaf- und Wachgruppe verblieb für die zweite Sitzung, die Abrufphase im selben Labor, die andere Hälfte wechselte das Labor. Im vorangegangenen Experiment zeigte sich, dass Schlaf bei gleichbleibendem Kontext signifikant die Gedächtnisleistung fördert. Im Gegensatz dazu zeigte sich eine bessere Gedächtnisleistung nach Konsolidierung im Wachzustand bei Kontextwechsel. Wenn der Abruf im gleichen Umwelt-Kontext erfolgte wie die Enkodierung, war die Gedächtnisleistung schlechter als in einem veränderten Kontext.

Unter der Annahme, dass beide Versuchsgruppen die Reize gleich gut enkodiert und konsolidiert hatten, spricht dies für einen Interferenz-Effekt durch den Abruf-Kontext. Wenn dieser Interferenz-Effekt auf einer aktiven Konsolidierung im Wachzustand basiert, sollte er verschwinden, wenn keine (oder kaum) Zeit zur Konsolidierung bleibt. Wenn hingegen keine aktive Konsolidierung im Wachzustand stattfindet, sollte der Interferenz-Effekt auch direkt nach der Enkodierung nachweisbar sein und unter Umständen sogar

stärker ausfallen, als nach einer zeitlichen Verzögerung, wie sie im vorhergehenden Experiment vorhanden war.

Die Arbeit vergleicht die Daten von Gruppen, die den Kontext gewechselt haben und Gruppen, die den Kontext nicht gewechselt haben. Neben der Untersuchung auf den Interferenz-Effekt wird in dieser Arbeit auch die Lernmethode 2D und VR verglichen.

2 Material und Methoden

2.1 Proband:innen

Die Durchführung der Versuche wurde vor Projektbeginn mit $N = 2$ Versuchspersonen getestet, um etwaige Fragen zu klären und Fehlerquellen zu entdecken. Die Daten dieser Testpersonen wurden nicht ausgewertet. Das Projekt sollte eine Probandenmenge von $N = 40$ haben, insgesamt wurden $N = 42$ Proband:innen getestet. Es wurden die Daten von allen 42 Proband:innen ausgewertet. Es wurden $N = 32$ weibliche und $N = 10$ männliche Probanden getestet. Die Proband:innen waren zwischen 19 und 36 Jahre alt mit einem Durchschnitt von 24 Jahren. Der Test wurde von $N = 38$ Proband:innen in Deutsch durchgeführt und von $N = 4$ in Englisch. Die Proband:innen waren normalsichtig (oder mit Kontaktlinsen korrigiert), nicht schwerhörig, rechtshändig und hatten anamnestisch keine psychiatrischen oder neurologischen Erkrankungen. Eine Probandin hat aufgrund einer Kommunikationsbarriere nicht verstanden, dass nur Rechtshänder gesucht wurden, sie wurde trotzdem getestet.

Die Proband:innen erhielten über den E-Mailverteiler der Universität eine Rundmail, worauf sie eigenständig ihr Interesse an der Teilnahme an der Studie kundtaten (im Anhang: Dokument 1). Ihnen wurden Versuchszeiträume vorgeschlagen, von denen sie sich einen aussuchen konnten.

Der Ethikantrag wurde am 11.10.2023 von der Ethikkommission Tübingen mit der Projektnummer 537/2023BO2 ohne Einwände genehmigt.

Drei Tage vor dem Versuch und am Versuchstag wurde kein Koffein oder Alkohol konsumiert. Die Proband:innen wurden per E-Mail über die Voraussetzungen aufgeklärt.

Die Proband:innen wurden zufällig in die Gruppen VR-VR, 2D-2D, VR-2D, 2D-VR eingeteilt. Jeder Gruppe wurden 10 Proband:innen zugeteilt (siehe Abbildung 1). Die zwei überzähligen Proband:innen wurden den Wechselgruppen zugeteilt. Bei gleichbleibender Zuteilung (VR-VR und 2D-2D) wurde das Schlaflabor nicht gewechselt, bei wechselnder Zuordnung (VR-2D und 2D-VR) wurde das Labor gewechselt. Die Labore befanden sich an unterschiedlichen Orten und wurden von unterschiedlichen Versuchsleitern betreut.

Die Zuteilung in die Gruppen wurde ihnen ebenfalls per E-Mail mitgeteilt. Die Proband:innen konnten jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden. Als Aufwandsentschädigung wurde ein Probandenentgelt von 25€ per Überweisung gezahlt.

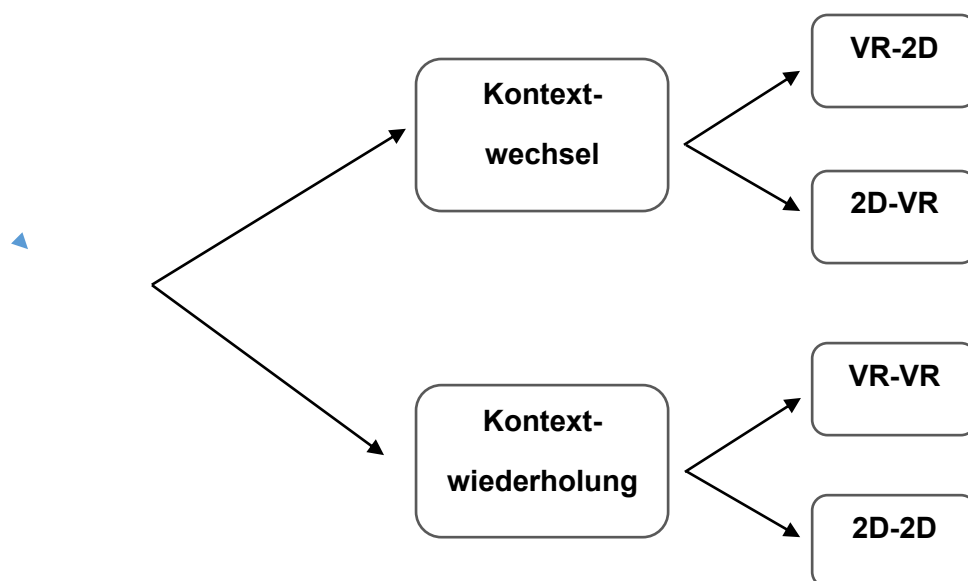


Abbildung 1: Probandeneinteilung

Einteilung der Proband:innen in die Gruppen „Kontextwechsel“ und „Kontextwiederholung“

Alle Proband:innen erhielten per E-Mail ein Infoblatt mit Informationen über den Versuch. Ein detaillierter Ablauf des Versuchs konnte den Proband:innen nicht gegeben werden, da das Wissen sich etwas merken zu müssen, sonst die Ergebnisse verfälschen könnte. Den Proband:innen wurde mitgeteilt, dass sie am Bildschirm oder mit der VR-Brille gezeigte Objekte beurteilen sollten, ob diese größer oder kleiner als ein Basketball sind; oder ob sie mechanisch oder nicht-mechanisch sind. Weitere Tests wurden vor dem Beginn nicht erwähnt.

Alle Proband:innen unterschrieben Einverständniserklärungen zur informierten Teilnahme sowie zur Verarbeitung der Daten (im Anhang: Dokument 2).

Die Proband:innen füllten je nach Versuchsaufbau 4 bzw. 6 Fragebögen aus. Bei dem Versuchsaufbau 2D-2D wurden die Fragebögen „Demographische Information“ (im Anhang: Dokument 3), „Edinburgh Handedness Inventory“ (EHI, im Anhang: Dokument 4), „Compliance & Health-Check“ (im Anhang: Dokument 5) und „Stanford Sleepiness Score & Tiredness Symptom Score“ Prä- und Post-Schlaf (SSS & TSS, im Anhang: Dokument 6 und 7). Bei dem Versuchsaufbau mit VR wurden zusätzlich noch die Fragebögen „Misery Scale“ (im Anhang: Dokument 8) und „Simulator Sickness“ (im Anhang: Dokument 9) nach dem Versuch ausgefüllt. Die Proband:innen erhielten nach Abschluss der Versuche das „Formular zur Überweisung des Probandenendgeltes“ (im Anhang: Dokument 10).

2.2 Versuchsablauf

2.2.1 Versuchsaufbau 2D

Die Proband:innen kamen um 10 bzw. 13 Uhr ins jeweilige Labor und füllten die Einwilligungserklärung und Demographische Informationen aus sowie die Fragebögen EHI, SSS & TSS Prä-Schlaf und Compliance & Health-Check aus.

Nach dem Ausfüllen der Fragebögen gab es 10 Minuten Pause bis etwa 10:15 Uhr bzw. 13:15 Uhr in der beim VR-Versuchsaufbau die Adaptation an die VR-Brille durchgeführt wurde.

Die Proband:innen saßen in aufrechter Position vor dem Bildschirm. Als erster Test wurde ein psychomotorischer Vigilanztest durchgeführt. Der Versuch dauerte etwa 5 Minuten. Nach dem Vigilanztest wurde der Hauptversuch erklärt und durchgeführt.

Danach hatten die Proband:innen 35 Minuten Pause, um den Ort zu wechseln oder sich zu erholen. Nach der Pause füllten die Proband:innen den Fragebogen SSS&TSS Post-Schlaf aus. Wenn kein Wechsel stattfand, wurde nach dem Ausfüllen der Fragebögen direkt mit dem zweiten Teil des Hauptexperiments begonnen, bei Wechsel zu VR wurde die Pause um 10 Minuten verkürzt, um die Eingewöhnungsphase an die VR-Brille mit einzurechnen.

Teil 2 des Hauptexperiment wurde erklärt und durchgeführt, anschließend wurde erneut der psychomotorische Vigilanztest durchgeführt.

Nach Abschluss der Versuche erhielten die Proband:innen das „Formular zur Überweisung des Probandenendgeltes“, wenn der zweite Teil in VR durchgeführt wurde, wurden noch die Fragebögen „Simulator Sickness“ und MISC ausgefüllt (Siehe Abbildung 2).

2.2.2 Versuchsaufbau VR

Die Proband:innen kamen wie auch bei dem 2D-Versuchsaufbau um 10 bzw. 13 Uhr ins Labor und erhielten die Fragebögen EHI, SSS&TSS Prä-Schlaf und Compliance & Health-Check zum Ausfüllen.

Sobald diese ausgefüllt waren, wurde die VR-Brille aufgesetzt und an den Kopf der Proband:innen angepasst. Nach einer kurzen Eingewöhnungsphase in der Wüste, bei der die Proband:innen mit einem Controller durch die Wüste laufen

konnten, wurde eine 9 min lange Dokumentation ohne Ton gezeigt. Danach wurde der psychomotorische Vigilanztest (PVT) durchgeführt.

Darauf folgte die Erklärung des Haupttests und die Durchführung dessen. Wie auch in der 2D-Probandengruppe hatten die Proband:innen 35 Minuten Pause zum Ort wechseln oder sich erholen. Nach der Pause wurden die Fragebögen MISC und „Simulator Sickness“, sowie SSS&TSS Post-Schlaf ausgefüllt.

Je nach Versuchsaufbau wurde in der Pause der Ort zu 2D gewechselt und es ging direkt nach dem Ausfüllen der Fragebögen mit dem zweiten Teil des Hauptexperiments weiter oder es gab wieder eine Eingewöhnungsphase mit der VR-Brille, in diesem Fall fiel die Pause 10 Minuten kürzer aus.

Sobald die Eingewöhnungsphase abgeschlossen war, wurde der zweite Teil des Hauptexperiments erklärt und durchgeführt. Danach wird der PVT erneut durchgeführt und die Proband:innen erhielten nach Abschluss das „Formular zur Überweisung des Probandenendgeltes“ und erneut die Fragebögen „Simulator Sickness“ und MISC, wenn der zweite Teil des Versuchs in VR durchgeführt wurde (Siehe Abbildung 2).

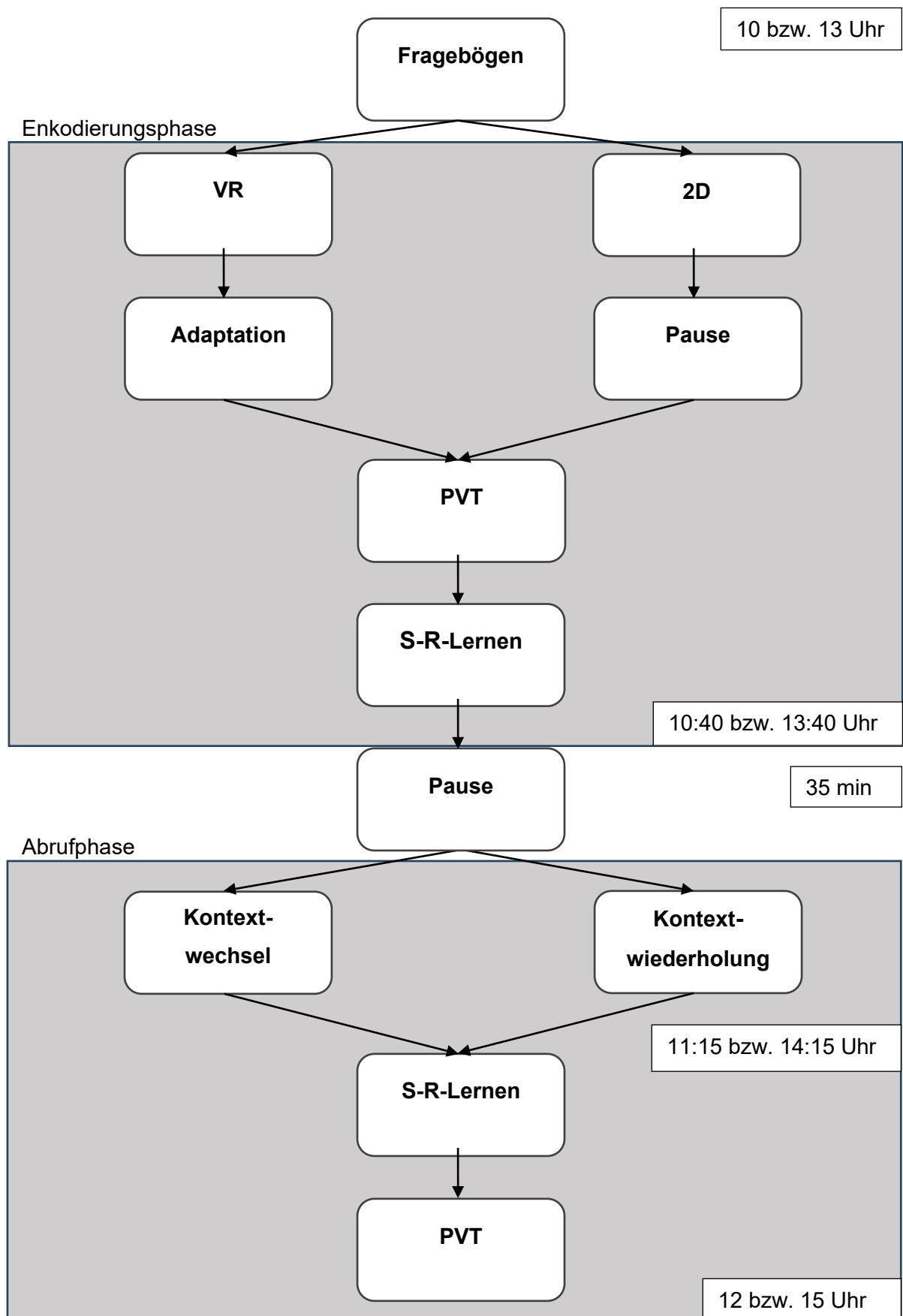


Abbildung 2: Versuchsablauf schematisch

2.3 Versuche

2.3.1 Stimulus-Response-Lernen

Farbbilder von 144 Alltagsgegenständen wurden in einer Größe von 256x256 Pixel mittig auf einem weißen Hintergrund eines 24-Zoll LCD Monitors mit einer Auflösung von 1920x1080 Pixel oder auf einem virtuellen Bildschirm im virtuellen Raum mit vergleichbarem Abstand zwischen Proband:in und Bildschirm gezeigt. Die Proband:innen mussten die gezeigten Objekte nach zwei Eigenschaften beurteilen: die Größe im Vergleich zu einem Basketball, oder ob das Objekt mechanisch oder nichtmechanisch ist. Größer bzw. Kleiner wurde mit den Buchstaben G bzw. K abgekürzt, mechanisch mit M und Nichtmechanisch mit N. Die Buchstaben wurden mit einer motorischen Reaktion gekoppelt, es mussten mit den Zeigefingern die Tasten A oder L gedrückt werden. Die Aufgabenzuordnung und die Objekteigenschaft waren für jedes Objekt zufällig, aber gleichbleibend. Die Reihenfolge der Buchstaben war G+K oder K+G bzw. M+N oder N+M. Die Hinweisreize wurden für 700 ms eingeblendet und verschwanden wieder, bevor das Objektbild gezeigt wurde (siehe Abbildung 3). Für den auf der linken Seite stehenden Buchstaben war die Taste A zu drücken, für den auf der rechten Seite stehenden Buchstaben die Taste L.

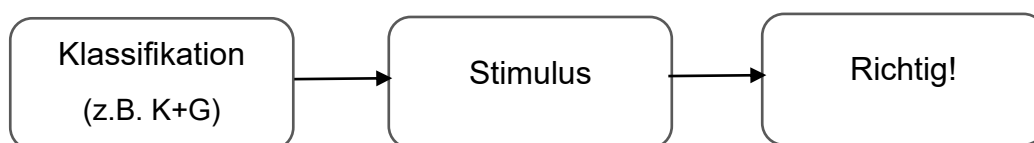


Abbildung 3: Enkodierung des S-R-Lernen

In Teil 1 des Hauptexperiments (S-R Lernen) wurde die Enkodierungsphase durchlaufen. Dabei wurde jedes der 144 Bilder zweimal gezeigt. Die insgesamt 288 Bilder wurden in drei Blöcke aufgeteilt mit je 96 Bildern. Eine Hälfte der Bilder wurde in der Aufgabengruppe Größe abgefragt, die andere Hälfte in die Aufgabengruppe mechanische Eigenschaft. Jedes Bild wurde nur einer

Aufgabengruppe zugeteilt. Auch die Reihenfolge der Hinweisreize wurde nicht gewechselt. Bei der Hälfte der Bilder war die linke Taste für die korrekte Zuordnung von kleiner/größer oder mechanisch/nichtmechanisch zu drücken, bei der anderen Hälfte war die rechte Taste zu drücken.

Die Proband:innen wurden gebeten so schnell und genau wie es ihnen möglich war zu antworten. Den Proband:innen wurde nach jeder Entscheidung mit den auf dem Bildschirm gezeigten Worten „Richtig!“ oder „Falsch“ mitgeteilt, ob die getroffene Antwort korrekt war. Das Feedback wurde ebenfalls für 700 ms angezeigt. Nach jedem Block hatten die Proband:innen mindestens 30 Sekunden Pause. Danach konnten sie selbständig durch Drücken einer beliebigen Taste den nächsten Block beginnen. Das Experiment dauerte etwa 15 Minuten.

In Teil 2 des Hauptexperiments fand die Abrufphase statt. Dieser Teil bestand aus drei Blöcken mit jeweils drei Teilen. Block 1 zeigte die gleichen 144 Bilder wie Teil 1 des Hauptexperiments, jedes Bild wurde nur einmal gezeigt, in einer der drei Bedingungen: repeat, action switch oder classification switch (siehe Abbildung 4). Bei der Gruppe repeat wurde das Objekt mit der gleichen Klassifikation und der gleichen Aktionsaufgabe gezeigt, also die Zuordnungsaufgabe größer/kleiner oder mechanisch/nicht-mechanisch war die gleiche und der drückende Finger war auch derselbe. Action switch bedeutet, dass das Objekt mit der gleichen Klassifikationsaufgabe gezeigt wurde, die Aktion, also der drückende Finger aber gewechselt hat. Bei der Gruppe classification switch wurde die Klassifikationsaufgabe gewechselt, von größer/kleiner zu mechanisch/nicht-mechanisch oder andersrum, der drückende Finger blieb allerdings derselbe.

Die drei Teile beinhalteten je 48 Bilder. Wie in Teil 1 des Hauptexperiments wurde den Proband:innen mitgeteilt, ob die Entscheidung korrekt war. Nach jedem Teil hatten die Proband:innen mindestens 15 Sekunden Pause. Block 1 dauerte insgesamt etwa 8 Minuten.

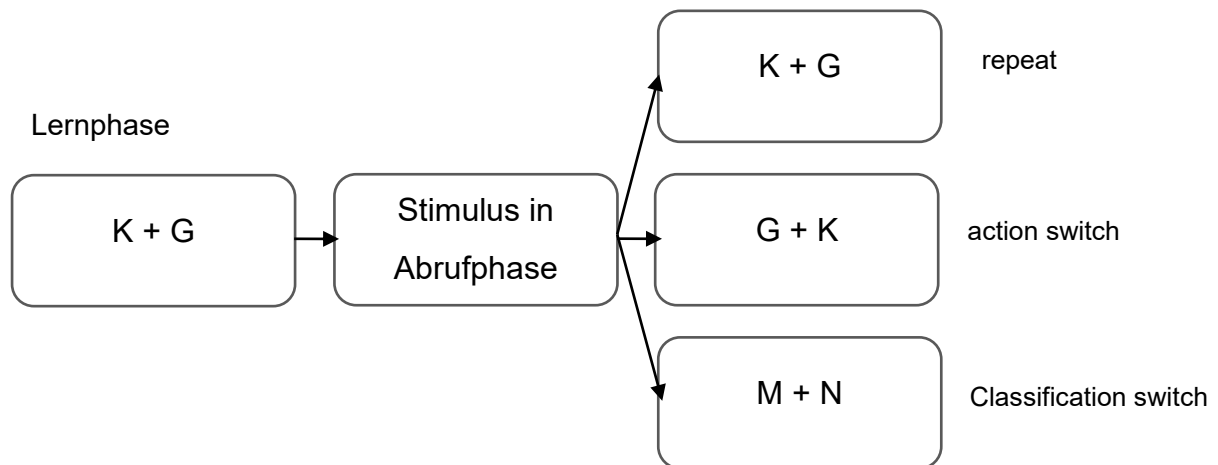


Abbildung 4: S-R-Aufgaben in der Abrufphase

In Block 2, der Wiedererkennungsaufgabe, wurden den Proband:innen schon gesehene Bilder „Alt“ und noch nicht gesehene Bilder „Neu“ gezeigt. Es wurden alle 144 schon bekannten Bilder und 144 neue Bilder gezeigt. Diese 288 Bilder wurden wieder in drei Blöcke zu 96 Bildern aufgeteilt.

Die Proband:innen sollten entscheiden, ob es sich um ein altes oder neues Bild handelte. „Neu“ wurde auf der linken Seite des Bildes gezeigt, „Alt“ auf der rechten. Für „Neu“ musste die Taste A gedrückt werden, für „Alt“ die Taste L. Die Bilder wurden für 5 Sekunden gezeigt und verschwanden dann, die Proband:innen hatten unbegrenzt Zeit, um eine Entscheidung zu treffen, auch nachdem das Bild verschwand. Die Hinweise neben dem Bild blieben unbegrenzt lange stehen. Nach jeder Entscheidung wurde gefragt, wie sicher sich die Proband:innen mit der Entscheidung waren (1=sehr sicher, 2= eher sicher, 3= eher unsicher, 4= sehr unsicher). Auch in diesem Block wurde den Proband:innen mitgeteilt, ob die Entscheidung korrekt war. Block 2 dauerte etwa 18 Minuten.

In Block 3, der explizite Gedächtnisaufgabe, zeigte erneut die Bilder aus Teil 1 und Block 1 des Hauptexperiments. Die Proband:innen sollten entscheiden, mit welchem Hinweisreiz das Objekt während der Enkodierungsphase präsentiert wurde. Die Bilder wurden unbegrenzt lange gezeigt. Neben dem Bild wurden zwei Hinweisreize (z.B. G+K und M+N) in zufälliger Anordnung gezeigt. Wenn ein Bild mit beiden Klassifikationsaufgaben gezeigt wurde, war einer der Hinweisreize z.B. K+G in der falschen Reihenfolge. Nach jeder Antwort sollten die Proband:innen wieder zwischen den Zahlen 1-4 auswählen, wie sicher sie sich bei der Entscheidung waren. Die Proband:innen bekamen in diesem Block keine Rückmeldung zur Richtigkeit ihrer Antwort. Block 3 dauerte etwa 17 Minuten.

Nach dem Hauptexperiment wurde nochmals der PVT durchgeführt.

2.3.2 Psychomotorischer Vigilanztest

Der PVT maß die Reaktionsgeschwindigkeit der Proband:innen. Die Proband:innen sahen einen schwarzen Bildschirm mit fünf mittig stehenden ausgegrauten Achten. Nach einer zufälligen Zeitspanne begann die Zahl hoch zuzählen. Die Aufgabe der Proband:innen war es so schnell wie möglich die Leertaste zu drücken, nachdem sie sahen, dass die Nummer hochzählt. Nach dem Drücken der Leertaste wurde die Reaktionsgeschwindigkeit in Zahlen gezeigt, so konnten die Proband:innen die Durchläufe vergleichen. Der Reaktionstest wurde 40-Mal wiederholt, der zeitliche Abstand zweier Durchläufe war zufällig. Der PVT dauerte etwa 5 Minuten.

2.3.3 Fragebögen

2.3.3.1 Demographische Informationen

In diesem Fragebogen wurden das Geburtsdatum, Alter und Geschlecht (männlich, weiblich oder divers) sowie das höchste Bildungsniveau der Proband:innen erfragt.

2.3.3.2 Edinburgh Handedness Inventory

Der EHI wurde von Richard Charles Oldfield entwickelt, um die Rechts- oder Linkshändigkeit einer Person objektiv zu ermitteln.

Hierzu wurden 10 Fragen zur präferierten Hand bei Alltagstätigkeiten (Schreiben, Zeichnen, Zähne putzen, Löffel halten etc.) eine Frage zur Fußnutzung (bevorzugter Fuß beim Treten eines Objektes) und eine Frage zur Augennutzung (wenn nur ein Auge benutzt wird) gestellt. Die Proband:innen sollten einschätzen welche Hand sie für die genannten Tätigkeiten lieber verwenden oder ob sie etwas auf keinen Fall mit der anderen Hand machen würden oder ob sie keine Präferenz der Hände haben (Oldfield, 1971).

2.3.3.3 Stanford Sleepiness Scale

Die SSS ist ein Fragebogen, um die momentane Schläfrigkeit des Proband:innen zu erfassen. Die Skala geht von 1 bis 7, wobei 1 = nicht schläfrig und 7 = sehr schläfrig bedeutet. Der Fragebogen fragt nach der subjektiven Einschätzung des Proband:innen von sich selbst (Hoddes et al., 1973).

2.3.3.4 Tiredness Symptom Score

Der TSS-Fragebogen stellt 14 Ja/Nein Fragen nach Zeichen für Schläfrigkeit. Es wird unter anderem nach Reizbarkeit, Brennen der Augen, Frösteln oder Gähnen gefragt. Je häufiger die Proband:innen Ja ankreuzen, desto schläfriger fühlen sie sich subjektiv.

2.3.3.5 Compliance and Health-Check

Dieser Fragebogen dient zur Kontrolle, ob sich die Proband:innen vor und am Versuchstag an die Anweisungen gehalten haben und wie der aktuelle Zustand der Proband:innen ist. Es werden 9 Fragen zu beispielsweise Koffein-, Alkohol-

oder Nikotinkonsum gestellt, ob in der letzten Woche Schlafprobleme bestanden und ob die Proband:innen Medikamente vor dem Schlaf einnehmen. Außerdem werden Fragen zum aktuellen Stresslevel gestellt.

2.3.3.6 Misery Score

Der MISC fragt nach dem Unwohlsein der Proband:innen bei der Verwendung der VR-Brille. Es sind 11 Auswahlmöglichkeiten von keine Probleme über geringen Schwindel und Kopfschmerzen bis zu Erbrechen aufgelistet. Die Proband:innen kreuzen die Auswahlmöglichkeit an die, am ehesten den Symptomen entspricht, die sie empfunden haben. Die MISC wurde ursprünglich entwickelt, um die Schwere einer Seekrankheit zu bewerten und wurde 2005 von Bos et al. neu aufgesetzt, um auch für Simulatoren anwendbar zu sein. (de Winkel et al., 2022)

2.3.3.7 Simulator Sickness

Der Fragebogen stellt 8 Fragen mit den Antwortmöglichkeiten „ja“, „sehr“, „ein wenig“ und „nein“. Es wird beispielsweise nach Kopfschmerzen, angestregten Augen, Schwindel und Konzentrationsproblemen während der Verwendung der VR-Brille gefragt. Dieser Fragebogen fragt das subjektive Empfinden von Symptomen ab und bewertet mangels Baseline keine vor dem Versuch mit der VR-Brille vorhandenen Symptome (Kennedy et al., 1993).

2.4 Daten- und Statistische Auswertung

Die Ergebnisse des PVT und S-R-Lernens wurden mit MatLab erhoben.

Die Erfassung der Kontrollvariablen mithilfe der Fragebögen wurde vor den Versuchen im Labor durchgeführt. So konnten eingeschätzte Schläfrigkeit, Koffein- oder Alkoholkonsum oder Stresslevel direkt ausgewertet werden.

Für die Auswertung der Statistik und für die Erstellung der Graphen wurde das Programm GraphPad verwendet.

Die Normalverteilung der Datensätze wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test überprüft.

Bei einer vorliegenden Normalverteilung wurden die Daten mit dem Zweistichproben t-Test ausgewertet. Bei nicht normalverteilten Daten wurden sie mit dem Mann-Whitney-Test ausgewertet.

Bei dem Vergleich von multiplen Faktoren wurde auf die Nutzung eines ANOVA Tests verzichtet, da meist nicht alle Datensätze normalverteilt waren. Die nicht normalverteilten Daten wurden auch mit dem Mann-Whitney-Test ausgewertet und die Normalverteilten mit dem t-Test. Auch bei der Auswertung von multiplen normalverteilten Datensätzen wurde aufgrund der Vergleichbarkeit jeweils der der Zwei-Stichproben-t-Test verwendet. Die statistische Auswertung wird in der Diskussion erneut aufgegriffen.

Das Signifikanzniveau p wurde bei $p < 0.05$ angesetzt.

3 Ergebnisse

Eine Probandin ist Linkshänderin, da sie aber in allen Tests durchschnittlich ist, wurden ihre Daten mit ausgewertet.

3.1 Ergebnis S-R Lernen

Alle $N = 42$ getesteten Proband:innen wurden ausgewertet.

3.1.1 Wechselkosten bei gleichbleibendem Kontext bzw. Kontextwechsel

Um den Einfluss des Laborwechsels auf die Reaktionszeiten der Proband:innen zu untersuchen, wurden die Reaktionszeiten in den drei Aufgaben repeat, action switch und classification switch gemessen.

Bei einem switch wird erwartet, dass die Reaktionszeit auf einen bekannten Stimulus mit wechselnder Aufgabe oder Aktion länger ist als bei gleichbleibender Aufgabe und Aktion. Zusätzlich wird verglichen, wie die

Wechselkosten der Proband:innen bei gleichbleibendem oder wechselndem Labor sind. Zur Auswertung wurden die kombinierten Wechselkosten (siehe unten) der S-R-Aufgaben verwendet.

Es wurde erwartet, dass die kombinierten Wechselkosten bei Kontextwechsel ohne Konsolidierungsphase nicht so hoch waren, wie die bei vorangegangenen Versuchen mit 3 Stunden Konsolidierungsphase im Wachen bzw. 2 Stunden Mittagsschlaf, da das Gehirn noch keine Zeit hatte, das Gelernte zu verarbeiten und abzuspeichern.

Für die kombinierten Wechselkosten wurden die Reaktionszeiten der Proband:innen in Millisekunden erfasst. Die Reaktionszeiten wurden jeweils in den Aufgabekontexten repeat, action switch und classification switch erfasst. Die kombinierten Wechselkosten wurden aus diesen Reaktionszeiten (RT) mit nachfolgender Formel berechnet:

$$\frac{(RT_{actionswitch} + RT_{classificationswitch})}{2} - RT_{repeat}$$

Die mit dieser Formel berechneten kombinierten Wechselkosten für Kontextwechsel bzw. Kontextwiederholung wurden mit dem Shapiro-Wilk Test auf eine Normalverteilung untersucht und bei Bestätigung einer Normalverteilung mittels t-Test für unabhängige Stichproben weiter analysiert. Bei nicht-normalverteilten Ergebnissen wurden diese mit dem Mann-Whitney Test ausgewertet.

Die Ergebnisse der Auswertung (siehe Abbildung 5) zeigen eine deutlich erhöhte Reaktionszeit bei Wechsel des Labors mit einem Mittelwert von $M = 31,20 \pm 39,58$ ms im Vergleich zur mittelwertigen Erhöhung der Reaktionszeit von $5,85 \pm 36,49$ ms bei gleichbleibendem Labor.

Die Auswertung der Daten mittels t-Test ergibt einen signifikanten Unterschied ($t(40) = 2,16$; $p = 0,0368$). Trotz sehr kurzer Pause zwischen den zwei Tests und damit kurzer Konsolidierungsphase scheint der Kontextwechsel einen negativen Einfluss auf die Reaktionszeit zu haben. Das bedeutet, dass das

Gehirn die S-R-Verbindung erst wieder lösen muss, bevor sie neu geknüpft werden kann (negative Bahnung).

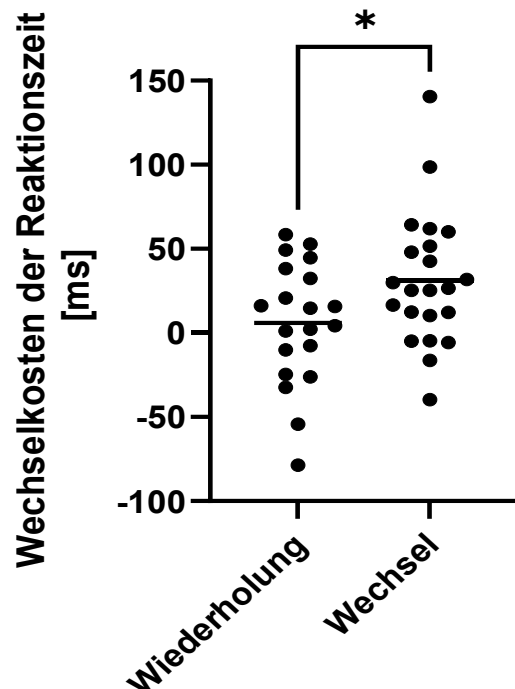


Abbildung 5: Einfluss des Kontexts auf die kombinierten Wechselkosten der Reaktionszeit

Vergleich zwischen Kontextwiederholung ($N = 20$) und Kontextwechsel ($N = 22$) mit Mittelwert $M = 5,85 \pm 36,49$ ms (Wiederholung) und $M = 31,20 \pm 39,58$ ms (Wechsel). $t(40) = 2,16$; $p = 0,0368$.

Um eventuelle Unterschiede im Leistungsniveau der unterschiedlichen Versuchsgruppen zu untersuchen, wurden die Gruppen einzeln analysiert und miteinander verglichen. Bei der Analyse der Daten aufgeteilt in die vier Probandengruppen ergibt sich bei den zwei Wiederholungsgruppen eine Normalverteilung nach Shapiro-Wilk. Bei der Wechselgruppe ist die Gruppe „2D-VR“ ebenfalls normalverteilt, die Gruppe „VR-2D“ ist nicht normalverteilt. Aufgrund der nicht-normalverteilten Gruppe wurde auf eine ANOVA-Auswertung zu Gunsten von Einzelanalysen verzichtet. Beim Vergleich der Gruppen miteinander wurde bei zwei normalverteilten Gruppen ein t-Test

durchgeführt. Bei dem Vergleich mit der nicht normalverteilten Gruppe wurde der Mann-Whitney Test durchgeführt (siehe Abbildung 6).

Die medianen Wechselkosten der Gruppen liegen bei $M = 14,20 \pm 28,76$ ms (VR-VR), $M = -2,503 \pm 43,77$ ms (2D-2D), $M = 36,41 \pm 40,82$ ms (VR-2D) und $M = 25,99 \pm 39,54$ ms (2D-VR).

Die Ergebnisse der Auswertung ergeben keine signifikanten Unterschiede zwischen den aufgeteilten Gruppen. Der Vergleich der Wiederholungsgruppe (VR-VR und 2D-2D) mittels t-Test ergibt keinen signifikanten Unterschied ($t(16) = 1,025$; $p = 0,3210$). Auch der Vergleich der Wechselgruppen (VR-2D und 2D-VR) mit dem Mann-Whitney Test ergibt keinen signifikanten Unterschied ($U = 53$, $p = 0,6522$).

Bei den Analysen der Gruppen untereinander erhält man auch keinen signifikanten Unterschied. (VR-VR und VR-2D, $U = 39$, $p = 0,2816$; VR-VR und 2D-VR, $t(18) = 0,7865$; $p = 0,4417$; 2D-2D und VR-2D, $U = 30$, $p = 0,0845$; 2D-2D und 2D-VR, $t(18) = 1,580$; $p = 0,1310$).

Bei der Auftrennung der Gruppen Wiederholungsgruppe und Wechselgruppe in die jeweiligen Einzelgruppen lässt sich keine Signifikanz mehr feststellen, dennoch lässt sich ein Unterschied der Gruppen erkennen. Die Wiederholungsgruppe „2D-2D“ ist am schnellsten, auch die Wiederholungsgruppe „VR-VR“ hat geringere Reaktionszeiten als die Wechselgruppen. Bei den Wechselgruppen ist die Gruppe „VR-2D“ etwas langsamer als die Gruppe „2D-VR“.

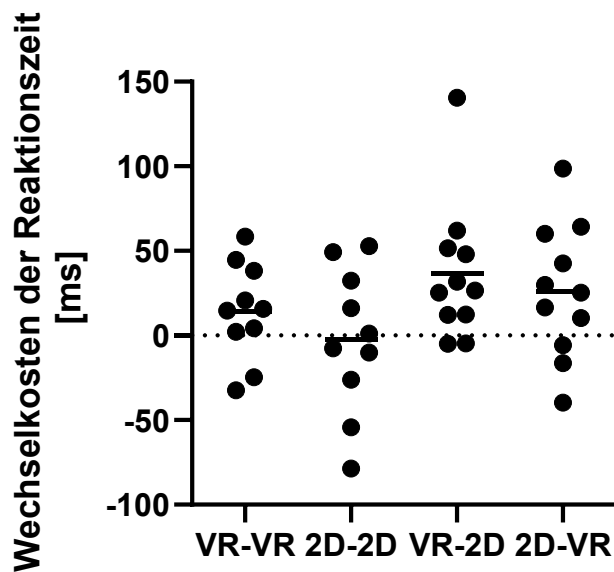


Abbildung 6: Einfluss des Kontexts auf die kombinierten Wechselkosten der Reaktionszeit in aufgeteilten Probandengruppen

Vergleich zwischen VR-VR ($N = 10$), 2D-2D ($N = 10$), VR-2D ($N = 11$) und 2D-VR ($N = 11$). Mit $M = 14,20 \pm 28,76$ ms (VR-VR), $M = -2,503 \pm 43,77$ ms (2D-2D), $M = 36,41 \pm 40,82$ ms (VR-2D) und $M = 25,99 \pm 39,54$ ms (2D-VR).

VR-VR und 2D-2D ($t(16) = 1,025$; $p = 0,3210$); VR-2D und 2D-VR ($U = 53$, $p = 0,6522$); VR-VR und VR-2D ($U = 39$, $p = 0,2816$). VR-VR und 2D-VR ($t(18) = 0,7865$; $p = 0,4417$); 2D-2D und VR-2D ($U = 30$, $p = 0,0845$); 2D-2D und 2D-VR ($t(18) = 1,580$; $p = 0,1310$).

3.1.2 Einfluss von Kontextwiederholung bzw. Kontextwechsel auf Richtigkeit beim S-R-Lernen

Bei der Datenauswertung der Richtigkeit der Antworten mit dem Shapiro-Wilk Test zeigen sich die Daten normalverteilt. Die Analyse mit dem t-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen Kontextwiederholung und Kontextwechsel ($t(39) = 0,9253$; $p = 0,3605$) (siehe Abbildung 7).

Die Mittelwerte der Wiederholungs- und Wechselgruppe liegen mit $94,96 \pm 3,371$ % (Wiederholung) und $94,03 \pm 3,118$ (Wechsel) sehr nah beieinander.

Ob der Kontext gleich bleibt oder wechselt, scheint keinen Einfluss auf die Richtigkeit beim S-R-Lernen ohne Konsolidierungsphase zu haben.

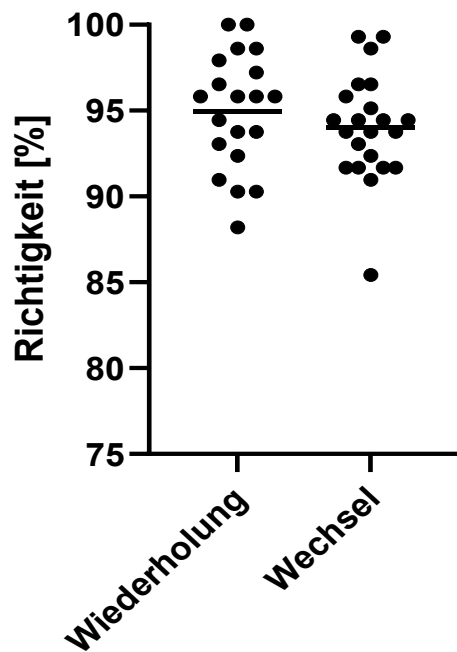


Abbildung 7: Einfluss des Kontexts auf S-R-Lernen

Vergleich zwischen Kontextwiederholung ($N = 20$) und Kontextwechsel ($N = 22$) mit $M = 94,96 \pm 3,371$ % (Wiederholung) und $M = 94,03 \pm 3,118$ % (Wechsel). $t(39) = 0,9253$; $p = 0,3605$.

Um eventuelle Unterschiede im Leistungsniveau der unterschiedlichen Versuchsgruppen zu untersuchen, wurden die Gruppen einzeln analysiert und miteinander verglichen. Bei der Aufspaltung der Wiederholung- und Wechselgruppe in die Einzelgruppen sind alle Gruppen nach der Analyse mit dem Shapiro-Wilk Test normalverteilt. Die normalverteilten Gruppen wurden mit dem t-Test miteinander verglichen (siehe Abbildung 8).

Die Mittelwerte der Gruppen liegen mit den Werten $M = 95,62 \pm 3,158 \%$ (VR-VR), $M = 94,31 \pm 36,13 \%$ (2D-2D), $M = 93,94 \pm 4,039 \%$ (VR-2D) und $M = 94,13 \pm 2,020 \%$ (2D-VR) auch in den Einzelgruppen sehr nah beieinander.

Die Analyse mit dem t-Test ergibt keinen signifikanten Unterschied der Wiederholungsgruppen (VR-VR und 2D-2D) untereinander ($t(18) = 0,8692$; $p = 0,3964$) oder den Wechselgruppen (VR-2D und 2D-VR) untereinander ($t(15) = 0,1375$; $p = 0,8925$).

Bei den Analysen der Gruppen untereinander erhält man auch keinen signifikanten Unterschied. VR-VR und VR-2D ($t(19) = 1,069$; $p = 0,2989$). VR-VR und 2D-VR ($t(15) = 1,279$; $p = 0,2203$). 2D-2D und VR-2D ($t(19) = 0,2180$; $p = 0,8297$). 2D-2D und 2D-VR ($t(14) = 0,1366$; $p = 0,8933$).

Wie auch in der Analyse der gebündelten Gruppen lässt sich bei den aufgespaltenen Gruppen kein signifikanter Unterschied feststellen. Die VR-Wiederholungsgruppe schneidet am besten ab, gefolgt von der 2D-Wiederholungsgruppe, da die Mittelwerte so nah beieinander liegen, sind aber keine statistisch signifikanten Unterschiede festzustellen.

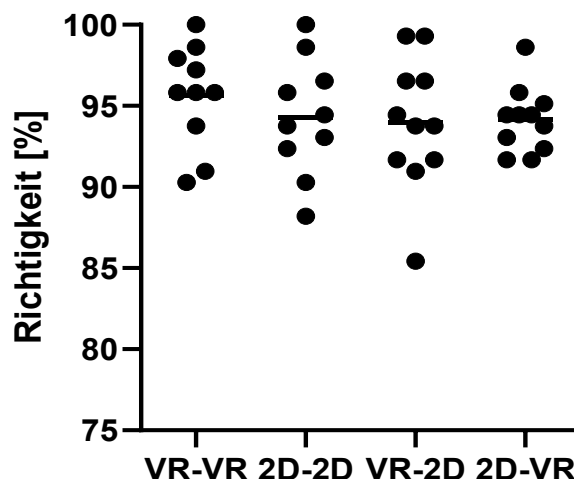


Abbildung 8: Einfluss des Kontexts auf S-R-Lernen in aufgeteilten Probandengruppen

Vergleich zwischen VR-VR ($N = 10$), 2D-2D ($N = 10$), VR-2D ($N = 11$) und 2D-VR ($N = 11$). Mit Mittelwerten von $M = 95,62 \pm 3,158 \%$ (VR-VR), $M = 94,31 \pm 36,13 \%$ (2D-2D),

$M = 93,94 \pm 4,039 \%$ (VR-2D) und $M = 94,13 \pm 2,020 \%$ (2D-VR). VR-VR und 2D-2D ($t(18) = 0,8692$; $p = 0,3964$); VR-2D und 2D-VR ($t(15) = 0,1375$; $p = 0,8925$); VR-VR und VR-2D ($t(19) = 1,069$; $p = 0,2989$); VR-VR und 2D-VR ($t(15) = 1,279$; $p = 0,2203$); 2D-2D und VR-2D ($t(19) = 0,2180$; $p = 0,8297$); 2D-2D und 2D-VR ($t(14) = 0,1366$; $p = 0,8933$).

3.2 Ergebnis Wiedererkennungsaufgabe und explizite Gedächtnisaufgabe

Alle 42 getesteten Proband:innen wurden ausgewertet.

3.2.1 Einfluss von Kontextwiederholung bzw. Kontextwechsel auf Richtigkeit bei der Wiedererkennungsaufgabe

Es wurden nur Durchgänge ausgewertet, bei denen die Proband:innen beide Male während der Enkodierung korrekt geantwortet hatten. Die nach dem Shapiro-Wilk Test normalverteilten Daten wurden mittels t-Test ausgewertet.

Die Daten zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontextwiederholungsgruppe und der Kontextwechselgruppe ($t(39) = 2,093$; $p = 0,0429$). Die Wiederholungsgruppe schneidet mit einem Mittelwert von $M = 92,24 \pm 5,708 \%$ besser ab als die Wechselgruppe mit einem Mittelwert von $M = 88,64 \pm 5,391$. Der Kontextwechsel hat trotz einer nur kurzen Pause zwischen den Tests einen negativen Einfluss beim Wiedererkennen der Stimuli (siehe Abbildung 9).

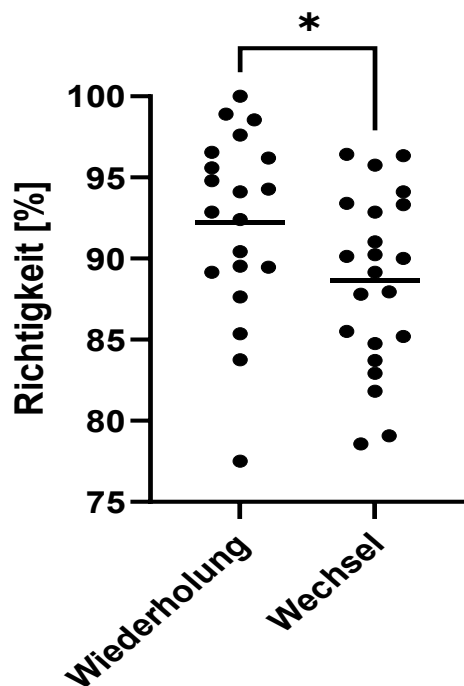


Abbildung 9: Einfluss des Kontexts auf Richtigkeit bei der Wiedererkennungsaufgabe

Vergleich zwischen Kontextwiederholung ($N = 20$) und Kontextwechsel ($N = 22$) mit Mittelwert $M = 92,24 \pm 5,708$ % (Wiederholung) und $M = 88,64 \pm 5,391$ % (Wechsel). $t(39) = 2,093$; $p = 0,0429$.

Wie auch bei den vorangegangenen Tests wurden, um eventuelle Unterschiede im Leistungsniveau der unterschiedlichen Versuchsgruppen zu untersuchen, alle Gruppen einzeln analysiert und miteinander verglichen. Bei der Analyse der Gruppen sind diese nach dem Shapiro-Wilk Test normalverteilt. Die normalverteilten Daten wurden mittels t-Test analysiert (siehe Abbildung 10).

Die Mittelwerte der Gruppen liegen bei VR-VR $M = 92,30 \pm 6,273$ %, bei 2D-2D $M = 92,18 \pm 5,425$ %, bei VR-2D $M = 88,49 \pm 4,991$ % und bei 2D-VR $M = 88,49 \pm 6,007$ %.

Die Analyse der Daten mit dem t-Test zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen der Wiederholungsgruppe ($t(18) = 0,04728$; $p = 0,9628$) oder zwischen den Gruppen der Wechselgruppe ($t(19) = 0,1259$; $p = 0,9011$)

Auch beim Vergleich der Gruppen untereinander zeigt sich kein signifikanter Unterschied. (VR-VR und VR-2D ($t(17) = 1,528$; $p = 0,1446$). VR-VR und 2D-VR ($t(19) = 1,306$; $p = 0,2073$). 2D-2D und VR-2D ($t(18) = 1,613$; $p = 0,1237$). 2D-2D und 2D-VR ($t(19) = 1,357$; $p = 0,1907$)).

Die Wiederholungsgruppen liegen sehr nah beieinander und schneiden etwas besser ab als die Wechselgruppen. Im Vergleich der aufgeteilten Gruppen ist dieser Unterschied im Gegensatz zu den gebündelten Gruppen aber nicht signifikant.

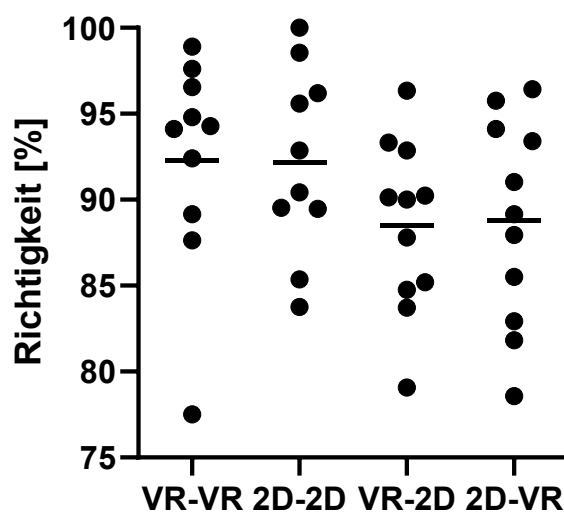


Abbildung 10: Einfluss des Kontexts auf Richtigkeit bei der Wiedererkennungsaufgabe in aufgeteilten Probandengruppen

Vergleich zwischen VR-VR ($N = 10$), 2D-2D ($N = 10$), VR-2D ($N = 11$) und 2D-VR ($N = 11$). Mit Mittelwerten von $M = 92,30 \pm 6,273$ % (VR-VR), $M = 92,18 \pm 5,425$ % (2D-2D), $M = 88,49 \pm 4,991$ % (VR-2D) und $M = 88,49 \pm 6,007$ % (2D-VR). VR-VR und 2D-2D ($t(18) = 0,04728$; $p = 0,9628$); VR-2D und 2D-VR ($t(19) = 0,1259$; $p = 0,9011$); VR-VR und VR-2D ($t(17) = 1,528$; $p = 0,1446$); VR-VR und 2D-VR ($t(19) = 1,306$; $p = 0,2073$); 2D-2D und VR-2D ($t(18) = 1,613$; $p = 0,1237$); 2D-2D und 2D-VR ($t(19) = 1,357$; $p = 0,1907$).

3.2.2 Einfluss von Kontextwiederholung bzw. Kontextwechsel auf Richtigkeit bei der expliziten Gedächtnisaufgabe

Im dritten Teil des Hauptexperimentes wurden die Proband:innen aufgrund eines Missverständnisses nicht richtig instruiert. Es wurde ihnen nicht gesagt, dass ein Drittel der Objekte sowohl mit dem Aufgabentyp Größer/Kleiner als auch mit dem Aufgabentyp Mechanisch/Nicht-mechanisch gezeigt wurde. Ihnen wurde nicht gesagt, dass wenn ein Objekt mit beiden Klassifikationsaufgaben gezeigt wurde, nur einer der Hinweisreize in der richtigen Reihenfolge gezeigt wird also beispielsweise K+G anstatt G+K. Stattdessen wurden sie instruiert nach Bauchgefühl zu entscheiden.

Bei der expliziten Gedächtnisaufgabe wurden nur Durchgänge ausgewertet, bei denen die Proband:innen bei der Enkodierung beide Male richtig geantwortet hatten und im Test ein action switch oder classification switch vorkam. Die Daten wurden mit dem Shapiro-Wilk Test auf eine Normalverteilung untersucht, diese wurde bestätigt. Die normalverteilten Daten wurden mit dem t-Test analysiert (siehe Abbildung 11).

Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen Kontextwiederholung und Kontextwechsel ($t(40) = 1,345$; $p = 0,1861$). Die Mittelwerte liegen mit $M = 61,76 \pm 6,094 \%$ (Wiederholung) und $M = 58,99 \pm 7,269 \%$ nah beieinander. Der Kontextwechsel hat keinen signifikanten Einfluss auf die Richtigkeit bei der expliziten Gedächtnisaufgabe ohne Konsolidierungsphase.

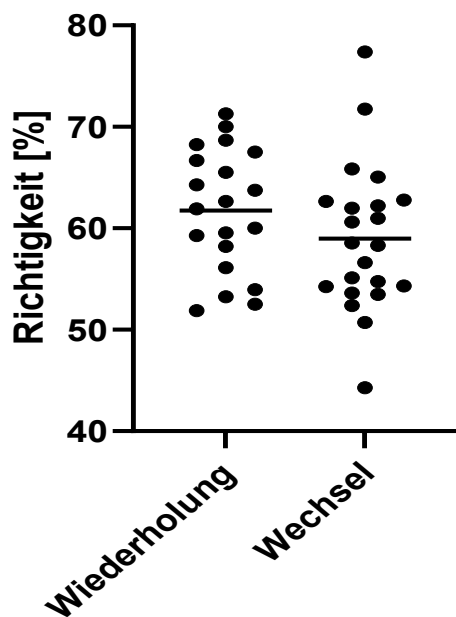


Abbildung 11: Einfluss des Kontexts auf Richtigkeit bei der expliziten Gedächtnisaufgabe

Vergleich zwischen Kontextwiederholung ($N = 20$) und Kontextwechsel ($N = 22$) mit Mittelwert $M = 61,76 \pm 6,094$ % (Wiederholung) und $M = 58,99 \pm 7,269$ % (Wechsel). $t(40) = 1,345$; $p = 0,1861$

Auch bei diesem Test wurden alle Gruppen einzeln analysiert, um eventuelle Unterschiede im Leistungsniveau der unterschiedlichen Versuchsgruppen zu untersuchen. Bei der Analyse der aufgeteilten Gruppen ergibt sich in allen Gruppen eine Normalverteilung nach dem Shapiro-Wilk Test. Die normalverteilten Daten wurden mittels t-Test analysiert (siehe Abbildung 12).

Die Gruppen haben einen Mittelwert von $M = 63,90 \pm 5,365$ % (VR-VR), $M = 59,62 \pm 6,281$ % (2D-2D), $M = 57,23 \pm 5,913$ % (VR-2D) und $M = 60,74 \pm 8,322$ % (2D-VR).

Die Analyse der Wiederholungsgruppen ($t(18) = 1,637$; $p = 0,1195$) und Wechselgruppen ($t(18) = 1,139$; $p = 0,2698$) untereinander zeigt keinen signifikanten Unterschied. Bei der Analyse der Gruppen untereinander zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen VR-VR und VR-2D

($t(19) = 2,709$; $p = 0,0139$). Bei den übrigen Vergleichen ist kein signifikanter Unterschied zu vermerken. VR-VR und 2D-VR ($t(17) = 1,044$; $p = 0,3110$); 2D-2D und VR-2D ($t(19) = 0,8960$; $p = 0,3818$); 2D-2D und 2D-VR ($t(18) = 0,3479$; $p = 0,7319$).

Die Wiederholungsgruppe VR-VR schneidet mit einem Mittelwert $M = 63,90 \pm 5,365$ % am besten ab, 2D-2D und 2D-VR liegen sehr nah beieinander, nur VR-2D ist im Vergleich zu VR-VR signifikant schlechter. Wenn man beide Wiederholungsgruppen vergleicht, sieht man das die VR-VR Gruppe etwas besser abgeschnitten hat als die 2D-Wiederholungsgruppe.

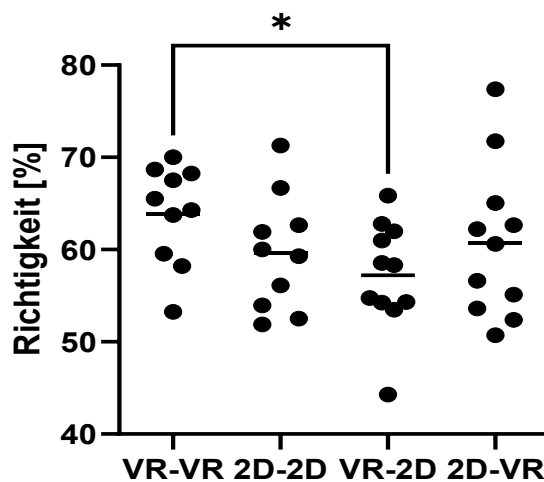


Abbildung 12: Einfluss des Kontexts auf Richtigkeit bei der expliziten Gedächtnisaufgabe bei aufgeteilten Probandengruppen

Vergleich zwischen VR-VR ($N = 10$), 2D-2D ($N = 10$), VR-2D ($N = 11$) und 2D-VR ($N = 11$). Mit Mittelwerten von $M = 63,90 \pm 5,365$ % (VR-VR), $M = 59,62 \pm 6,281$ % (2D-2D), $M = 57,23 \pm 5,913$ % (VR-2D) und $M = 60,74 \pm 8,322$ % (2D-VR). VR-VR und 2D-2D ($t(18) = 1,637$; $p = 0,1195$); VR-2D und 2D-VR ($t(18) = 1,139$; $p = 0,2698$); VR-VR und VR-2D ($t(19) = 2,709$; $p = 0,0139$); VR-VR und 2D-VR ($t(17) = 1,044$; $p = 0,3110$); 2D-2D und VR-2D ($t(19) = 0,8960$; $p = 0,3818$); 2D-2D und 2D-VR ($t(18) = 0,3479$; $p = 0,7319$).

3.3 Kontrollvariablen

3.3.1 PVT

Bei den zwei durchgeführten psychomotorischen Vigilanztests wurden Reaktionszeiten mit über 600 ms nicht analysiert, da man diese Durchläufe als ungültig erachten kann. Die Proband:innen hatten beim ersten Vigilanztest häufig zu Beginn Unsicherheiten, daher musste bei 8 Proband:innen die erste Reaktionszeit wegen Ungültigkeit ausgeschlossen werden. Es wurde aus allen validen Durchläufen eines Proband:innen der Mittelwert gezogen. Die Mittelwerte von allen Proband:innen vor dem ersten Test bzw. nach dem zweiten Test wurden miteinander verglichen (siehe Abbildung 13). Die Mittelwerte aller Durchläufe zusammen liegen bei $M = 0,3476 \pm 0,02308$ s (PVT1) und $M = 0,3519 \pm 0,03230$ s (PVT 2). Die normalverteilten Durchläufe wurden mit dem t-Test verglichen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied der Reaktionszeiten vor und nach den Versuchen ($t(74) = 0,6919$; $p = 0,4914$). Die Proband:innen haben die gleiche Aufmerksamkeitsleistung vor und nach den Versuchen.

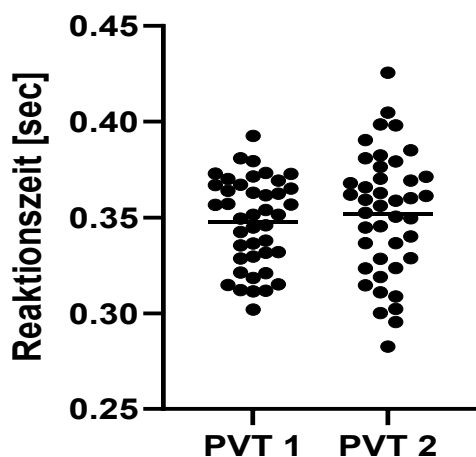


Abbildung 13: psychomotorische Vigilanztest (korrigiert)

Vergleich zwischen PVT 1 ($N = 42$) und Kontextwechsel ($N = 42$) mit Mittelwert $M = 0,3476 \pm 0,02308$ s (PVT1) und $M = 0,3519 \pm 0,03230$ s (PVT 2). $t(74) = 0,6919$; $p = 0,4914$

Bei einem Vergleich der PVT's der jeweiligen Gruppen, lässt sich keine signifikante Steigerung der Müdigkeit feststellen (siehe Abbildung 14). Die Mittelwerte liegen beim ersten PVT mit $M = 0,3429 \pm 0,02628$ s (VR-VR), $M = 0,3503 \pm 0,02192$ s (2D-2D), $M = 0,3563 \pm 0,02191$ s (VR-2D) und $M = 0,3409 \pm 0,02207$ s (2D-VR) sehr nah beieinander. Auch nach den Tests sind die Mittelwerte beim zweiten PVT mit $M = 0,3509 \pm 0,03019$ s (VR-VR), $M = 0,3448 \pm 0,03615$ s (2D-2D), $M = 0,3509 \pm 0,03777$ s (VR-2D) und $M = 0,3584 \pm 0,02609$ s (2D-VR) sehr ähnlich. Die Nutzung einer VR-Brille scheint keinen Einfluss auf die Aufmerksamkeitsleistung zu haben.

Zur Vereinfachung und um auszuschließen, dass eine Display-Technologie sich auf den Test auswirkt, wurden alle Durchläufe des ersten PVT der VR-Proband/innen mit allen Durchläufen der 2D-Proband/innen verglichen. Dasselbe wurde für den zweiten PVT durchgeführt. In den Gruppen war jeweils eine Testpersonenanzahl von $N = 21$. Für den PVT 1 wurde eine Mann-Whitney Auswertung verwendet, da die Durchläufe der 2D-Gruppen nach Shapiro-Wilk nicht normalverteilt sind. Beim Vergleich der VR- und 2D Gruppen des PVT 1 zeigen sich sehr ähnliche Mittelwerte mit $M = 0,3500 \pm 0,02445$ s (VR) und $M = 0,3453 \pm 0,02198$. Die Gruppen sind nicht signifikant unterschiedlich ($U = 198$; $p = 0,5837$). Beim zweiten PVT wurde der zweistichproben t-Test für die Auswertung der normalverteilten Daten verwendet. Die Mittelwerte liegen erneut nah beieinander mit $M = 0,3549 \pm 0,02766$ s (VR) und $M = 0,3480 \pm 0,03621$. Auch beim PVT 2 zeigt sich keine Signifikanz ($t(37) = 0,6892$; $p = 0,4949$). Der unterschiedliche Kontext und die Display-Technologie haben keinen Einfluss auf die Aufmerksamkeitsleistung.

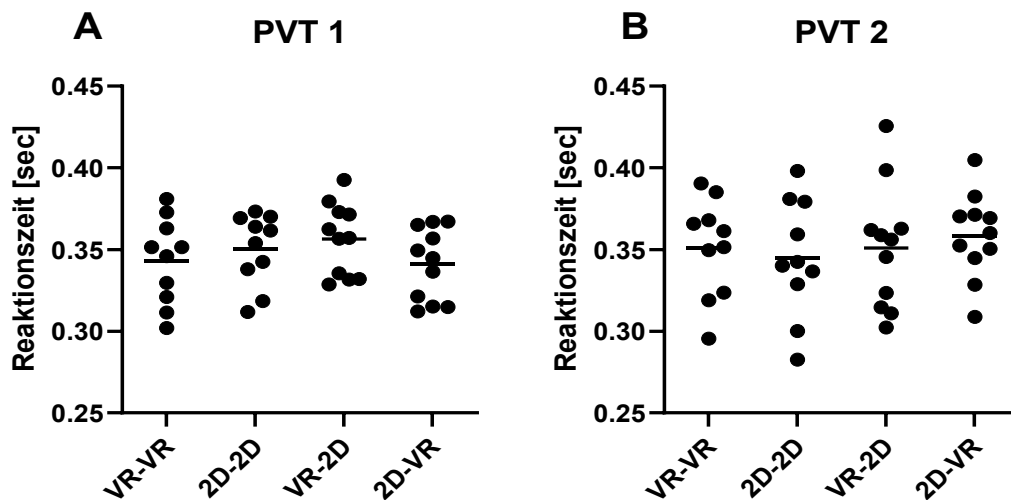


Abbildung 14: Vergleich der zwei PVT in aufgeteilten Gruppen

3.3.2 Fragebögen

3.3.2.1 Stanford Sleepiness Scale

Bei der Analyse der Schläfrigkeitsdaten des „SSS“ zeigt sich vor dem ersten Test wie zu erwarten kein Unterschied der Gruppen. Die Daten der Schläfrigkeitsfragebögen sind nicht normalverteilt und wurden mit dem Mann-Whitney Test ausgewertet (siehe Abbildung 15). Der Mittelwert liegt bei der Wiederholungsgruppe und der Wechselgruppe bei etwa 2 ($M = 1,950 \pm 0,6863$ bzw. $M = 1,854 \pm 0,9902$) was wach aber nicht auf dem Höhepunkt entspricht (siehe Anhang 5-6). Dieser geringe Unterschied der Gruppen ist nicht signifikant ($U = 191,5$; $p = 0,4335$). Auch nach der Pause sind die beiden Gruppen sehr ähnlich mit den Mittelwerten $M = 2,350 \pm 0,9881$ (Wiederholung) und $M = 2,409 \pm 1,054$ (Wechsel). Der Unterschied ist wieder nicht signifikant ($U = 218$; $p = 0,9769$). Auch wenn man die Ergebnisse der Fragebögen der jeweiligen Gruppen vor und nach dem ersten Test bzw. der Pause auswertet, ergibt sich keine Signifikanz. Beim Wechsel der Labore lässt sich aber eine Tendenz zur erhöhten Müdigkeit nach den Versuchen erkennen. (Wiederholung: $U = 152$; $p = 0,1617$. Wechsel: $U = 166,5$; $p = 0,0595$).

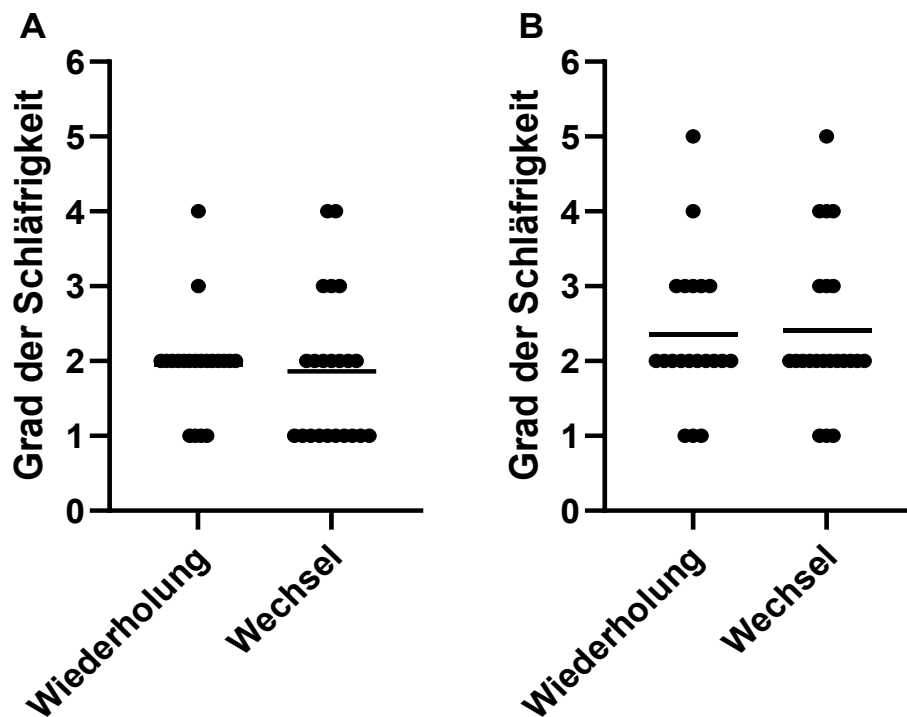


Abbildung 15: Müdigkeit nach "SSS" vor (A) bzw. nach (B) dem ersten Hauptversuch

- (A) Vergleich zwischen Kontextwiederholung ($N = 20$) und Kontextwechsel ($N = 22$) mit Mittelwert $M = 1,950 \pm 0,6863$ (Wiederholung) und $M = 1,964 \pm 0,9902$ (Wechsel). $U = 191,5$; $p = 0,4335$
- (B) Vergleich zwischen Kontextwiederholung ($N = 20$) und Kontextwechsel ($N = 22$) mit Mittelwert $M = 2,350 \pm 0,9881$ (Wiederholung) und $M = 2,409 \pm 1,054$ (Wechsel). $U = 218$; $p = 0,9769$

Bei der Aufspaltung der Gruppen ergibt sich vor dem ersten Test wie erwartet kein großer Unterschied der Gruppen, auch nach der Pause ist kein signifikanter Unterschied zu vermerken (siehe Abbildung 16). Die 2D-Wiederholungsgruppe ist etwas besser als die VR-Wiederholungsgruppe nach der Pause mit $M = 1,900 \pm 0,7379$ (2D) und $M = 2,800 \pm 1,033$ (VR). Die Wechselgruppen sind etwas schlechter als die 2D-Wiederholungsgruppen liegen mit den Mittelwerten von $M = 2,364 \pm 1,206$ (VR-2D) und $M = 2,455 \pm 0,9342$ aber sehr nah beieinander.

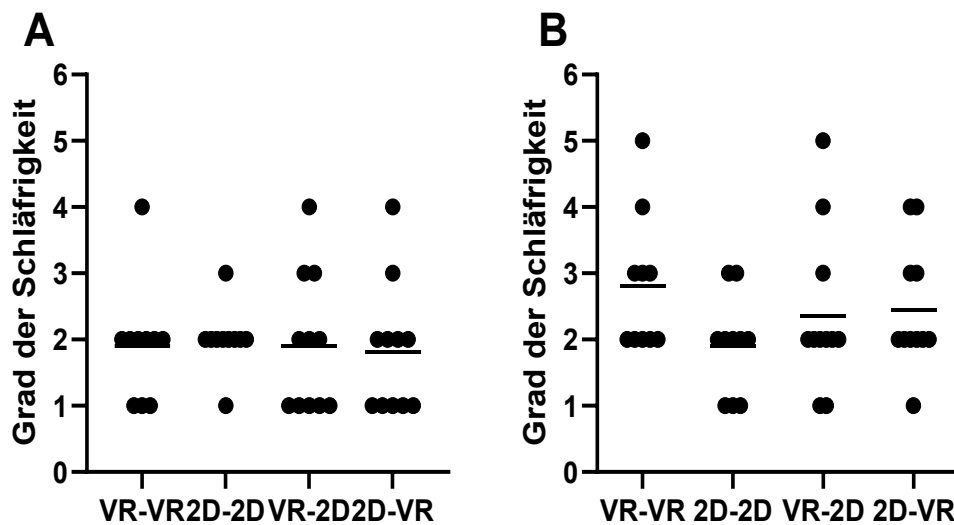


Abbildung 16: Müdigkeit nach "SSS" vor (A) bzw. nach (B) dem ersten Hauptversuch bei aufgeteilten Probandengruppen

- (A) Vergleich zwischen VR-VR ($N = 10$), 2D-2D ($N = 10$), VR-2D ($N = 11$) und 2D-VR ($N = 11$). Mit Mittelwerten von $M = 1,900 \pm 0,8756$ (VR-VR), $M = 2,000 \pm 0,4714$ (2D-2D), $M = 1,909 \pm 1,044$ (VR-2D) und $M = 1,818 \pm 0,9816$ (2D-VR). VR-VR und 2D-2D ($U = 41,50$; $p = 0,4954$); VR-2D und 2D-VR ($U = 58$; $p = 0,9542$); VR-VR und VR-2D ($U = 53$; $p = 0,8483$); VR-VR und 2D-VR ($U = 50$; $p = 0,7154$); 2D-2D und VR-2D ($U = 46,50$; $p = 0,5460$); 2D-2D und 2D-VR ($U = 42$; $p = 0,2841$).
- (B) Vergleich zwischen VR-VR ($N = 10$), 2D-2D ($N = 10$), VR-2D ($N = 11$) und 2D-VR ($N = 11$). Mit Mittelwerten von $M = 2,800 \pm 1,033$ (VR-VR), $M = 1,900 \pm 0,7379$ (2D-2D), $M = 2,364 \pm 1,206$ (VR-2D) und $M = 2,455 \pm 0,9342$ (2D-VR). VR-VR und 2D-2D ($U = 25,50$; $p = 0,0658$); VR-2D und 2D-VR ($U = 54$; $p = 0,7101$); VR-VR und VR-2D ($U = 39,50$; $p = 0,2642$); VR-VR und 2D-VR ($U = 45$; $p = 0,4995$); 2D-2D und VR-2D ($U = 45$; $p = 0,4414$); 2D-2D und 2D-VR ($U = 37,50$; $p = 0,2178$).

3.3.2.2 Tiredness Symptom Score

Bei dem „TSS“-Fragebogen wurden die Daten von 40 Proband:innen ausgewertet, zwei Proband:innen gaben keine Werte an. Bei der Auswertung der Daten der „TSS“ Fragebögen sieht man keine Normalverteilung der Daten, sie wurden mit dem Mann-Whitney Test ausgewertet (Siehe Abbildung 17). Beim Vergleich der Gruppen vor dem Test zeigt sich wie erwartet kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($U = 160,5$; $p = 0,2579$). Die

Mediane liegen bei der Wiederholungsgruppe bei $M = 1,250 \pm 1,410$ und bei der Wechselgruppe bei $M = 0,800 \pm 1,152$, die Proband:innen haben im Durchschnitt etwa ein Kreuz bei „Ja“ gesetzt. Der Vergleich der Gruppen nach der Pause zeigt auch keinen signifikanten Unterschied ($U = 196,5$; $p = 0,9301$). Die Mittelwerte liegen bei der Wiederholungsgruppe bei $M = 2,050 \pm 2,282$ und bei der Wechselgruppe bei $M = 1,950 \pm 1,959$.

Beim Vergleich der jeweiligen Gruppen vor und nach dem ersten Test bzw. der Pause zeigt sich bei der Wiederholungsgruppe keine Signifikanz ($U = 169,5$; $p = 0,4011$). Bei der Wechselgruppe gibt es einen signifikanten Unterschied ($U = 129,5$; $p = 0,0471$). Die Proband:innen der Wechselgruppe sind also nach der Pause signifikant müder als vor dem ersten Test.

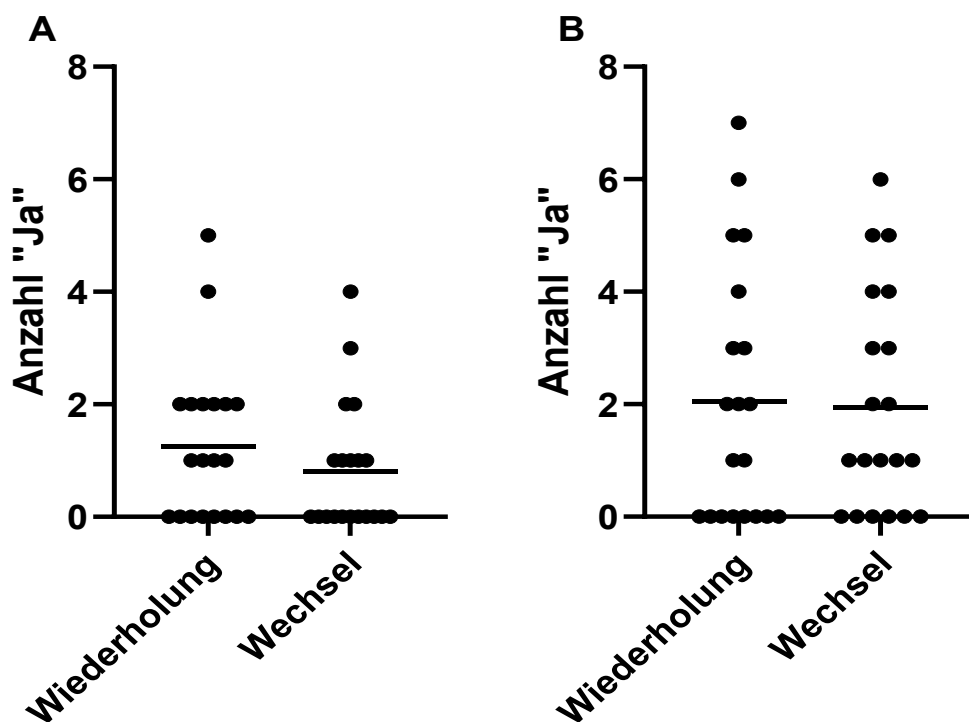


Abbildung 17: Müdigkeit nach "TSS" vor (A) bzw. nach (B) dem ersten Hauptversuch

(A) Vergleich zwischen Kontextwiederholung ($N = 20$) und Kontextwechsel ($N = 20$) mit Mittelwert $M = 1,250 \pm 1,410$ (Wiederholung) und $M = 0,800 \pm 1,152$ (Wechsel). $U = 160,5$; $p = 0,2579$

(B) Vergleich zwischen Kontextwiederholung (N = 20) und Kontextwechsel (N = 20) mit Mittelwert $M = 2,050 \pm 2,282$ (Wiederholung) und $M = 1,950 \pm 1,959$ (Wechsel). $U = 196,50$; $p = 0,9301$

Bei der Aufspaltung der Gruppen zeigt sich eine Normalverteilung nach Shapiro-Wilk in den Gruppen VR-VR und 2D-VR, diese Gruppen wurden miteinander mit dem t-Test verglichen, die restlichen Gruppen wurden mit dem Mann-Whitney Test ausgewertet (siehe Abbildung 18). Wie zu erwarten, ist kein signifikanter Unterschied in der Schläfrigkeit vor dem Test zu erkennen. Nach der Pause sieht man allerdings in der VR-Wiederholungsgruppe einen signifikanten Unterschied zu 2D-Wiederholungsgruppe. $M = 3,300 \pm 2,497$ (VR-VR) $M = 0,800 \pm 1,135$ (2D-2D) $U = 20$; $p = 0,0183$. Bei den Wechselgruppen schneidet die VR-2D Gruppe etwas besser ab als die 2D-VR Gruppe mit einem Mittelwert von $M = 1,300 \pm 1,947$ (VR-2D) und $M = 2,600 \pm 1,838$ (2D-VR), es ergibt sich aber kein signifikanter Unterschied.

Beim Vergleich der Gruppen untereinander ergibt sich kein signifikanter Unterschied außer bei den Gruppen 2D-2D und 2D-VR in der zweiten Abfrage der Müdigkeit ($U = 20$; $p = 0,186$).

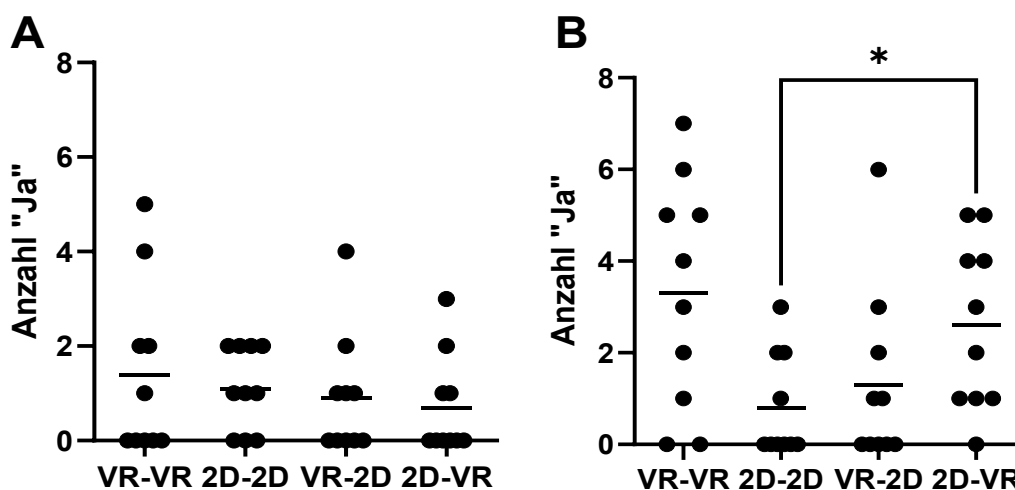


Abbildung 18: Müdigkeit nach "TSS" vor (A) bzw. nach (B) dem ersten Hauptversuch bei aufgeteilten Probandengruppen

- (A) Vergleich zwischen VR-VR ($N = 10$), 2D-2D ($N = 10$), VR-2D ($N = 10$) und 2D-VR ($N = 10$). Mit Mittelwerten von $M = 1,400 \pm 1,838$ (VR-VR), $M = 1,100 \pm 0,8756$ (2D-2D), $M = 0,900 \pm 1,287$ (VR-2D) und $M = 0,700 \pm 1,059$ (2D-VR). VR-VR und 2D-2D ($U = 48$; $p = 0,8727$); VR-2D und 2D-VR ($U = 45,50$; $p = 0,7499$); VR-VR und VR-2D ($U = 44,50$; $p = 0,6777$); VR-VR und 2D-VR ($U = 41$; $p = 0,4756$); 2D-2D und VR-2D ($U = 39$; $p = 0,4288$); 2D-2D und 2D-VR ($U = 36$; $p = 0,3007$).
- (B) Vergleich zwischen VR-VR ($N = 10$), 2D-2D ($N = 10$), VR-2D ($N = 10$) und 2D-VR ($N = 10$). Mit Mittelwerten von $M = 3,300 \pm 2,497$ (VR-VR), $M = 0,800 \pm 1,135$ (2D-2D), $M = 1,300 \pm 1,947$ (VR-2D) und $M = 2,600 \pm 1,838$ (2D-VR). VR-VR und 2D-2D ($U = 20$; $p = 0,0183$); VR-2D und 2D-VR ($U = 27,50$; $p = 0,0858$); VR-VR und VR-2D ($U = 26,50$; $p = 0,0737$); VR-VR und 2D-VR ($t(17) = 0,7140$; $p = 0,4852$); 2D-2D und VR-2D ($U = 44,50$; $p = 0,6999$); 2D-2D und 2D-VR ($U = 20$; $p = 0,0186$).

3.3.2.3 Compliance & Health-Check

Das Stresslevel der Woche bisher beschreiben 24 Proband:innen als etwas stressig, 14 als mittel und 4 Proband:innen als sehr stressig. Im Vergleich dazu wird das Stresslevel am Versuchstag von 24 Proband:innen als gar nicht stressig, von 16 Proband:innen als etwas stressig und von nur 2 Proband:innen als sehr stressig beschrieben.

3.3.2.4 Simulator Sickness & Misery Score

Nach der Testdurchführung mit der VR-Brille berichteten 18 Proband:innen über mindestens ein wenig ausgeprägtes Symptom, 7 Proband:innen über mindestens ein stark ausgeprägtes Symptom auf dem Simulator Sickness Fragebogen. Bei dem Misery Score wurde von 5 Proband:innen Unwohlsein beschrieben, 5 Proband:innen wählten vage Symptome aus. 6 Proband:innen haben geringe Symptome ausgewählt, 1 Proband beschrieb seine Symptome als mittelstark.

4 Diskussion

Die Arbeit sollte die Auswirkung einer möglichst kurzen Konsolidierungsphase auf den Einfluss von Kontextwechsel oder -wiederholung auf das S-R Lernen untersuchen.

Es wurden bereits erprobte S-R-Aufgaben verwendet und in zweidimensionaler und virtueller Umgebung enkodiert. Nach einer 35-minütigen Pause wurde das Gelernte in einer erneuten S-R-Aufgabe, einer Wiederholungsaufgabe und einer expliziten Gedächtnisaufgabe abgefragt und ausgewertet.

Die Versuche wurden mit einer möglichst kurzen Pause durchgeführt. Aufgrund der örtlich getrennten Labore und der Anbindung mit dem Bus wurden 35 Minuten Pause gewählt. Eine kürzere Pause war aus diesen Gründen nicht möglich.

22 Proband:innen wechselten das Versuchslabor, 20 Proband:innen blieben im selben Labor für den zweiten Teil des Versuchs.

Eine Probandin war Linkshänderin, aufgrund eines durchschnittlichen Ergebnisses wurde sie mit in die Auswertung miteinbezogen.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Kontextwechsel trotz kurzer Konsolidierungsphase das S-R Lernen beeinflusst. Bei der Kontextwiederholung waren die Proband:innen signifikant schneller als bei einem Kontextwechsel. Die Richtigkeit wurde nicht verändert. Die verzögerte Reaktionsgeschwindigkeit deutet auf eine bessere Gedächtnisleistung hin, da durch eine Veränderung des Kontextes oder der Aktion die vorhandene Gedächtnisspur neu verknüpft werden muss.

Bei der Wiedererkennungsaufgabe ist eine signifikante Verschlechterung der Richtigkeit festzustellen, wenn die Proband:innen den Kontext wechseln. Dies spricht für einen besseren Abruf bei gleichbleibendem Kontext.

Die explizite Gedächtnisaufgabe zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen Kontextwechsel und -wiederholung.

4.1 S-R Lernen

Beim Erlernen der S-R Aufgaben wurden alle Stimuli zwei Mal mit der ihnen zugeordneten Aktion und Klassifikation gezeigt. Bei der Abfrage in der Abrufphase wurde ein Drittel mit veränderter Aufgabe (action switch) und ein Drittel mit veränderter Klassifikation (classification switch) gezeigt. Klassifikation und Aufgabe wurden nicht zusammen geändert. Das letzte Drittel wurde unverändert mit gleicher Klassifikation und Aufgabe (repeat) gezeigt. Die Aufgabe wechselte vom Drücken mit dem linken Zeigefinger zum Drücken mit dem rechten Zeigefinger oder andersherum. Die Klassifikation wechselte von größer/kleiner zu mechanisch/nicht-mechanisch oder andersherum.

Bei vorangegangenen Versuchen mit oder ohne Mittagsschlaf zeigten die Proband:innen, die das Labor wechselten, eine verzögerte Reaktionszeit in der Abrufphase und somit eine bessere Gedächtnisleistung. In dieser Arbeit wurde die Auswirkung einer möglichst kurzen Pause zwischen den Versuchen auf die Gedächtnisleistung bei gleichbleibendem oder wechselndem Kontext untersucht.

In den Versuchen dieser Arbeit ist der Einfluss des Kontexts trotz möglichst kurzer Zeit zwischen den Versuchen deutlich zu sehen. Die Proband:innen, die den Kontext gewechselt haben, zeigen eine bessere Gedächtnisleistung als die Proband:innen, die im selben Kontext blieben. Dies zeigt sich durch eine erhöhte Reaktionszeit. Durch das negative Priming erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit, da die vorhandenen Verknüpfungen erst wieder gelöst werden müssen (Fox, 1995; Rothermund et al., 2005). Dieser Verknüpfungskonflikt wurde schon häufig in Experimenten bewiesen (Gordon & Irwin, 1996; Horner & Henson, 2009; Henson et al., 2014; Kolodej, 2022; Miao et al., 2023). Dass ein Kontextwechsel negative Einflüsse auf die Reaktionszeit und Richtigkeit von Versuchen hat, konnte schon in Rattenversuchen wie von McDonald et al. 2001 gezeigt werden. In diesen Versuchen war das Experiment aber unverändert. Bei einer Veränderung der Versuche zeigte ein Kontextwechsel positive Einflüsse auf die Reaktionszeit und Richtigkeit. Es ist also realistisch zu erwarten, dass bei einer Veränderung des Versuches der

Kontextwechsel sich positiv auf die Reaktionszeit auswirkt (McDonald et al., 2001).

Der Kontextwechsel beeinflusst vor allem die Reaktionszeit, die Richtigkeit ist weniger stark betroffen. Die Reaktionszeit ist bei einem Aufgaben- oder Klassifikationswechsel signifikant erhöht, wenn Proband:innen den Kontext gewechselt haben. Bei einem Kontextwechsel scheint die Erinnerungsspur, für das S-R Lernen stärker gefestigt zu sein als bei gleichbleibendem Kontext. Bei fast allen Versuchsgruppen steigt die Reaktionszeit bei einem switch in der Aufgabe oder Klassifikation, da der Stimulus und die Aufgabe und der Stimulus und die Klassifikation verknüpft werden (Horner & Henson, 2009). Die Reaktionszeit der Wiederholungsgruppe ist mit einem Mittelwert von $M = 5,85 \pm 36,49$ ms signifikant schneller als der Mittelwert der Wechselgruppe mit $M = 31,20 \pm 39,58$ ms. Die Wechselgruppe zeigt somit eine bessere Konsolidierung als die Wiederholungsgruppe.

Das Ergebnis dieser Arbeit unterstützt die Ergebnisse aus den vorangegangenen Arbeiten. Der Kontextwechsel zeigt auch bei der sehr kurzen Konsolidierungsphase einen positiven Einfluss auf die Gedächtnisleistung. Warum die Proband:innen bei einem Kontextwechsel aber eine bessere Gedächtnisleistung zeigen als die Proband:innen, die im gleichen Labor bleiben, sollte weiter untersucht werden.

Die Richtigkeit ist nicht signifikant verändert, der Mittelwert der Wechselgruppe ist mit $M = 94,03 \pm 3,118$ % sehr ähnlich zu dem Mittelwert der Wiederholungsgruppe mit $M = 94,96 \pm 3,371$ %. Der Kontextwechsel scheint also keinen Einfluss auf die Richtigkeit der Antworten zu haben. Auch ist die prozentuale Richtigkeit in allen Gruppen sehr hoch. Dies widerspricht der Literatur, laut Horner und Henson, 2009 und Moutsopoulou et al. 2018, sollte sich die Richtigkeit bei Veränderung von Klassifikation oder Aufgabe verschlechtern (Horner & Henson, 2009; Moutsopoulou et al., 2018).

4.2 Wiedererkennungsaufgabe

Bei der Wiedererkennungsaufgabe hatten die Proband:innen die Aufgabe gezeigte Bilder danach zu bewerten, ob sie schon in ersten Teil des Versuches und der Abfrage gezeigt wurden und somit bekannte oder „alte“ Bilder waren oder ob es sich um noch nicht gesehene Bilder, also „neue“ Bilder handelte.

Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen der Wiederholungsgruppe und der Wechselgruppe. Der Kontextwechsel verschlechtert das Ergebnis deutlich. Die Richtigkeit der Wiederholungsgruppe liegt mit einem Mittelwert von $M = 92,24 \pm 5,708 \%$ erheblich höher als der Mittelwert der Wechselgruppe mit $M = 88,64 \pm 5,391 \%$. Der Kontextwechsel beeinflusst die Wiedererkennungsaufgabe im Gegensatz zum S-R Lernen negativ. Die Erinnerungsfähigkeit scheint bei den Proband:innen, die das Labor wechseln schlechter zu sein als bei den Proband:innen, die im selben Labor verbleiben. Dieses Ergebnis würde man eher nach einer Schlafphase erwarten und nicht nach einer kurzen Wachphase, da im Schlaf die Gedächtniskonsolidierung stärker fördert (Jenkins & Dallenbach, 1924; Rasch & Born, 2013). Laut Smith und Vela 2001 ist für die Wiedererkennungsaufgabe ein gleichbleibender Kontext vorteilhaft (Smith & Vela, 2001). Sawangjit et al. zeigten 2022 allerdings, dass Ratten nach Konsolidierung im Wachen bessere Gedächtnisleistung zeigen als Konsolidierung während des Schlafes, wenn der Kontext gewechselt wurde. Die Wachphase in den Experimenten von Sawangjit et al. betrug 2 Stunden (Sawangjit et al., 2022). Die Versuche diese Arbeit zeigen keinen positiven Einfluss des Kontextwechsels.

4.3 Explizite Gedächtnisaufgabe

Bei der expliziten Gedächtnisaufgabe wurde den Proband:innen erneut die „alten“ Bilder aus den S-R Lernversuchen gezeigt. Sie wurden nun gebeten sich zu erinnern mit welchen Hinweisen die Bilder angezeigt wurden, G+K oder M+N. Wenn ein Bild mit beiden Hinweisen gezeigt wurde, war nur ein Hinweis

in der richtigen Reihenfolge. Beispielsweise wurde ein Objekt erst mit dem Hinweis G+K gezeigt und dann mit M+N. In der Abfrage wurden die Hinweise zum Beispiel als K+G und M+N gezeigt. In diesem Fall wäre M+N korrekt, da der andere Hinweis in der falschen Reihenfolge gezeigt wurde.

Die Proband:innen wurden falsch instruiert. Ihnen wurde gesagt sie sollten sich für einen Hinweis entscheiden, wenn das schwierig sei, sollen sie nach Bauchgefühl entscheiden. Ihnen wurde nicht gesagt, dass die Reihenfolge der Buchstaben eine Rolle spielt und dass manche Objekte mit beiden Hinweisarten gezeigt wurden. Da diese Aufgabe den Proband:innen in vorangegangenen Arbeiten sehr schwergefallen ist, verließen sich die Proband:innen auch bei korrekter Instruktion auf ihr Bauchgefühl. Dies sieht man an einer vergleichbar niedrigen Richtigkeit (Weber, 2025). Daher ist eine Auswertung der Ergebnisse trotz der falschen Instruktion sinnvoll.

Die Ergebnisse zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen der Wiederholungs- und Wechselgruppe. Die Wiederholungsgruppe schneidet mit einem Mittelwert von $M = 61,76 \pm 6,094 \%$ aber etwas besser ab als die Wechselgruppe mit $M = 58,99 \pm 7,269 \%$.

Ob der Kontextwechsel bei korrekter Instruktion zu einem signifikanten Unterschied geführt hätte, muss in nachfolgenden Versuchen herausgefunden werden.

4.4 Vergleich 2D/VR

Bei dem S-R Lernen ist die 2D-Wiederholungsgruppe die einzige Probandengruppe, die trotz eines Aufgaben- oder Klassifikationswechsels keine Erhöhung der Reaktionszeit verzeichnet. Die Reaktionszeit ist im zweiten Teil des Versuchs sogar schneller als in der Encodierungsphase. Die VR-Wiederholungsgruppe verzeichnet weniger starke kombinierte Wechselkosten als die beiden Wechselgruppen. Die VR-Wiederholungsgruppe ist mit einem Mittelwert von $M = 14,20 \pm 28,76 \text{ ms}$ nicht signifikant langsamer als die 2D-

Wiederholungsgruppe mit einem Mittelwert von $M = -2,503 \pm 43,77$ ms. Es zeigt sich also kein signifikanter Einfluss der Umgebung.

Bei der Richtigkeit bei dem S-R Lernen schneiden die beiden Wiederholungsgruppen fast gleich ab. Die VR-Gruppe mit einem Mittelwert von $M = 95,62 \pm 3,158$ % und die 2D-Gruppe mit einem Mittelwert von $M = 94,31 \pm 36,13$ %. Dies deckt sich mit den Ergebnissen vorangegangener Arbeiten (Weber, 2025).

Bei der Wiedererkennungsaufgabe sind die Ergebnisse der VR-Wiederholungsgruppe und die der 2D-Wiederholungsgruppe auch fast gleich, dies deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen der vorangegangenen Arbeiten. Die Mittelwerte liegen bei $M = 92,30 \pm 6,273$ % für die VR-Gruppe und $M = 92,18 \pm 5,425$ % bei der 2D-Gruppe.

Bei der expliziten Gedächtnisaufgabe ist die VR-Wiederholungsgruppe mit einem Mittelwert von $M = 63,90 \pm 5,365$ % nicht signifikant aber erkennbar besser als die 2D-Wiederholungsgruppe mit einem Mittelwert von $M = 59,62 \pm 6,281$ %. Auch in vorherigen Versuchen war keine Signifikanz erkennbar, allerdings schnitt in vorangegangenen Versuchen die 2D-Gruppe etwas besser ab als die VR-Gruppe.

Bei einem Wechsel von 2D zu VR zeigen die Proband:innen in fast allen Versuchen eine etwas bessere Gedächtnisleistung und somit eine höhere Richtigkeit als bei einem Wechsel von VR zu 2D. Nur bei der Reaktionszeit des S-R Lernens zeigt die VR-2D Gruppe eine etwas höhere Reaktionszeit und somit bessere Gedächtnisleistung als die 2D-VR Gruppe.

Einige Studien zeigen eine Verbesserung des Lernerfolgs in der virtuellen Realität (Fiorella & Mayer, 2021; Wölfel, 2023). In den Ergebnissen dieser Arbeit kann eine tendenziell bessere Gedächtnisleistung der VR-Gruppe erkannt werden. Andere Studien zeigen aber dass Proband:innen in der Virtuellen Realität eine, je nach Lernmethode, schlechtere Erinnerungsfähigkeit im Vergleich zum Lernen analog oder an einem Computerbildschirm haben können (Parong & Mayer, 2018; Juliano et al., 2022; Levac et al., 2019). Die

unterschiedliche Studienlage spiegelt sich in den Ergebnissen der unterschiedlichen Tests dieser Arbeit wider. Bei einigen Tests ist die gewählte Lernmethode im VR vorteilhaft für die Gedächtnisleistung der Proband:innen, bei anderen zeigt sich kaum ein Unterschied zum Computerbildschirm.

Einige Proband:innen litten unter Unwohlsein bei der Nutzung der VR-Brille. Die VR-Krankheit kann den Lernerfolg mindern (Jensen & Konradsen, 2018). Die Proband:innen, die unter Unwohlsein litten, wurden wie die unbetroffenen Proband:innen ausgewertet. Ein separater Vergleich der Leistungen der Betroffenen und Unbetroffenen sollte in Erwägung gezogen werden.

5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit sollte die Auswirkung eines Kontextwechsels auf die Reaktionsgeschwindigkeit und die Richtigkeit der Antworten beim S-R Lernen mit möglichst kurzer Konsolidierungsphase untersucht werden. Die Ergebnisse zeigen, dass der Kontext das S-R Lernen auch nach sehr kurzer Konsolidierungsphase beeinflusst.

Die Proband:innen wurden in je zwei Wechselgruppen und zwei Wiederholungsgruppen eingeteilt. Die Kontexte waren eine VR-Lernumgebung und eine 2D-Lernumgebung. Die Wechselgruppen führten den zweiten Teil des Versuchs in einem anderen Kontext durch, die Wiederholungsgruppen blieben in dem ihnen zugeteilten Kontext.

In der S-R Lernaufgabe war die Gedächtnisleistung signifikant besser beim Kontextwechsel. Die Reaktionszeit der Wechselgruppe war daher langsamer. Die Richtigkeit wurde vom Kontextwechsel nicht beeinflusst. Der Kontextwechsel fördert auch bei nur 35 min Pause die Gedächtnisleistung.

Die Wiedererkennungsaufgabe wurde stattdessen negativ von einem Kontextwechsel beeinflusst. Die Proband:innen hatten eine geringere Richtigkeit bei den Antworten, wenn sie das Labor wechselten.

Aufgrund der falschen Instruktion sind die Ergebnisse der expliziten Gedächtnisaufgabe nicht aussagekräftig. Mit der falschen Instruktion zeigt sich keine Beeinflussung der Richtigkeit bei einem Kontextwechsel.

Es wurden ebenfalls die zwei Kontexte VR und 2D untersucht. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied der Gruppen in der Reaktionszeit beim S-R Lernen. Die VR zeigt keinen Einfluss auf die Richtigkeit bei dem S-R Lernen oder bei der Wiedererkennungsaufgabe. Die Explizite Gedächtnisaufgabe zeigt allerdings, dass Proband:innen in der virtuellen Umgebung etwas besser abschneiden als in der zweidimensionalen Umgebung. Bei einem Wechsel des Kontextes von 2D zu VR sind die Proband:innen in fast allen Versuchen etwas besser als bei dem Wechsel andersherum.

6 Literaturverzeichnis

- Alberini, C. M. (2011). The Role of Reconsolidation and the Dynamic Process of Long-Term Memory Formation and Storage. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 5. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2011.00012>
- Audrain, S., & McAndrews, M. (2022). Schemas provide a scaffold for neocortical integration of new memories over time. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33517-0>
- Bos, J. E., MacKinnon, S. N., & Patterson, A. (2005). Motion sickness symptoms in a ship motion simulator: effects of inside, outside, and no view. *Aviation, space, and environmental medicine*, 76(12), 1111-1118. Von <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16370260/> abgerufen
- de Winkel, K. N., Irmak, T., Kotian, V., Pool, D. M., & Happee, R. (2022). Relating individual motion sickness levels to subjective discomfort ratings. *Experimental brain research*, 240(4), 1231–1240. <https://doi.org/10.1007/s00221-022-06334-6>
- Deuchler, J., & Wölfel, M. (2022). Lessons Learned in Transferring a Lecture on Virtual Reality into Immersive Virtual Reality. 20. *Fachtagung Bildungstechnologien (DELFI)*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. <https://doi.org/10.18420/delfi2022-022>
- Dörner, R., & Steinicke, F. (2019). Wahrnehmungsaspekte von VR. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm, & B. Jung, *Virtual und Augmented Reality (VR/AR) Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (S. 67-70). Springer Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58861-1>
- Dudai, Y., Karni, A., & Born, J. (2015). The Consolidation and Transformation of Memory. *Neuron*, 88(1), 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.004>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2021). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning from Part IV - Principles for Reducing

- Extraneous Processing in Multimedia Learning. In R. E. Mayer, & L. Fiorella, *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 185 - 198). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781108894333.019>
- Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 145-173.
<https://doi.org/10.3758/BF03210958>
- Frankland, P. W., & Bontempi, B. (2005). The organization of recent and remote memories. *Nature reviews. Neuroscience*, 6(2), 119–130.
<https://doi.org/10.1038/nrn1607>
- Gordon, R., & Irwin, D. (1996). What's in an object file? Evidence from priming studies. *Perception & Psychophysics*, 58, 1260-1277.
<https://doi.org/10.3758/BF03207558>
- Henson, R. N., Eckstein, D., Waszak, F., Frings, C., & Horner, A. J. (2014). Stimulus–response bindings in priming. *Trends in cognitive sciences*, 18(7), 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.03.004>
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R., & Dement, W. C. (1973). Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology*, 10(4), 431–436. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1973.tb00801.x>
- Horner, A. J., & Henson, R. N. (2009). Bindings between stimuli and multiple response codes dominate long-lag repetition priming in speeded classification tasks. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 35(3), 757–779.
<https://doi.org/10.1037/a0015262>
- Huckauf, A., & Schweiker, M. (2025). Virtuelle Welten. In P. Walter, F. Müller, A. Huckauf, M. Schweiker, & W. van Haren, *Sehen und darüber hinaus* (S. 187–195). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-69250-9_8
- Jäncke, L. (2013). *Lehrbuch Kognitive Neurowissenschaften*. Bern: Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.1024/86346-000>

- Jenkins, J. G., & Dallenbach, K. M. (1924). Obliviscence during Sleep and Waking. *The American Journal of Psychology*, 35(4), 605-612.
<https://doi.org/10.2307/1414040>
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23, 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Juliano, J., Schweighofer, N., & Liew, S. (2022). Increased cognitive load in immersive virtual reality during visuomotor adaptation is associated with decreased long-term retention and context transfer. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01084-6>
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203–220. <https://doi.org/10.1207/s153>
- Kim, H. K., Park, J., Choi, Y., & Choe, M. (2018). Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, 69, 66-73.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.016>
- Kolodej, C. (2022). Priming, Grundlagen des Phänomens. In C. Kolodej, *Priming - Stärkende Räume entstehen lassen* (S. 1–23). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-36330-7_1
- LaViola, J. (2000). A Discussion of Cybersickness in Virtual Environments. *Association for Computing Machinery Special Interest Group on Computer-Human Interaction Bulletin*, 32(1), 47-56.
<https://doi.org/10.1145/333329.333344>
- Levac, D. E., Huber, M. E., & Sternad, D. (2019). Learning and transfer of complex motor skills in virtual reality: a perspective review. *Journal of*

- neuroengineering and rehabilitation*, 16(1).
<https://doi.org/10.1186/s12984-019-0587-8>
- Logan, G. D. (1990). Repetition priming and automaticity: Common underlying mechanisms? *Cognitive Psychology*, 22(1), 1-35.
[https://doi.org/10.1016/0010-0285\(90\)90002-L](https://doi.org/10.1016/0010-0285(90)90002-L)
- McDonald, R. J., King, A. L., & Hong, N. S. (2001). Context-specific interference on reversal learning of a stimulus-response habit. *Behavioural Brain Research*, 121(1-2), 149-165. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(01\)00160-7](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(01)00160-7)
- McGaugh, J. L. (2000). Memory--a Century of Consolidation. *Science*, 287(5451), 248-251. <https://doi.org/10.1126/science.287.5451.248>
- Miao, X., Müller, C., Lutz, N. D., Yang, Q., Waszak, F., Born, J., & Rauss, K. (2023). Sleep consolidates stimulus-response learning. *Learning & memory*, 30(9), 175-184. <https://doi.org/10.1101/lm.053753.123>
- Moritz, T. (2025). Virtuelle Realität im Internet. In T. Moritz, *Screenografie kompakt* (S. 168-176). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-48692-1_10
- Moutsopoulou, K., & Waszak, F. (2013). *Durability of classification and action learning: differences revealed using ex-Gaussian distribution analysis* *Experimental Brain Research*, 226, 373-382.
<https://doi.org/10.1007/s00221-013-3445-0>
- Moutsopoulou, K., Pfeuffer, C., Kiesel, A., Yang, Q., & Waszak, F. (2018). How long is long-term priming? Classification and action priming in the scale of days. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 72(5), 1183-1199. <https://doi.org/10.1177/1747021818784261>
- Oldfield, R. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)

- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning Science in Immersive Virtual Reality. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 785–797. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
- Rasch, B., & Born, J. (2013). About sleep's role in memory. *Physiological reviews*, 93(2), 681–766. <https://doi.org/10.1152/physrev.00032.2012>
- Rothermund, K., Wentura, D., & Houwer, J. D. (2005). Retrieval of incidental stimulus-response associations as a source of negative priming. *Journal of Experimental Psychology Learning, Memory, and Cognition*, 31(3), 482– 495. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.3.482>
- Sawangjit, A., Harkotte, M., O. C., Niethard, N., Born, J., & Inostroza, M. (2022). Two distinct ways to form long-term object recognition memory during sleep and wakefulness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(34). <https://doi.org/10.1073/pnas.2203165119>
- Smith, S., & Vela, E. (2001). Environmental context-dependent memory: A review and meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 203–220. <https://doi.org/10.3758/BF03196157>
- Squire, L. R. (1992). *Declarative and Nondeclarative Memory: Multiple Brain Systems Supporting Learning and Memory*. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 232–243. <https://doi.org/10.1162/jocn.1992.4.3.232>
- Squire, L. R., Genzel, L., Wixted, J. T., & Morris, R. G. (2015). Memory consolidation. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 7(8). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021766>
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: the declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1-2), 231-270. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.008>.
- van Kesteren, M. T., Ruiter, D. J., Fernández, G., & Henson, R. N. (2012). How schema and novelty augment memory formation . *Trends in neurosciences*, 35(4), 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2012.02.001>

Weber, A.-L. J. (14. 11. 2025). Schlafabhängiges Stimulus-Response-Lernen in Virtueller Realität und im Labor. Tübingen. Von <http://dx.doi.org/10.15496/publikation-113502> abgerufen

Wölfel, M. (2023). *Immersive Virtuelle Realität Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. Springer Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-66908-2>

Zoelch, C., Berner, V., & Thomas, J. (2019). Gedächtnis und Wissenserwerb. In D. Urhahne, M. Dresel, & F. Fischer, *Psychologie für den Lehrberuf* (S. 23-52). Springer Verlag GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55754-9_2

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie des Universitätsklinikums Tübingen unter Betreuung von PD Dr. Karsten Rauss durchgeführt

Die Konzeption der Studie erfolgte durch PD Dr. Karsten Rauss und Xiu Miao, M.Sc. und Prof. Dr. Jan Born.

Die Versuche wurden nach Einarbeitung durch Xiu Miao von mir in Zusammenarbeit mit Xiu Miao durchgeführt.

Die Probanden wurden eigenständig von mir rekrutiert.

Die statistische Auswertung und Datenanalyse erfolgten eigenständig durch mich, mit den oben genannten Methoden und Tools.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Ort, Datum

Unterschrift

8 Veröffentlichungen

Teile dieser Arbeit befinden sich unter dem Titel „Wake consolidates event memory, sleep binds it with context“ von Miao, X., Dahmen, J., Thoma, A. S., Weber, A-L, Waszak, F., Born, J. & Rauss, K. im Begutachtungsprozess. Ein Preprint findet sich unter:

<https://www.biorxiv.org/cgi/content/short/2025.11.12.687983v1>

9 Danksagung

Ein großes Dankeschön geht an die Proband:innen, die diese Arbeit erst ermöglicht haben. Trotz drei Tage Koffeinverzicht, haben sich viele Studierende freiwillig gemeldet, um mir bei den Experimenten als Versuchsperson zu dienen.

Weiterhin möchte ich herzlich meinem Doktorvater PD Dr. Karsten Rauss für die sehr gute Betreuung danken. Dank der Bereitschaft stets bei Fragen und Unklarheiten zur Verfügung zu stehen konnte die reibungslose Erhebung der Daten ermöglicht werden.

Ohne die Einarbeitung, Unterstützung und Versuchsleitung im anderen Labor durch meinen Betreuer Xiu Miao wäre die Durchführung der Versuche so nicht möglich gewesen. Dafür möchte ich mich von ganzem Herzen bedanken.

Meinen Eltern und Freunden, die mir mit Rat und dem ein oder anderen aufmunternden Wort zur Seite standen, möchte ich ebenfalls danken. Ohne sie hätte ich es vermutlich nicht durch das Studium und jetzt an diesen Punkt geschafft.

10 Anhang

Dokument 10: Anwerbetext

Liebe Studierende, liebe Kolleginnen und Kollegen,

am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie suchen wir Teilnehmerinnen und Teilnehmer für ein Experiment, in dem grundlegende Beziehung zwischen Schlaf und Gedächtnis untersucht werden.

Die Studie umfasst zwei Sitzungen am selben Tag von insgesamt ca. 2 Stunden Dauer. Die Versuchsaufgabe wird entweder am Computer oder mit VR-Brillen durchgeführt. Je nach Versuchsbedingung finden beide Sitzungen am selben Ort statt, oder Sie wechseln zwischen den Sitzungen in ein anderes Labor. Als Aufwandsentschädigung erhalten Sie 25 Euro (12,50 Euro/Stunde).

Für die Versuchsteilnahme gelten folgende **Voraussetzungen**:

- Alter zwischen 18 und 36 Jahren
- normale Sehschärfe, ggf. durch Kontaktlinsen (nicht Brille!) korrigiert
- keine schwerwiegenden neurologischen oder psychiatrischen Krankheiten
- rechtshändig

Personenbezogene Angaben werden pseudonymisiert und nur zum Zwecke dieser Studie verarbeitet. Auf die Freiwilligkeit der Teilnahme wird ausdrücklich hingewiesen.

Interessiert? Für eine unverbindliche Anfrage melden Sie sich gerne bei:

email@student.uni-tuebingen.de

Mit freundlichen Grüßen,

Studienleitung:

PD Dr. Karsten Rauss
Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie
Otfried-Müller-Str. 25
72076 Tübingen

Dokument 2: Einwilligungserklärung

Einwilligungserklärung

zum Umgang mit den in einer Studie erhobenen Daten

Ich erkläre, dass ich mit der im Rahmen der Studie erfolgenden Erhebung und Verarbeitung von Daten und ihrer verschlüsselten (pseudonymisierten) Weitergabe einverstanden bin.

Ich stimme zu, dass bevollmächtigte Personen zum Zwecke der Überprüfung der Daten Einblick in meine persönliche Krankenakte nehmen dürfen und entbinde den behandelnden Arzt insoweit von seiner ärztlichen Schweigepflicht.

Mir ist bewusst, dass die Ergebnisse dieser Studie in medizinischen Fachzeitschriften veröffentlicht werden, allerdings in anonymisierter Form, so dass ein direkter Bezug zu meiner Person nicht hergestellt werden kann.

Ich wurde darüber informiert, dass ich jederzeit Auskunft über meine gespeicherten Daten und die Berichtigung von fehlerhaften Daten verlangen kann.

Ich weiß, dass ich jederzeit, beispielsweise beim Widerruf der Studienteilnahme, verlangen kann, dass meine bis dahin erhobenen Daten gelöscht oder unverzüglich anonymisiert werden.

Ich erkläre, dass ich über die Erhebung und Verarbeitung meiner in dieser Studie erhobenen Daten und meine Rechte angemessen informiert wurde.

Ich stimme der Verwendung der im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten in der oben beschriebenen Form zu. Für die Einsichtnahme bevollmächtigter Personen befreie ich im erforderlichen Umfang meine behandelnden Ärzte und das Studienteam von der Schweigepflicht.

Ich bin ausdrücklich damit einverstanden, dass das Studienteam auch nach Studienende zu mir Kontakt aufnehmen darf, um zu fragen, ob ich einverstanden bin, dass die im Rahmen der Studie erhobenen Daten auch für konkrete künftige Forschungsvorhaben der Klinik bzw. des Instituts genutzt und weiterverarbeitet werden können.

Ja ☐ Nein ☐

Datum und Unterschrift
(Studienteilnehmer)

Datum und Unterschrift
(Aufklärender Wissenschaftler)

Dokument 3: Demographische Daten

Informationen Experiment „VR, Schlaf und Gedächtnis“

Titel der Studie:	„VR, Schlaf und Gedächtnis“
Verantwortliche Institution:	Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie, Universitätsklinikum Tübingen
Ort der Durchführung:	Otfried-Müller-Str. 25, 72076, Tübingen
Leiter/Leiterin der Studie:	Jan Born

Teilnehmerin/Teilnehmer

Name und Vorname in Druckbuchstaben: _____

Geburtsdatum: _____

Alter: _____

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich ☐ diverse

Händigkeit: ☐ links ☐ rechts

Höchstes Bildungsniveau: ☐ Hauptschule ☐ Realschule ☐ Abitur ☐ Uni

Dokument 4: Edinburgh Handedness Inventory

Probanden-Code:

Uhrzeit:

CHS-Formular, 1978
Code Nr.:
Datum:

Edinburgh Handedness Inventory

Bitte geben Sie an, welche Hand Sie bei den folgenden Aktivitäten bevorzugen, indem Sie in die entsprechende Spalte ein Kreuz machen. Wo die Handbevorzugung so groß ist, daß Sie nie versuchen würden, die andere Hand zu benutzen, machen Sie bitte zwei Kreuze. Falls Sie sich wirklich nicht schlüssig sind, machen Sie ein Kreuz in beide Spalten.

Einige Aktivitäten erfordern zwei Hände. In diesem Fall ist der Teil der Aufgabe, für den die Bevorzugung gefragt ist, in Klammern gesetzt.

Bitte versuchen Sie alle Fragen zu beantworten. Nur wenn Sie keinerlei Erfahrung mit dem Objekt oder der Aufgabe haben, lassen Sie die Spalte frei.

		links	rechts
1	schreiben		
2	zeichnen		
3	werfen		
4	Schere		
5	Zahnbürste		
6	Messer (ohne Gabel)		
7	Löffel		
8	Besen (obere Hand)		
9	Zündholz anzünden (Zündholz)		
10	Schachtel öffnen (Deckel)		
i	Mit welchem Fuß treten Sie bevorzugt einen Gegenstand?		
ii	Welches Auge benutzen Sie, wenn Sie nur eines benutzen?		

Dokument 5: Compliance & Health-Check

Compliance & Health-Check

Vp-Nr. ____

1. Haben Sie heute Koffein zu sich genommen? Falls ja: wann? Wie viel? In welcher Form?

2. Haben sie heute Nikotin zu sich genommen? Falls ja: wann? Wie viel? In welcher Form?

3. Haben sie heute Alkohol zu sich genommen? Falls ja: wann? Wie viel? In welcher Form?

4. Hatten Sie in den letzten 7 Tagen Ein-/Durchschlaf-/Aufwachprobleme? Störungen des Schlaf-Wach-Rhythmus? Beeinträchtigte Schlafqualität?

5. Nahmen Sie letzte Woche vor dem Schlafengehen irgendwelche Substanzen ein (Alkohol, Cannabis, Medikamente, etc.)? Wenn ja, welche, wie oft, wie viel?

6. Wie stressreich/belastend empfanden Sie Ihre letzte Woche?

Gar nicht ☐ Etwas ☐ Mittel ☐ Stark ☐

7. Wie ist Ihre momentane Befindlichkeit?

Sehr schlecht ☐ Etwas schlecht ☐ Gut ☐ Sehr gut ☐

8. Als wie stressig empfanden sie den heutigen Tag bisher?

Sehr stressig ☐ Etwas stressig ☐ Gar nicht stressig ☐

9. Wie würden Sie insgesamt die Qualität Ihres Schlafes von letzter Nacht beurteilen?

Sehr gut ☐ Ziemlich gut ☐ Ziemlich schlecht ☐ Sehr schlecht ☐

Falls Sie „schlecht“ gewählt haben, bitte erläutern sie kurz warum:

Dokument 6: Stanford Sleepiness Scale & Tiredness Symptom Score Prä-Schlaf

Fragebögen zur akuten Schläfrigkeit (SSS & TSS)

Prä-Schlaf

VP-Nr: _____

Wählen Sie bitte diejenige Aussage, die am besten den Grad Ihrer Schläfrigkeit (bzw. Wachheit) beschreibt. Zutreffendes bitte ankreuzen.

Bitte nur ein Kästchen ankreuzen!

1.	Fühle mich aktiv und vital; aufmerksam; vollkommen wach	☐
2.	Bin voll da, jedoch nicht auf dem Höhepunkt; kann mich konzentrieren	☐
3.	Entspannt; wach; nicht voll aufmerksam; ansprechbar	☐
4.	Etwas dösig; nicht auf dem Höhepunkt; etwas schlapp	☐
5.	Dösig; verliere das Interesse wach zu bleiben; verlangsamt	☐
6.	Schläfrig; möchte mich hinlegen; kämpfe gegen den Schlaf; benebelt	☐
7.	Fast träumend; schlafe bald ein; kein Bemühen mehr, wach zu bleiben	☐

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwort in jeder Zeile an!

Zur Zeit spüre ich...	Ja	Nein
Schweregefühl im Kopf	☐	☐
Brennen der Augen	☐	☐
Tränen der Augen	☐	☐
Schwere der Augenlider	☐	☐
Schweregefühl in den Beinen	☐	☐
Allgemeine Kraftlosigkeit	☐	☐
Frösteln	☐	☐
Geräuschempfindlichkeit	☐	☐
Gähnen	☐	☐
Interesselosigkeit	☐	☐
Konzentrationsmangel	☐	☐
Reizbarkeit	☐	☐
Herabgesetzte Kommunikationsbereitschaft	☐	☐
Bewegungsdrang	☐	☐

Dokument 7: Stanford Sleepiness Scale & Tiredness Symptom Score Post-Schlaf

Fragebögen zur akuten Schläfrigkeit (SSS & TSS) *Post-Schlaf*

VP-Nr: _____

Wählen Sie bitte diejenige Aussage, die am besten den Grad Ihrer Schläfrigkeit (bzw. Wachheit) beschreibt. Zutreffendes bitte ankreuzen.

Bitte nur ein Kästchen ankreuzen!

1.	Fühle mich aktiv und vital; aufmerksam; vollkommen wach	☐
2.	Bin voll da, jedoch nicht auf dem Höhepunkt; kann mich konzentrieren	☐
3.	Entspannt; wach; nicht voll aufmerksam, ansprechbar	☐
4.	Etwas dösig; nicht auf dem Höhepunkt; etwas schlapp	☐
5.	Dösig; verliere das Interesse wach zu bleiben; verlangsamt	☐
6.	Schläfrig; möchte mich hinlegen; kämpfe gegen den Schlaf; benebelt	☐
7.	Fast träumend; schlafe bald ein; kein Bemühen mehr, wach zu bleiben	☐

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwort in jeder Zeile an!

Zur Zeit spüre ich...	Ja	Nein
Schweregefühl im Kopf	☐	☐
Brennen der Augen	☐	☐
Tränen der Augen	☐	☐
Schwere der Augenlider	☐	☐
Schweregefühl in den Beinen	☐	☐
Allgemeine Kraftlosigkeit	☐	☐
Frösteln	☐	☐
Geräuschempfindlichkeit	☐	☐
Gähnen	☐	☐
Interesselosigkeit	☐	☐
Konzentrationsmangel	☐	☐
Reizbarkeit	☐	☐
Herabgesetzte Kommunikationsbereitschaft	☐	☐
Bewegungsdrang	☐	☐

Dokument 8: Misery Scale

MISC

Welche Symptome hast du? (Bitte nur ein Kästchen ankreuzen!)

- ☐ keine Probleme
- ☐ Unwohlsein (keine typischen Symptome)
- ☐ folgende Symptome vage ausgeprägt: Schwindel, Hitzegefühl, Kopfschmerz, seltsames Gefühl im Magen, Schwitzen und andere
- ☐ folgende Symptome gering ausgeprägt: Schwindel, Hitzegefühl, Kopfschmerz, seltsames Gefühl im Magen, Schwitzen und andere
- ☐ folgende Symptome mittelstark ausgeprägt: Schwindel, Hitzegefühl, Kopfschmerz, seltsames Gefühl im Magen, Schwitzen und andere
- ☐ folgende Symptome schwer ausgeprägt: Schwindel, Hitzegefühl, Kopfschmerz, seltsames Gefühl im Magen, Schwitzen und andere
- ☐ geringe Übelkeit
- ☐ mittelstarke Übelkeit
- ☐ schwere Übelkeit
- ☐ Würgereiz
- ☐ Erbrechen

Dokument 9: Simulator Sickness

Simulator Sickness

Hast du Kopfschmerzen bekommen?

☐ ja,sehr ☐ ein wenig ☐ nein

Fühlen sich deine Augen überanstrengt an?

☐ ja,sehr ☐ ein wenig ☐ nein

Fällt es dir schwer, dich zu fokussieren?

☐ ja,sehr ☐ ein wenig ☐ nein

Musst du vermehrt schwitzen oder hast du einen erhöhten Speichelfluss?

☐ ja,sehr ☐ ein wenig ☐ nein

Ist dir schlecht bzw. hast du das Gefühl, dich übergeben zu müssen?

☐ ja,sehr ☐ ein wenig ☐ nein

Ist dir schwindelig oder schwummrig?

☐ ja,sehr ☐ ein wenig ☐ nein

Siehst du verschwommen?

☐ ja,sehr ☐ ein wenig ☐ nein

Fällt es dir schwer, dich auf die Aufgabe zu konzentrieren?

☐ ja,sehr ☐ ein wenig ☐ nein

Dokument 10: Formular zur Überweisung des Probandenentgeltes

Formular zur Überweisung des Probandenentgeltes

Persönliche Daten des Probanden:

Name: _____

Vorname: _____

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

Telefonnummer: _____

Bankverbindung des Probanden:

Konto-Inhaber: _____

Konto-Nummer: _____

BLZ + Bank Name: _____

IBAN: (muss ab sofort!)

Angaben zur jetzigen Studienteilnahme:

Probandenentgelt: _____

Studiename: VR, Schlaf und Gedächtnis

Betreuer im Institut: Karsten Rauss / Xiu Miao

Betreuter Medizindoktorand: Amelie Thoma

Datum der Teilnahme (letzter Versuchstag): _____

Die Versuchspersonen werden vom UKSH Universitätsklinikum Schleswig-Holstein und vom UKT Universitätsklinikum Tübingen ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Sie ggf. ihr Probandenentgelt selbstständig versteuern müssen.