

„Interferenz der Prozesse des Arbeitsgedächtnisses mit Lokomotion“

Diplomarbeit

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
Fachbereich Biologie
der EBERHARD KARLS UNIVERSITÄT TÜBINGEN

vorgelegt von

Röser, Andrea

Tübingen, Januar 2011

Erklärung:

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Tübingen, den

(Andrea Röser)

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde untersucht, welchen Einfluss einzelne Komponenten des Arbeitsgedächtnisses auf die Laufgeschwindigkeit haben. Dazu wurden 3 verschiedene Interferenzversuche durchgeführt, bei denen jeweils eine Komponente des Arbeitsgedächtnisses durch einen Dual Task mit unterschiedlicher Schwierigkeit beansprucht und die Laufgeschwindigkeit gemessen wurde. Um die Laufgeschwindigkeit zu ermitteln, mussten die Versuchspersonen zwischen 2 Stationen hin und herlaufen.

Im ersten Versuch wurde die zentrale Exekutive durch einen arithmetischen Task beansprucht, bei dem die Versuchspersonen Zahlen in „2er“- , „3er“- und „7er“-Schritten subtrahieren mussten.

Im zweiten Versuch mussten sich die Versuchspersonen Uhrzeiten bildlich vorstellen und die Zeigerstellung dieser Uhrzeiten beurteilen. Bei diesem Versuch wurde die visuelle Komponente belastet.

Im letzten Versuch wurde die räumliche Komponente beansprucht. Dazu wurden den Versuchspersonen Töne vorgespielt und sie mussten die Richtungen, aus denen die Töne kamen, lokalisieren.

Bei allen 3 Versuchen verringerte sich die Laufgeschwindigkeit mit Zunahme der Schwierigkeit des Dual Tasks.

Anhand dieser 3 Interferenzversuche konnte gezeigt werden, dass Lokomotion einem kognitiven Einfluss unterliegt. Alle 3 getesteten Komponenten des Arbeitsgedächtnisses erwiesen sich dabei als fast gleich wirksam.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Vorversuch	11
2.1. Material und Methoden	11
2.1.1. Versuchsablauf	11
2.1.2. Auswertung	12
2.2. Ergebnisse	12
2.3. Diskussion	13
3. Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive	15
3.1. Einleitung	15
3.2. Material und Methoden	15
3.2.1. Versuchspersonen	15
3.2.2. Versuchsaufbau	16
3.2.3. Versuchsdurchführung	19
3.2.4. Auswertung	20
3.3. Ergebnisse	21
3.3.1. Allgemeines zur Darstellung der Ergebnisse	21
3.3.2. Lokomotion	21
3.3.3. Dual Task	26
3.3.4. Fragebogen	33
3.4. Diskussion	35
4. Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente	39
4.1. Einleitung	39
4.2. Material und Methoden 2a: Lokomotion und Dual Task	39
4.2.1. Versuchspersonen	39
4.2.2. Versuchsaufbau	40
4.2.3. Versuchsdurchführung	42
4.2.4. Auswertung	44
4.3. Material und Methoden 2b: Corsi-Block-Test	44
4.3.1. Versuchspersonen	44
4.3.2. Versuchsaufbau	45
4.3.3. Versuchsdurchführung	45
4.3.4. Auswertung	46
4.4. Ergebnisse 2a: Lokomotion und Dual Task	47
4.4.1. Lokomotion	47
4.4.2. Dual Task	51
4.4.3. Fragebogen	57

4.5.	Ergebnisse 2b: Corsi-Block-Test	58
4.5.1.	Corsi-Block-Test	58
4.6.	Diskussion	61
4.6.1.	Diskussion 2a: Lokomotion und Dual Task	61
4.6.2.	Diskussion 2b: Corsi-Block-Test	63
5.	Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente	65
5.1.	Einleitung	65
5.2.	Material und Methoden 3a: Lokomotion und Dual Task	65
5.2.1.	Versuchspersonen	65
5.2.2.	Versuchsaufbau	66
5.2.3.	Versuchsdurchführung	67
5.2.4.	Auswertung	68
5.3.	Material und Methoden 3b: Corsi-Block-Test	69
5.3.1.	Versuchspersonen	69
5.3.2.	Versuchsaufbau - Versuchsdurchführung - Auswertung	69
5.4.	Ergebnisse 3a: Lokomotion und Dual Task	69
5.4.1.	Lokomotion	69
5.4.2.	Dual Task	74
5.4.3.	Fragebogen	80
5.5.	Ergebnisse 3b: Corsi-Block-Test	81
5.5.1.	Corsi-Block-Test	81
5.6.	Diskussion	84
5.6.1.	Diskussion 3a: Lokomotion und Dual Task	84
5.6.2.	Diskussion 3b: Corsi-Block-Test	86
6.	Allgemeine Diskussion	87
A.	Allgemeines	91
A.1.	Allgemeine Probandeninformation	91
B.	Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive	92
B.1.	Versuchsanleitung	93
B.2.	Rechnungen	94
B.3.	Fragebogen	95
C.	Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente	96
C.1.	Versuchsanleitung	97
C.2.	Klicks pro Sekunde	98
C.3.	Gedrehte und gespiegelte Uhren	99
C.4.	Normale Uhren	101
C.5.	Uhrzeiten	103
C.6.	Fragebogen	104
D.	Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente	105
D.1.	Versuchsanleitung	105
D.2.	Klicks pro Sekunde	106

D.3. Figuren	107
D.4. Fragebogen	112
E. Corsi-Block-Test	113
F. Danksagung	XV

Abbildungsverzeichnis

1.1. Multi-Komponenten-Modell von Baddeley	4
2.1. Gemittelte Laufzeiten aller Bedingungen	12
3.1. Versuchsaufbau	17
3.2. Infrarotkameras	18
3.3. Headtracker	19
3.4. Gemittelte Laufzeiten aller Bedingungen	23
3.5. Gemittelte Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen	24
3.6. Gemittelte Laufgeschwindigkeiten pro Laufblock und Bedingung	25
3.7. Korrelation der Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen	26
3.8. Prozent richtiger Subtraktionen	28
3.9. Subtraktionen pro Laufstrecke	29
3.10. Fehleranzahl beim Sitzen und Laufen	30
3.11. Rechenzeiten im Sitzen und Laufen	31
3.12. Rang-Korrelation der Rechenzeiten	32
3.13. Rang-Korrelationen der Laufzeiten gegen Rechenzeit im Sitzen	33
4.1. Neuer Versuchsaufbau	41
4.2. Beispiele der gedrehten und gespiegelten Uhren.	41
4.3. Tragegestell mit Laptop	42
4.4. Corsi-Block-Test	46
4.5. Gemittelte Laufzeiten aller Bedingungen	48
4.6. Gemittelte Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen	49
4.7. Gemittelte Laufgeschwindigkeiten pro Laufblock und Bedingung	50
4.8. Korrelation der Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen	51
4.9. Prozent richtiger Klicks	53
4.10. Klicks pro Sekunde	54
4.11. Normierte Klicks pro Sekunde	56
4.12. Vergleich Fehleranzahl mit Tragen einer Armbanduhr	58
4.13. Ergebnisse des Corsi-Block-Tests	59
4.14. Korrelation zwischen Gedächtnisspanne und Laufgeschwindigkeit in der jeweiligen Bedingung	60
5.1. Beispiele der Figuren.	66
5.2. Gemittelte Laufzeiten aller Bedingungen	71
5.3. Gemittelte Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen	72
5.4. Gemittelte Laufgeschwindigkeiten pro Laufblock und Bedingung	73
5.5. Korrelation der Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen	74

Abbildungsverzeichnis

5.6. Prozent richtiger Klicks	76
5.7. Klicks pro Sekunde	77
5.8. Normierte Klicks pro Sekunde	79
5.9. Vergleich Fehleranzahl mit Spielen eines Instrumentes	81
5.10. Ergebnisse des Corsi-Block-Tests	82
5.11. Korrelation zwischen Gedächtnisspanne und Laufgeschwindigkeit in der jeweiligen Bedingung	83
6.1. Trajektorien	89
C.1. Klicks pro Sekunde	98
C.2. Gedrehte und gespiegelte Uhren (1)	99
C.3. Gedrehte und gespiegelte Uhren (2)	100
C.4. Normale Uhren (1)	101
C.5. Normale Uhren (2)	102
D.1. Klicks pro Sekunde	106
D.2. Figuren (1)	107
D.3. Figuren (2)	108
D.4. Figuren (3)	109
D.5. Figuren (4)	110
D.6. Figuren (5)	111
E.1. Musteranordnungen	113

Tabellenverzeichnis

3.1. Auswertung Fragebogen zu Versuch 1	34
4.1. Auswertung Fragebogen zu Versuch 2	57
5.1. Auswertung Fragebogen zu Versuch 3	80
5.2. Änderung des Richtungswinkels mit Änderung des Kopfdurchmessers	85

1. Einleitung

Wer kennt das nicht, man läuft auf der Straße oder im Einkaufszentrum und unvermittelt bleiben die Menschen, die vor einem laufen und sich unterhalten, ohne ersichtlichen Grund plötzlich stehen. Doch was ist die Ursache dafür?

Lange ging man davon aus, dass Lokomotion ein Prozess ist, der völlig automatisch abläuft, aber mittlerweile mehren sich die Belege dafür, dass auch für das Laufen kognitive Prozesse benötigt werden.

Kognitive Prozesse beinhalten alle Vorgänge, die für die Wahrnehmung von verschiedensten Informationen, sowie deren Verarbeitung, Speicherung im Gedächtnis und Abrufen für weitere Nutzung benötigt werden, wie. z.B.: Verstehen, Lernen, Orientieren, Planen und Schlussfolgern.

Eine wichtige Rolle bei der Kognition spielt das Gedächtnis, dieser allgemeine Begriff lässt sich in mehrere Formen unterteilen. So gibt es das sensorische Gedächtnis, das Kurzzeitgedächtnis, das Langzeitgedächtnis und das Arbeitsgedächtnis. Das Arbeitsgedächtnis spielt eine wesentliche Rolle bei den im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführten Versuchen, es wird deshalb etwas ausführlicher vorgestellt als die anderen Gedächtnisformen.

Sensorisches Gedächtnis

Das sensorische Gedächtnis ist die Gedächtnisform, die am meisten Informationen pro Zeit erhält, diese aber trotz hoher Kapazität am kürzesten aufrechterhalten kann. Je nachdem von welchem Sinnesorgan die Information kommt, unterscheidet man zwischen echoischem und ikonischem Gedächtnis, die beide die erhaltenen Informationen automatisch verarbeiten können. Das ikonische Gedächtnis verarbeitet Informationen, die vom visuellen System wahrgenommen werden und kann diese für ca. 0,5 Sekunden aufrechterhalten. Im echoischen Gedächtnis werden akustische Informationen verarbeitet. Diese gehen nach ca. 2 Sekunden verloren, wenn sie nicht zuvor an das Kurzzeitgedächtnis weitergeleitet werden.

Kurzzeitgedächtnis

Im Gegensatz zum sensorischen Gedächtnis, das die Informationen automatisch und unbewusst verarbeitet, finden im Kurzzeitgedächtnis bewusste Prozesse statt, die die Informationen über längere Dauer aufrechterhalten können, damit sie nicht verloren gehen. Einer dieser Prozesse ist das „rehearsal“. Als „rehearsal“

wird ein Prozess bezeichnet, bei dem z.B. Wörter in Gedanken ausgesprochen werden, allerdings ohne diese dabei laut zu sagen (Cowan, 2008). Findet kein „rehearsal“ statt, gehen die Informationen nach ungefähr 30 Sekunden verloren (McAfoose & Baune, 2009). Die Kapazität und damit die Menge an Informationen, die im Kurzzeitgedächtnis verarbeitet werden können, ist begrenzt. Miller (1956) ging von 7 ± 2 Gedächtniseinheiten (der Begriff wird später noch genauer erklärt) aus. Mittlerweile wurde diese Zahl auf 4 ± 1 verringert (Cowan, 2000). Das Kurzzeitgedächtnis erhält Informationen von der Umwelt und tauscht Informationen mit dem Langzeitgedächtnis aus.

Langzeitgedächtnis

Das Langzeitgedächtnis erhält die Informationen vom Kurzzeitgedächtnis, von diesem unterscheidet es sich zum einen in der Dauer, mit der die Information gespeichert wird und zum anderen in der Kapazität (Cowan, 2008). Anders als bei den bisher beschriebenen Gedächtnisformen können die Informationen im Langzeitgedächtnis über Jahre behalten werden. Die Kapazitätsgrenzen sind noch nicht bekannt. Das Langzeitgedächtnis kann unterteilt werden, in ein deklaratives und ein prozedurales Gedächtnis.

Im deklarativen oder expliziten Gedächtnis wird Faktenwissen gespeichert. Es kann noch einmal unterteilt werden in ein episodisches und ein semantisches Gedächtnis, dabei werden im episodischen Teil persönliche Erfahrungen gespeichert und im semantischen Teil Kenntnisse und Begriffe über die Welt, wie z.B. die Namen der Hauptstädte.

Im prozeduralen oder impliziten Gedächtnis wird das Wissen über Handlungsabläufe wie z.B. Auto fahren gespeichert. Dieses Wissen wird zunächst durch ständiges Wiederholen geübt und läuft dann von selbst ab. In Arbeitsgedächtnisstudien, die das Abrufen oder Wiedererkennen von Objekten testen, wird meistens das explizite Gedächtnis der Versuchspersonen getestet. Im Gegensatz dazu wird das implizite Gedächtnis weniger durch Strategien beeinflusst (Baddeley, 1992).

Arbeitsgedächtnis

Das Arbeitsgedächtnis wird in allen alltäglichen Situationen benötigt, so z.B.: beim Zeitung lesen, wenn etwas geplant wird oder eine Handlung ausgeführt werden soll. So benötigt man es z.B. auch, wenn man eine Mathematikaufgabe durch Kopfrechnen löst. Zum einen muss man sich merken, welche Zahlen zu berechnen sind, zum anderen müssen die Rechenschritte ausgeführt werden und man muss sich merken, welche Rechenschritte bereits gemacht wurden und welche bis zur Lösung noch auszuführen sind (DeStefano & LeFevre, 2004).

Das Arbeitsgedächtnis kann vom Kurzzeitgedächtnis nicht vollständig als separate Gedächtnisform abgegrenzt werden. Vielmehr beinhaltet es das Kurzzeitgedächtnis und andere Verarbeitungsmechanismen, die dazu beitragen, das Kurzzeitgedächtnis zu nutzen (Cowan, 2008). Über den Aufbau und die beteiligten Strukturen gibt

es verschiedene Ansichten. Atkinson und Shiffrin (1968) betrachten das Arbeitsgedächtnis z.B. als einheitlichen Kurzzeitspeicher mit limitierter Kapazität, der unter anderem für Phänomene wie die Gedächtnisspanne einer Person verantwortlich ist. Der limitierte Speicher an Kapazitäten wurde von ihnen auch als essentiell für Lernen und erneutes Abrufen der Informationen angesehen.

Von Baddeley (1992) wird das Arbeitsgedächtnis als System zur zeitlich begrenzten Erhaltung und Manipulation von Informationen, das für so komplexe kognitive Aktivitäten wie Verständnis, Lernen und Schlussfolgern benötigt wird, definiert. Zusammen mit Hitch entwickelte er 1974 ein Arbeitsgedächtnismodell, das nicht nur aus einem Speicher, sondern aus mehreren Komponenten, die alle unterschiedliche Aufgaben ausführen, aufgebaut ist.

Für Cowan ist das Arbeitsgedächtnis ein Teil des Langzeitgedächtnisses, welches zeitlich begrenzt aktiviert wird (Cowan, 1999). Diese Aktivierung läuft automatisch ab. Die aktivierten Informationen werden in den „focus of attention“ gebracht und stehen dann zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Durch „rehearsal“ werden die Informationen im „focus of attention“, welcher auch ein Teil des Langzeitgedächtnisses ist, gehalten. Er besitzt eine Kapazität von 4 ± 1 Gedächtniseinheiten (Cowan, 2000).

Am weitesten sind die Arbeitsgedächtnismodelle von Cowan und Baddeley verbreitet, allerdings gibt es noch weitere, die hier nicht aufgeführt werden. Das Modell, auf dessen Grundlage diese Diplomarbeit basiert ist das Multi-Komponenten-Modell von Baddeley & Hitch und wird deshalb ausführlicher vorgestellt.

Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley

Anders als im Arbeitsgedächtnis von Cowan ist im Multi-Komponenten-Modell von Baddeley das Arbeitsgedächtnis nicht Teil des Langzeitgedächtnisses sondern ein separater Teil. Das Modell besteht aus 4 Komponenten (Abbildung 1.1): der zentralen Exekutive („central executive“), der phonologischen Schleife („phonological loop“), dem visuell-räumlichen Notizblock („visual-spatial scetchpad“) und dem episodischen Puffer („episodic buffer“).

Zentrale Exekutive

Die zentrale Exekutive ist die wichtigste Komponente in diesem Modell, aber sie ist auch die Komponente, die bisher am wenigsten verstanden ist (Baddeley, 1986). Die zentrale Exekutive besitzt eine begrenzte Kapazität und ihr werden 4 Aufgaben zugesprochen: die Fähigkeit Aufmerksamkeit zu fokussieren, sie zwischen den einzelnen Komponenten (auch Subsysteme genannt) aufzuteilen und zwischen ihnen hin und her zu wechseln, sowie eine Verbindung zum Langzeitgedächtnis herzustellen (Baddeley & Repovš, 2006). Von Stoet und Snyder (2009) sowie Yogev-Seligmann et al. (2008) wurden der zentralen Exekutive noch weitere Aufgaben zugeschrieben, z.B.: die Fähigkeit ein Ziel zu setzen und zu überprüfen,

ob dieses Ziel auch erreicht werden wird; die Planung mehrerer Handlungen, die nacheinander ausgeführt werden sollen; die Fähigkeit störende Informationen oder Gedanken zu unterdrücken.

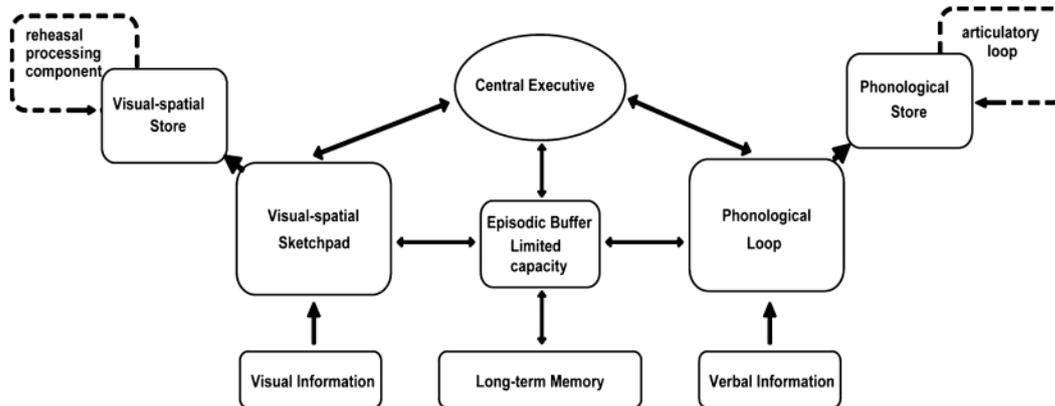


Abbildung 1.1.: Multi-Komponenten-Modell von Baddeley. Das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch (1974) besteht aus mehreren Komponenten. Die zentrale Exekutive kontrolliert die Aufmerksamkeit und verteilt sie an die 3 Subkomponenten phonologische Schleife, visuell-räumlicher Notizblock und episodischer Puffer. Die phonologische Schleife verarbeitet und speichert verbale Informationen. Für visuelle und räumliche Informationsverarbeitung und Speicherung ist der visuell-räumliche Notizblock zuständig. Der episodische Puffer ist die Verbindung zum Langzeitgedächtnis und kann mit den beiden anderen Subkomponenten interagieren, er ist der zentralen Exekutive unterstellt. Aus McAfoose & Baune (2009), nach Baddeley (2000).

Phonologische Schleife

Die Aufgabe der phonologischen Schleife ist es, phonologische Informationen aufrechtzuerhalten und zu speichern. Manche der Informationen, z.B. Sprache, gelangen automatisch in die phonologische Schleife, Informationen von anderen Modalitäten, z.B. Schrift, müssen erst aktiv in eine phonologische Form gebracht werden, dies geschieht durch artikulatorisches „rehearsal“ (Baddeley & Repovš, 2006). Die Informationen gehen in der phonologischen Schleife nach ca. 2 Sekunden verloren (Barrouillet & Camos, 2007), wenn sie nicht durch „rehearsal“ erneuert werden. Die Kapazität der phonologischen Schleife wird also durch die Anzahl an Wörtern begrenzt, die in dieser Zeit wiederholt werden können. Die phonologische Schleife ist die Subkomponente des Arbeitsgedächtnisses, die bisher am stärksten untersucht wurde. Dabei wurden folgende Effekte festgestellt:

der phonologische Ähnlichkeitseffekt
der Wortlängeneffekt
und der „irrelevant speech“ Effekt

Beim „irrelevant speech“ Effekt wurde beobachtet, dass sich Versuchspersonen weniger Wörter merken können, wenn zeitgleich zu dieser Aufgabe Musik oder

Sprache zu hören ist. Die Ursache wird darin gesehen, dass verbale Information automatisch in die phonologische Schleife gelangt und durch die Hintergrundgeräusche verdrängt wird.

Der Wortlängeneffekt besagt, dass man sich weniger Wörter merken kann, wenn diese in ihrer Länge zunehmen. Das wird damit erklärt, dass die Information in der phonologischen Schleife mit der Zeit (2 Sekunden) verblasst, wenn sie nicht durch „rehearsal“ erneuert wird. Je länger die Wörter sind, desto weniger Zeit steht zum Lesen der Wörter oder ihrer Wiederholung zur Verfügung, bevor die Wörter vergessen werden. Da man kurze Wörter schneller wiederholen kann, kann man sich auch mehr von ihnen merken.

Unter dem phonologischen Ähnlichkeitseffekt versteht man das Phänomen, dass man sich Buchstaben oder Wörter die ähnlich klingen, schlechter merken kann, als Buchstaben bzw. Wörter, die sich deutlich voneinander unterscheiden. Diese Beobachtung wird damit begründet, dass die Speicherung auf Sprache basiert und durch die Ähnlichkeit weniger Unterscheidungsmerkmale vorhanden sind und die ähnlichen Buchstaben bzw. Wörter schneller verblassen (Baddeley, 1986).

Visuell-räumlicher Notizblock

Der visuell-räumliche Notizblock ist die Subkomponente, die für die visuelle und räumliche Verarbeitung und Speicherung von Informationen verantwortlich ist. Diese Subkomponente ist noch nicht so stark erforscht wie die phonologische Schleife und es konnte auch noch kein Effekt gefunden werden, der z.B. dem Wortlängeneffekt ähnelt. Aber die Speicherung der Information kann durch irrelevante Bilder oder Farben oder durch konkurrierende räumliche Verarbeitung verschlechtert werden (Baddeley, 1992). Es konnte gezeigt werden, dass die beiden Verarbeitungssysteme für räumliche und visuelle Informationen getrennt voneinander ablaufen (Klauer & Zhao, 2004). Versuchspersonen, die eine visuelle Musteraufgabe bearbeiten mussten, schnitten schlechter ab, wenn ihnen dabei störende visuelle Muster gezeigt wurden. Wurden diese störenden Muster gezeigt, während sie eine Aufgabe bearbeiten mussten, die die räumliche Komponente beanspruchte, trat keine Verschlechterung auf. Dieser Effekt konnte auch umgekehrt gezeigt werden, so verschlechterte sich die Leistung in einer räumlichen Aufgabe, wenn zusätzlich störende räumliche Informationen gezeigt wurden, wohingegen bei der visuellen Komponente in diesem Fall keine Verschlechterung eintrat. Dies zeigt, dass die beiden Prozesse unterschiedlich verarbeitet werden (Baddeley & Repovš, 2006).

Episodischer Puffer

Der episodische Puffer ist die neueste Komponente im Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley, sie wurde erst im Jahr 2000 hinzugefügt (Baddeley, 2000). Es handelt sich um ein separates Speichersystem mit limitierter Kapazität. Der episodische Puffer ist die Verbindungskomponente zum Langzeitgedächtnis, die Informationen der phonologischen Schleife und vom visuell-räumlichen Notizblock episodisch speichert und verarbeitet. Die Aufrechterhaltung der Information im

episodischen Puffer hängt vom limitierten Aufmerksamkeitssystem der zentralen Exekutive ab.

„chunks“ und „templates“

Die zentrale Exekutive und damit das Arbeitsgedächtnis haben, wie bereits erwähnt, eine begrenzte Kapazität von 7 ± 2 (Miller, 1956) bzw. 4 ± 1 Gedächtniseinheiten (Cowan, 2000), d.h., dass man sich z.B. 4 Zahlen oder Worte merken kann, bevor der Speicher des Arbeitsgedächtnisses belegt ist. Wenn man z.B. als Aufgabe bekommt sich die Zahlen 1 - 1 - 0 - 1 - 1 - 2 zu merken, belegt jede Zahl eine Einheit im Arbeitsgedächtnis und es ist schwierig sich alle Zahlen zu merken. Die Zahlen können aber durch „chunking“ auch in „chunks“ (Miller, 1956) zusammengefasst werden. Ein „chunk“ wird definiert als eine Ansammlung an Elementen, die einen starken Zusammenhang untereinander haben, aber nur einen schwachen Zusammenhang mit Elementen aus einem anderen „chunk“ (Gobet et al., 2001). Wenn man die genannten Zahlen also zu 110 und 112 zusammenfasst, hat niemand Probleme, sich die komplette Abfolge der Zahlen korrekt zu merken. Im Arbeitsgedächtnis ist zwar die Zahl der Einheiten, die man sich merken kann beschränkt, allerdings können diese Einheiten eine unterschiedliche Menge an Informationen beinhalten. Die Speicherung eines solchen „chunks“ im Langzeitgedächtnis beansprucht ca. 5 bis 10 Sekunden (Simon, 1974).

Unter „templates“ versteht man eine spezielle Art von „chunks“ (Gobet & Simon, 2000). Diese „templates“ entstehen, wenn „chunks“ besonders häufig gelernt werden und unterscheiden sich von „chunks“ durch eine komplexere Abfrage. „Templates“ besitzen Strukturen, die eine schnelle Verbindung zu anderen „chunks“ und deren Abrufen aus dem Langzeitgedächtnis ermöglichen. Nachgewiesen wurden solche „templates“ z.B. bei Schachgroßmeistern. Wenn eine bestimmte Spielposition auftritt, sind diese Schachgroßmeister in der Lage, nicht nur die exakten Positionen der Spielfiguren zu nennen, sie kennen auch die Figurpositionen die ausgehend von dieser Spielsituation in den nächsten Spielzügen auftreten können. Gegenüber nicht so geübten Schachspielern sind Großmeister in der Lage, eine Spielsituation exakt nachzustellen, wenn diese eine gängige Spielfiguranordnung eines Schachspiels ist. Werden aber Schachfiguren beliebig auf dem Spielbrett platziert, können auch Großmeister nicht mehr Positionen korrekt wiedergeben als ungeübtere Spieler (Gobet et al., 2001). Zwar wurden diese „templates“ bei Schachspielern nachgewiesen, dennoch wird angenommen, dass „templates“ auch für andere „chunks“ vorhanden sind (Gobet, 1998).

Wie in dieser Einleitung deutlich wird, können nicht unbegrenzt viele Informationen auf einmal verarbeitet und gespeichert werden (Droll & Hayhoe, 2007; Vogel et al., 2001). Um mehrere Aufgaben gleichzeitig ausführen zu können muss daher die Aufmerksamkeit zwischen den benötigten Verarbeitungssystemen aufgeteilt und zwischen ihnen hin und her gesprungen werden (Barrouillet & Camos, 2007). Dies kann dazu führen, dass sich die Leistung einer Versuchsperson durch einen Dual

Task verschlechtert. Es kann sich z.B. in einer Verringerung der Laufgeschwindigkeit auswirken und in dem zu Beginn der Einleitung erwähnten abrupten Stehenbleiben resultieren.

In Doppelaufgaben-Studien (nachfolgend als Dual Task bezeichnet) müssen die Versuchspersonen eine Aufgabe, die von besonderem Interesse ist (in dieser Diplomarbeit wird das die Lokomotion sein), zeitgleich mit einer zweiten Aufgabe absolvieren. Wenn diese beiden Aufgaben die gleichen Ressourcen beanspruchen, äußert sich dies in einer Abnahme der Leistung bei beiden Aufgaben (DeStefano & FeFevre, 2004).

In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass sich Lokomotion und Dual Task beeinflussen. So testeten z.B. Srygley et al. (2009) wie sich Laufen auf die Ausführung verschiedener kognitiver Aufgaben, wie Subtrahieren in „3er“- und „7er“-Schritten sowie Merken und Zählen von Wörtern, die in einer Geschichte erzählt wurden, auswirkt. Sie konnten zeigen, dass sich die kognitiven Aufgaben während des Laufens, besonders bei älteren Menschen, verschlechterten (Srygley et al., 2009). Al-Yahya et al. konnten in ihrer Studie zeigen, dass sich die Schrittlänge bei einem Dual Task im Vergleich zu normalem Laufen erhöht (Al-Yahya et al., 2009). Yogev et al. (2005) fanden heraus, dass sich die Laufgeschwindigkeit bei alten Menschen und Menschen mit Parkinson bei Dual Tasks mit verschiedenen Schwierigkeiten verringert. Beauchet et al. (2005) konnten zeigen, dass sich das Gangbild bei einem arithmetischen Dual Task ändert. Lövdén et al. (2008) schlussfolgern in ihrer Studie, dass sich die Ressourcenoptimierung zwischen Aufmerksamkeit und Laufvariabilität beim Älterwerden ändern.

In den bisherigen Studien wurde eine Verringerung der Laufgeschwindigkeit vor allem bei älteren Menschen beobachtet, aber auch bei jungen Menschen verringert sich die Laufgeschwindigkeit (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Eine Studie von Kerr et al. (1985) ergab, dass sich auch bei jungen Menschen das Gangbild ändert, wenn ein kognitiver Task ausgeführt und Aufmerksamkeit erfordert wird.

Hardiess et al. (in Revision) entwarfen ein Experiment, das die Optimierung der Ressourcenverteilung (nachfolgend als „trade-off“ bezeichnet) zwischen Arbeitsgedächtnis und Lokomotion untersuchte. Sie erweiterten in diesem Experiment einen Versuch von Ballard et al. (1995). In deren Versuch mussten die Versuchspersonen ein Muster von Duplosteinen kopieren, indem sie es an einem Arbeitsplatz neben dem Muster nachbauten. Ballard et al. untersuchten dabei die Augenbewegungen und Auslastung des Arbeitsgedächtnisses der Versuchspersonen und fanden heraus, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses von 4 ± 1 Gedächtniseinheiten (Cowan, 2000) nicht vollständig ausgelastet wurde. Zurückgeführt wurde dieses Ergebnis auf hohe Memorierungskosten und im Vergleich dazu geringe Kosten für Augenbewegungen. Hardiess et al. (in Revision) testeten nun, ob es einen ähnlichen „trade-off“ zwischen Arbeitsgedächtnis und Lokomotion gibt. Dazu trennten sie die einzelnen Stationen auf, so dass die Versuchspersonen zwischen den Stationen hin und herlaufen mussten, was im Vergleich zu den Augenbewegungen höhere Kosten verursachte. Insgesamt wurden 3 Stationen aufgebaut, zum einen eine Station, an der das Muster präsentiert wurde, eine zweite Station, an der Bausteine

zur Nachbildung des Musters vorhanden waren und eine dritte Station, an der das Muster nachgebaut werden konnte. Um die Schwierigkeit hinsichtlich der Musterrepräsentation in diesem Versuch zu variieren, wurden verschiedene Mustertypen verwendet, es gab einfache und komplexe Muster. Bei allen Mustern wurden 6 Duplosteine mit verschiedenen Farben verwendet. In der leichten Bedingung berührten sie sich komplett an der Seite, diese Anordnung sollte es den Versuchspersonen ermöglichen „chunks“ zu bilden. In der komplexen Musteranordnung hatte ein Teil der Steine mit der kompletten Seite Kontakt zum benachbarten Stein, andere Steine berührten den Nachbarstein nur mit der halben Seite oder sogar nur mit einer Ecke des Steines. Diese Anordnungen erschwerten das Bilden von „chunks“.

Neben den Unterschieden in den Mustern wurde auch zwischen 2 verschiedenen Laufbedingungen unterschieden. Es gab eine nahe Bedingung, bei der die Stationen 2,25 m auseinander standen und eine entfernte Bedingung, in der die Wegstrecke zwischen den Stationen 4,5 m betrug. Hardiess et al. untersuchten die Laufstrategien der Versuchspersonen, indem sie ihre Aufenthalte an den 3 Stationen analysierten. Als Ergebnis fanden sie, dass die Versuchspersonen eine gedächtnisintensivere Laufstrategie wählten, wenn die Stationen weiter auseinander standen. Somit konnten sie bei diesem Experiment einen „trade-off“ zwischen Arbeitsgedächtnis und Lokomotion nachweisen. Ein weiteres Ergebnis dieser Studie war, dass die Versuchspersonen langsamer zwischen den Stationen hin und herliefen, wenn die Musteranordnungen schwieriger waren.

In einem weiteren Experiment von Odoj (2010) wurde die Schwierigkeit der Musterkopieraufgabe und/oder die Wegplanung von Hardiess et al. (in Revision) weiter erhöht. So gab es neben den einfachen und komplexen Mustern, sowie nahen und entfernten Stationen noch eine Bedingung, in der die Versuchspersonen das Muster aufgrund haptischer Informationen nachbauen mussten. Als Ergebnis ergab sich, dass die Laufzeiten von den einfachen über die komplexen hin zu den haptischen Mustern langsamer wurden. Auch durch dieses Ergebnis wird ein „trade-off“ zwischen Arbeitsgedächtnis und Lokomotion bekräftigt.

Wissenschaftliche Fragestellung

In der Studie von Hardiess et al. (in Revision) wurde ein „trade-off“ zwischen Arbeitsgedächtnisbelastung und Lokomotion in Kombination mit einer Verringerung der Laufgeschwindigkeit beobachtet. Diese Verringerung könnte durch mehrere Gründe zustande gekommen sein. Zum einen müssen die Versuchspersonen eine Route planen, indem sie sich überlegen zu welcher Station sie als nächstes laufen. Zum anderen findet eine ständige Belastung des Arbeitsgedächtnisses statt, da die Versuchspersonen sich die Musteranordnung merken müssen. Dabei wird die zentrale Exekutive beansprucht. Durch die räumliche Anordnung der Steine wird die räumliche Komponente des Arbeitsgedächtnisses beansprucht und durch die verschiedenen Farben der Steine die visuelle Komponente.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollte untersucht werden, welchen Einfluss die

einzelnen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses auf die Laufgeschwindigkeit haben. Dazu wurden 3 verschiedene Interferenzversuche durchgeführt, bei denen jeweils eine der genannten Komponenten durch einen Dual Task beansprucht und die Laufgeschwindigkeit gemessen wurde, während die Versuchspersonen zwischen 2 Stationen hin und herliefen.

2. Vorversuch

Um die bestmöglichen Bedingungen und Parameter für die Hauptversuche zu erhalten, wurden in diesem Vorversuch einige Rahmenbedingungen bezüglich Messapparatur und Versuchsablauf getestet.

2.1. Material und Methoden

In den späteren Versuchen sollte eine möglichst große Wegstrecke zur Verfügung stehen, um die Laufgeschwindigkeiten der Versuchspersonen zu messen. Zunächst wurde der Versuchsraum vermessen und die größte Entfernung zwischen den Ecken ermittelt. Im Versuchsraum sind an der Decke 6 Infrarotkameras angebracht, durch sie kann die genaue Position einer Person ermittelt werden, wenn sie einen Headtracker trägt (genaue Beschreibung in Kapitel 3.2.2). Um den Bereich, der von den Infrarotkameras erfasst wird, abzumessen, wurden mit dem Headtracker die einzelnen Ecken des Raumes abgelaufen und notiert, bis zu welchem Punkt die Kameras noch Daten an den Computer senden. An den beiden Positionen, die den größten Abstand hatten, wurde aus Druckerpapierkartons jeweils eine Station errichtet, diese beiden Stationen hatten einen Abstand von 6 m zueinander.

An den beiden Stationen wurden jeweils 3 Karteikarten platziert. Auf den Karten waren Mathematikaufgaben aufgedruckt. Diese mussten von der Versuchsperson berechnet werden. Im Vorversuch wurden die gleichen Aufgaben genutzt, die später auch in Versuch 1 verwendet wurden (Anhang B.2).

2.1.1. Versuchsablauf

Der Startpunkt des Versuches war an Station A. Die Versuchsperson (nachfolgend mit „VP“ abgekürzt) musste zunächst die Mathematikaufgabe der obersten Karteikarte berechnen und die Lösung laut nennen. Anschließend musste sie je nach Versuchsbedingung von der Lösungszahl entweder in „2er“- „3er“- oder „7er“-Schritten rückwärts zählen. Um überprüfen zu können, dass die VP auch wirklich die Zahlen subtrahiert, musste sie die Zahlen immer laut nennen. Während die Zahlen subtrahiert wurden, lief die VP von Station A zu Station B. An Station B musste sie den

2: Vorversuch

letzten Wert, den sie laut genannt hatte, auf einem vorbereiteten Zettel notieren. Anschließend nahm sie von diesem Karteistapel die oberste Karte und berechnete die Aufgabe. Hatte sie die Aufgabe gelöst, lief sie zurück zu Station A und subtrahierte dabei durchgängig Zahlen von dem neuen Startwert.

Insgesamt gab es 3 Versuchsbedingungen: „2er“, „3er“ und „7er“. In jeder Versuchsbedingung mussten 6 Mathematikaufgaben berechnet und 6 mal zwischen den Stationen hin und hergelaufen werden.

2.1.2. Auswertung

Aus den Rohdaten wurden mit *MATLAB*[®] (Version 7.10.0.499 (R2010a)) die Laufzeiten und Laufgeschwindigkeiten der Versuchsperson ausgewertet.

2.2. Ergebnisse

Der Vorversuch wurde nur mit einer VP durchgeführt, da sich bereits nach dieser VP abzeichnete, dass die Versuchsanordnung geändert werden musste. Deshalb wurden die Daten dieser VP auch nicht vollständig ausgewertet.

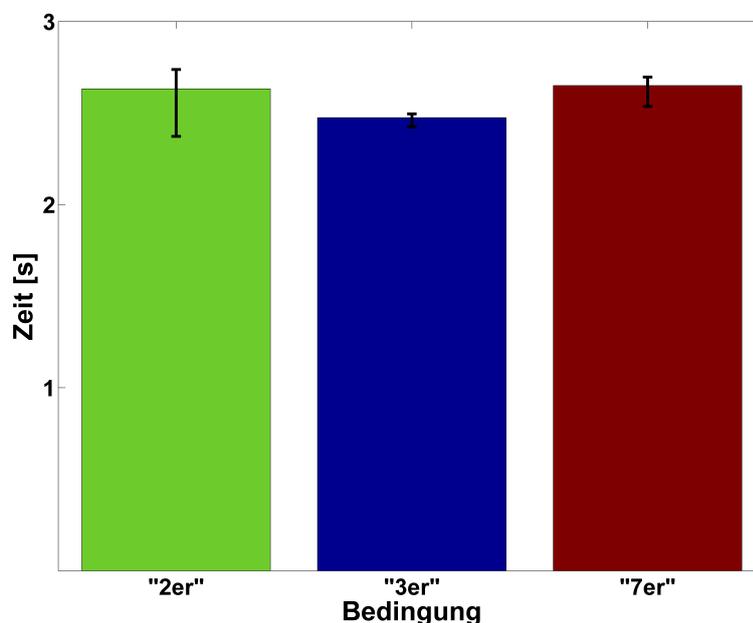


Abbildung 2.1.: Gemittelte Laufzeiten aller Bedingungen. Dargestellt sind die Mittelwerte der 3 Versuchsbedingungen. Die Zeiten von den Bedingungen „2er“ und „7er“ sind fast identisch. Die Zeit bei den „3ern“ ist etwas kürzer. Der untere Teil des Fehlerbalkens gibt die Standardabweichung an und der obere Teil den Standardfehler. $n = 1$.

Analysiert wurden die Laufzeiten in Sekunden, die die VP in den 3 Bedingungen jeweils für eine Strecke zwischen den Stationen benötigte. In der Bedingung „2er“ lagen die Zeiten im Mittel bei 2,63 s (Standardabweichung (SD): $\pm 0,26$) pro Wegstrecke und in der „3er“-Bedingung wurden 2,48 s (SD: $\pm 0,05$) gemessen. Bei den „7ern“ stieg die Laufzeit wieder auf 2,65 s (SD: $\pm 0,11$) an (Abbildung 2.1).

Ausgewertet wurde auch, wie oft die VP bei den einzelnen Bedingungen pro Weg Zahlen abgezogen hat. Für die „2er“ ergaben sich im Schnitt 2,67 Subtraktionen (SD: $\pm 0,52$), bei den „3ern“ waren es bei jeder Wegstrecke 2 Subtraktionen und bei den „7ern“ noch 1.

2.3. Diskussion

Die Laufzeit in der „2er“-Bedingung weist fast den gleichen Wert auf wie in der „7er“-Bedingung. Vermutet wurde, dass die Laufzeit bei den „2ern“ am geringsten von den 3 Versuchsbedingungen ist, da Rückwärtszählen in 2er-Schritten als einfachste Bedingung angesehen wurde. Dies konnte bei dieser VP nicht bestätigt werden.

Wenn man die Subtraktionen betrachtet erkennt man aber, dass die VP in der „2er“-Bedingung mehr Operationen ausgeführt hat, als bei den „3ern“ und „7ern“, bei welchen die Anzahl sinkt. Dieses Ergebnis spiegelt die Erwartungen wieder. Allerdings wurde im Gespräch mit der VP nach dem Experiment deutlich, dass der Versuchsablauf verbessert werden muss. So äußerte die VP, dass sie ganz bewusst nur einmal die „7“ beim Laufen zwischen den Stationen abgezogen hat. Nach ihrer Aussage war das Rückwärtszählen in „7er“-Schritten am schwierigsten und um nicht oft rechnen zu müssen, hat sie die Zahl bewusst etwas später genannt und ist stattdessen etwas schneller gelaufen, um die Station zu erreichen, bevor ein neuer Rechenschritt nötig gewesen wäre. Da die VP wusste, dass sie nur bis zur nächsten Station laufen musste, konnte sie die Rechenschritte bewusst reduzieren.

Neben der Feststellung, dass der Versuchsablauf verändert werden musste, wurde auch deutlich, dass die Positionen der Stationen A und B nicht optimal gewählt wurden. Station A stand ganz an der Wand einer Ecke des Versuchsaumes. Wie sich später beim Betrachten der Daten herausstellte, kam es, je nachdem an welcher Stelle die VP vor der Station A stand, zu häufigen Ausfällen des Messsystems.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde der Versuchsaufbau etwas verändert und auch im Ablauf wurden Veränderungen vorgenommen, diese werden in Kapitel 3.2.2 genauer dargestellt.

3. Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

3.1. Einleitung

In diesem ersten Versuch soll untersucht werden, wie sich die Belastung der zentralen Exekutive durch einen Dual Task auf die Laufgeschwindigkeit auswirkt. Als Dual Task wurde das Rückwärtszählen in „2er“- , „3er“- und „7er“-Schritten gewählt. Das Subtrahieren von „3ern“ und „7ern“ wurde auch schon in anderen Experimenten als Dual Task bei Laufexperimenten verwendet (Srygley et al., 2009; Al-Yahya et al., 2009; Yogev et al., 2005).

Das Subtrahieren wurde als Dual Task in diesem Versuch verwendet, da in einigen Studien gezeigt werden konnte, dass die zentrale Exekutive durch arithmetische Operationen besonders beansprucht wird (Beauchet et al., 2005; DeStefano & LeFevre, 2004). Die „2er“-Schritte wurden gewählt, da angenommen wurde, dass für diese Subtraktionsschritte eventuell „templates“ im Langzeitgedächtnis vorhanden sind, die ein Subtrahieren ohne zu große Belastung der zentralen Exekutive ermöglichen und deshalb schneller und einfacher auszuführen sind als andere Subtraktionsschritte.

3.2. Material und Methoden

3.2.1. Versuchspersonen

An dem Versuch nahmen 23 Versuchspersonen (nachfolgend mit „VPen“ abgekürzt) teil, die alle Studenten oder Angestellte der Universität Tübingen waren. Das Alter der VPen betrug zwischen 20 und 33 Jahren und im Mittel (nachfolgend mit „MW“ abgekürzt) 24,3 Jahre (Standardabweichung (SD): $\pm 3,15$). Für ihre Teilnahme wurden die VPen mit 8 € pro Stunde vergütet. Die durchschnittliche Versuchsdauer betrug 30 Minuten.

Von den 23 VPen wurden 20 VPen ausgewertet, jeweils zehn Männer (MW: 23,5 Jahre; SD: $\pm 3,84$) und zehn Frauen (MW: 23,5 Jahre; SD: $\pm 2,17$). Drei VPen wurden nicht in der Auswertung berücksichtigt. Bei zwei VPen traten Messfehler auf, so dass nicht genügend Daten zur Auswertung zur Verfügung standen. Die

andere VP hatte Probleme den Versuch zu verstehen und nach Vorgabe auszuführen. Allen VPen stand es frei, den Versuch ohne Angabe von Gründen vorzeitig zu beenden.

3.2.2. Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in einem ca. 6 m x 8,4 m großen Raum durchgeführt. In diesem Raum wurden 2 Stationen aufgebaut, die mit Station A und Station B gekennzeichnet wurden. Die Stationen bestanden aus 4 aufeinander gestapelten Druckerpapierkartons mit den Maßen 31,4 cm x 22,4 cm x 27,2 cm. Somit hatte jede Station eine Höhe von 108,8 cm. Um zu gewährleisten, dass die Stationen immer an der gleichen Stelle standen, wurde ihre Position mit grauem Klebeband markiert. Der Abstand zwischen den Stationen A und B betrug 5,5 m (Abbildung 3.1). Auf dem Boden wurde mit Klebeband eine gelbe Markierung angebracht. Sie sollte dazu dienen, dass die Versuchspersonen auf direktem Weg zwischen den Stationen hin und herliefen und so Messausfälle reduziert wurden. Im Abstand von 0,5 m wurde vor jeder Station eine weitere, querverlaufende gelbe Markierung angebracht. Dadurch sollte erreicht werden, dass die VPen auch bis zu den Stationen liefen und nicht schon vorher umdrehten.

Der Versuch bestand aus 3 verschiedenen Versuchsbedingungen, die wiederum aus 6 Laufblöcken bestanden. Als Laufblock wurde jeweils ein Abschnitt einer Versuchsbedingung bezeichnet. Vor jedem Laufblock musste eine Mathematikaufgabe gelöst werden und anschließend zwischen den Stationen A und B hin und hergelaufen werden. Die VPen mussten so lange laufen, bis sie das Signal zum Stoppen bekamen. In den Laufblöcken wurden die Wegstrecken zwischen A und B zwischen 3 und 5 Strecken variiert. Insgesamt wurden aber von jeder VP in jeder Versuchsbedingung 24 Wegstrecken absolviert.

Bei den Versuchsbedingungen wurde zwischen einer „2er“- , „3er“- und „7er“-Bedingung unterschieden. Bei der „2er“-Bedingung mussten ausgehend von einem Startwert Zahlen in „2er“-Schritten subtrahiert werden. Bei der „3er“- und „7er“-Bedingung musste in „3er“- bzw. „7er“-Schritten subtrahiert werden.

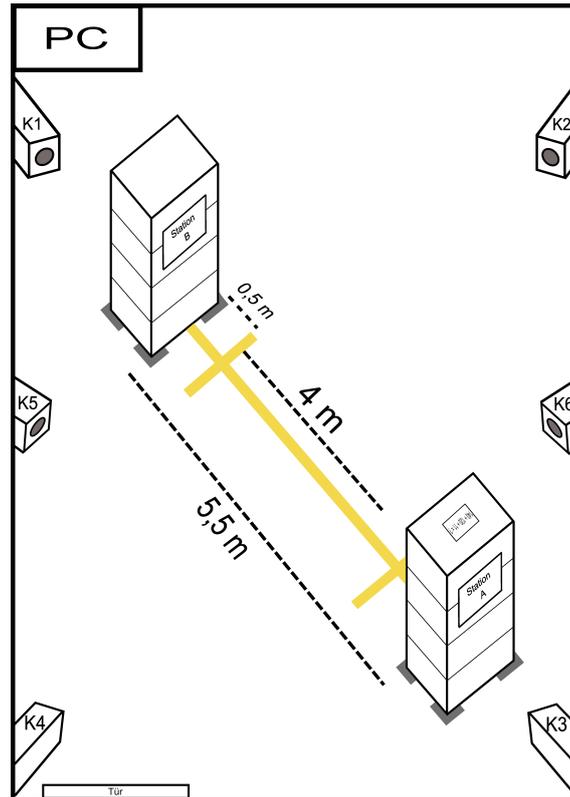


Abbildung 3.1.: Versuchsaufbau. Auf dem Bild ist der Versuchsaufbau schematisch dargestellt. Die beiden Stationen A und B stehen in einem Abstand von 5,5 m zueinander. Die gelben Markierungen zwischen den Stationen wurden angebracht, damit die VPen bis ganz zu den Stationen liefen und nicht zu früh umkehrten. Die mit „4 m“ gekennzeichnete gestrichelte Linie gibt die Teilstrecke an, die zur Auswertung der Laufzeiten und Laufgeschwindigkeiten verwendet wurde. Mit K1-6 sind die Positionen der 6 Infrarotkameras dargestellt. An Station A befindet sich ein Stapel mit Karteikarten. Am PC wurden die Daten des Headtrackers gespeichert.

Station A diente bei jeder Versuchsbedingung bzw. jedem Laufblock als Startpunkt. An dieser Station befand sich bei jeder Versuchsbedingung ein Stapel mit 6 Karteikarten, die mit verschiedenen Mathematikaufgaben bedruckt waren. Den VPen wurde mitgeteilt, dass sie an einem Experiment zur Untersuchung von Arithmetik und Arbeitsgedächtnis teilnehmen werden. Um diese Aussage zu stützen, wurden diese Mathematikaufgaben als Ablenkungsaufgaben gestellt. Zum Lösen der Aufgaben mussten die VPen jeweils 3 Zahlen addieren, subtrahieren oder addieren und subtrahieren. Um die Aufgaben nicht zu schwer zu machen, wurde bewusst darauf verzichtet Multiplikationen und Divisionen zu verwenden. Außerdem wurden die Aufgaben so gewählt, dass immer 2 der 3 Zahlen einfach zusammengefasst werden konnten, so dass nur ein Rechenschritt gemacht werden musste. Unter anderem wurden folgende Aufgaben verwendet: $140 + 120 + 11 = ?$ oder $261 - 61 - 23 = ?$ oder $200 - 60 + 22 = ?$ (alle Mathematikaufgaben sind im Anhang B.2 aufgelistet). Bei jeder Versuchsbedingung wurden andere Mathematikaufgaben verwendet, allerdings hatten alle Aufgaben ein 3-stelliges Ergebnis, das unter 400 lag.

3: Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

Bei den Mathematikaufgaben, die im Versuchteil mit der „2er“-Subtraktion verwendet wurden, wurden nur Rechnungen gestellt, bei denen ungerade Ergebnisse herauskamen, da das Abziehen von „2ern“ von geraden Zahlen als zu einfach angesehen wurde.

Headtracker

An der Decke des Versuchsaumes sind 6 Infrarotkameras angebracht (Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2). Sie sind Teil des auf Infrarotlicht basierenden Tracking-systems (*ARTtrack/ DTrack from A.R.T. GmbH, Weilheim, Deutschland*), welches Raumdaten von speziellen Reflektorkugeln, die zu einem „target“ zusammengefasst sind (Abbildung 3.3), in 6 Freiheitsgrade ermittelt und eine Echtzeitverzögerung von 40 ms besitzt. Die Infrarotkameras besitzen eine Trackingfrequenz von 60 Hz und ermöglichen es, die genaue Position und Laufgeschwindigkeit der Versuchsperson während des Experimentes zu ermitteln.



Abbildung 3.2.: Infrarotkameras. Links: eine der vier Kameras, die in den Ecken des Raumes angebracht sind. Sie sind in Abbildung 3.1 mit K1-4 gekennzeichnet. Rechts: eine der beiden Kameras, die in der Mitte des Raumes hängen (Abbildung 3.1 K5+6).

Während des Versuches trugen die VPen einen Fahrradhelm. Auf diesem Fahrradhelm war eine stabile Konstruktion aus 5 Stäben befestigt, an deren Enden sich 5 reflektierende Kugeln befanden (Abbildung 3.3). Die Kugeln wurden mit Hilfe der Infrarotkameras getrackt und die Daten wurden an einen *Intel Pentium 4* (3 GHz, 1 GB RAM) PC mit dem Betriebssystem *Microsoft Windows XP Professional* (Version 2002, Service Pack 2) gesendet und mit dem Programm *DTrack 1.22.2* aufgezeichnet.

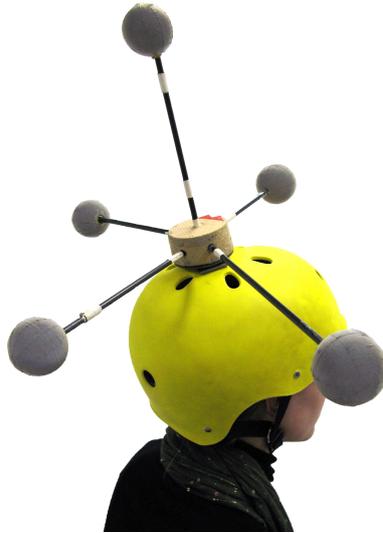


Abbildung 3.3.: Headtracker. Die 5 reflektierenden Kugeln ermöglichen die genaue Positionserfassung mittels Infrarotkameras.

3.2.3. Versuchsdurchführung

Die VPen wurden in den Versuchsraum geführt und mit dem Aufbau der Stationen vertraut gemacht. Anschließend wurde ihnen der Ablauf des Versuches erklärt, sie unterschrieben eine Einverständniserklärung (Anhang A.1) und bekamen danach noch einmal eine schriftliche Versuchsanleitung (Anhang B.1) ausgehändigt. Falls danach noch Fragen seitens der VPen vorhanden waren, wurden diese vor Versuchsbeginn geklärt. Den VPen wurde der Headtracker aufgesetzt und sie nahmen ihre Startposition an Station A ein. Es wurde direkt mit dem Versuch begonnen, ohne Probedurchgänge durchzuführen.

Der Versuch bestand aus 3 unterschiedlichen Versuchsbedingungen, jede der Versuchsbedingungen bestand wiederum aus 6 Laufblöcken. Aufgabe der VPen war es, zwischen den beiden Stationen A und B hin und herzulaufen bis sie das Signal zum Stoppen bekamen. Die Datenmessungen wurden jeweils gestartet, sobald die VPen ihre Startposition an Station A erreicht hatten und unterbrochen, wenn ein Laufblock beendet war. Pro Laufblock wurden die zurückgelegten Strecken zwischen den beiden Stationen im Bereich von 3-5 Strecken variiert. Dies sollte verhindern, dass die VPen von vornherein wussten, wie oft sie jeweils zwischen den Stationen hin und herlaufen mussten. Jede VP lief während der 6 Laufblöcke insgesamt 24 mal von einer Station zur anderen.

Als weitere Aufgabe mussten die VPen während des Laufens fortlaufend Zahlen subtrahieren, dies erfolgte je nach Versuchsbedingung in „2er“- , „3er“- oder „7er“-Schritten. Die VPen mussten die Zahlen immer laut nennen, so wurde gewährleistet, dass die VPen auch tatsächlich die Zahlen subtrahierten und nicht irgendein Ergebnis am Ende nannten. Die Versuchsbedingungen wurden unter den VPen randomisiert. Alle VPen mussten die 3 Bedingungen durchführen, allerdings in unter-

schiedlichen Reihenfolgen. Wurde die VP an Station A gestoppt, notierte sie die Zahl, welche sie als letztes genannt hatte, auf einem Zettel. Wurde die VP an Station B gestoppt, lief sie zurück zu Station A und notierte wiederum ihr Ergebnis auf dem bereitliegenden Zettel.

Vor jedem Laufblock mussten die VPen an Station A zur Ablenkung Mathematikaufgaben berechnen. Zu Beginn jedes Rechnens wurde die Datenmessung gestartet. Die Ergebnisse dieser Mathematikaufgaben dienten als Anfangswert für das Rückwärtszählen in „2er“- „3er“- oder „7er“-Schritten. Nachdem die VPen die Lösungen der Aufgaben ausgerechnet und genannt hatten, liefen sie zu Station B, drehten dort um und liefen zurück zu Station A, wendeten erneut und liefen zu Station B usw., bis sie mitgeteilt bekamen, dass dieser Laufblock beendet ist.

Nachdem die VPen die 3 Teilversuche durchgeführt hatten, mussten sie einen weiteren kurzen Test absolvieren. Diese zweite Aufgabe wurde allerdings erst nach einigen VPen eingeführt, so dass nur 12 VPen in der Auswertung sind. Bei diesem zweiten Test bestand die Aufgabe darin, „7er“ abzuziehen und zwar einmal im Sitzen und ein weiteres mal beim Laufen. Anders als in der „7er“-Bedingung durften sich die VPen diesmal aussuchen, welchen Weg sie im Labor liefen, da die Laufgeschwindigkeit nicht gemessen wurde. In diesem Versuchsteil wurde die Zeit gestoppt, die die VPen jeweils benötigten, um die Zahl „7“ 20 mal zu subtrahieren, außerdem wurde notiert wie viele Fehler die VPen dabei machten. Um ein vergleichbares Ergebnis unter den VPen zu erhalten, bekamen alle den gleichen Startwert. Die Startzahl im Sitzen betrug 353 und im Laufen 243.

Am Ende des Versuchs bekamen die VPen einen kurzen Fragebogen mit der Bitte ihn auszufüllen (Anhang B.3).

3.2.4. Auswertung

Um die Laufgeschwindigkeiten der VPen zu bestimmen, wurde nicht die gesamte 5,5 m Distanz zwischen den beiden Stationen verwendet, sondern lediglich ein 4 m langes Teilstück (Abbildung 3.1). Die Laufzeiten der VPen wurden mit *MATLAB*[®] (Version 7.10.0.499 (R2010a)) aus den Rohdaten ermittelt und anschließend wurden die Laufgeschwindigkeiten daraus berechnet. Die Ergebnisse der „2er“- „3er“- und „7er“-Subtraktionen wurden mit *Microsoft Office Excel 2003* ausgewertet. Die anschließenden statistischen Analysen wurden mit *MATLAB*[®] (Version 7.10.0.499 (R2010a)) durchgeführt. Die Laufzeiten und Laufgeschwindigkeiten wurden mit dem Lilliefors-Test auf Normalverteilung geprüft. Es ergab sich eine Normalverteilung der Daten, so dass für die weitere Auswertung parametrische Tests angewandt wurden. Alle VPen absolvierten jede Versuchsbedingung, dabei zeigten sich zum Teil deutliche Unterschiede in den Laufgeschwindigkeiten der VPen. Um nur die Varianz bezüglich der Laufgeschwindigkeit zwischen den Bedingungen und nicht zwischen den VPen zu berücksichtigen, wurde das Experiment als Within-Subject Design angelegt und mit einer One-Way Within-Subject ANOVA statistisch analysiert. Ergab

sich bei den Daten eine Signifikanz wurde als Post-hoc Test ein Holm-Sidak Multiple t-Test durchgeführt.

3.3. Ergebnisse

3.3.1. Allgemeines zur Darstellung der Ergebnisse

Ergibt ein statistischer Test einen p-Wert $< 0,05$, gelten die Werte als signifikant. Ergab sich bei der Auswertung der Ergebnisse eine Signifikanz, ist diese in allen nachfolgenden Abbildungen wie folgt dargestellt:

* = $p < 0,05$
** = $p < 0,01$
*** = $p < 0,001$

In den Abbildungen sind sowohl die Standardabweichung (nachfolgend mit „SD“ abgekürzt) als auch der Standardfehler (nachfolgend mit „SEM“ abgekürzt) angegeben.

Der jeweils untere Teil des Fehlerbalkens gibt die SD und der obere Teil den SEM an.

Die Anzahl der VPen, deren Ergebnisse in der Abbildung dargestellt sind, wird mit „n“ angegeben.

3.3.2. Lokomotion

Von den ursprünglich 23 gemessenen VPen wurden nur 20 in die Auswertung genommen. Eine Versuchsperson hatte offensichtlich Probleme damit die Versuchsanweisungen zu verstehen und konnte den Versuch auch nach mehrfachen Erklärungen nicht nach den Vorgaben ausführen. Der Versuch wurde bei dieser Versuchsperson vorzeitig beendet. Bei den beiden anderen VPen traten zu viele Messausfälle des Headtrackers auf, so dass für die Vergleiche mit den anderen VPen nicht genügend Daten zur Verfügung standen und sie komplett aus der Wertung genommen wurden.

Zunächst wurden die Laufzeiten der VPen analysiert, dabei ergab sich, dass die Laufzeiten der einzelnen VPen zum Teil deutlich voneinander abwichen (Abbildung 3.4 oben). Außerdem zeigte sich, dass die VPen bei den verschiedenen Versuchsbedingungen unterschiedlich lange für die Strecke zwischen den beiden Stationen benötigten. Die Laufzeit in der „2er“-Bedingung war bei den meisten VPen am kürzesten, sie erhöhte sich bei den „3ern“ und noch einmal bei den „7ern“. Auffallend sind die Ergebnisse von VP 5, bei ihr ist die Laufzeit bei den „3ern“ mit 7,40 s

3: Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

am höchsten und erstaunlicherweise ist die Zeit bei der „7er“-Bedingung mit 5,19 s deutlich am kürzesten. Auch bei VP 13 weichen die Ergebnisse deutlich von den anderen VPen ab. So ist bei dieser VP die Zeit bei den „2ern“ die höchste (5,91 s), gefolgt von den „7ern“ (5,57 s), am kürzesten war die Laufzeit bei den „3ern“ (4,93 s). Die Laufzeit bei der „2er“-Bedingung lag durchschnittlich bei 4,68 s (SD: $\pm 0,94$). In der „3er“-Bedingung benötigten die VPen 4,85 s (SD: $\pm 1,01$) und bei den „7ern“ 5,05 s (SD: $\pm 1,12$) (Abbildung 3.4 unten).

Im Mittel nahmen die Laufzeiten mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad der Subtraktionen zu, eine One-Way Within-Subject ANOVA ergab allerdings keine Signifikanz zwischen den einzelnen Werten ($F(2,38) = 3,04$; $p = 0,0596$).

Aus den Laufzeiten wurden die Laufgeschwindigkeiten der VPen berechnet (Abbildung 3.5 oben). Im Schnitt lag die Laufgeschwindigkeit bei den „2ern“ bei 3,22 km/h (SD: $\pm 0,58$), bei den „3ern“ bei 3,12 km/h (SD: $\pm 0,61$) und bei den „7ern“ bei 3,01 km/h (SD: $\pm 0,65$), sie nahm also zwischen den Bedingungen ab (Abbildung 3.5 unten). Anders als bei den Laufzeiten ergab eine One-Way Within-Subject ANOVA einen signifikanten Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten ($F(2,38) = 4,84$; $p < 0,05$). Als Post-hoc Test wurde ein Holm-Sidak Multiple t-Test durchgeführt, dieser ergab, dass der Unterschied zwischen den Laufgeschwindigkeiten der „2er“- und „7er“-Bedingung bestand. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen der „2er“- und „3er“-Bedingung ($p = 0,15$). Auch zwischen der „3er“- und „7er“-Bedingung gab es keinen Unterschied ($p = 0,15$).

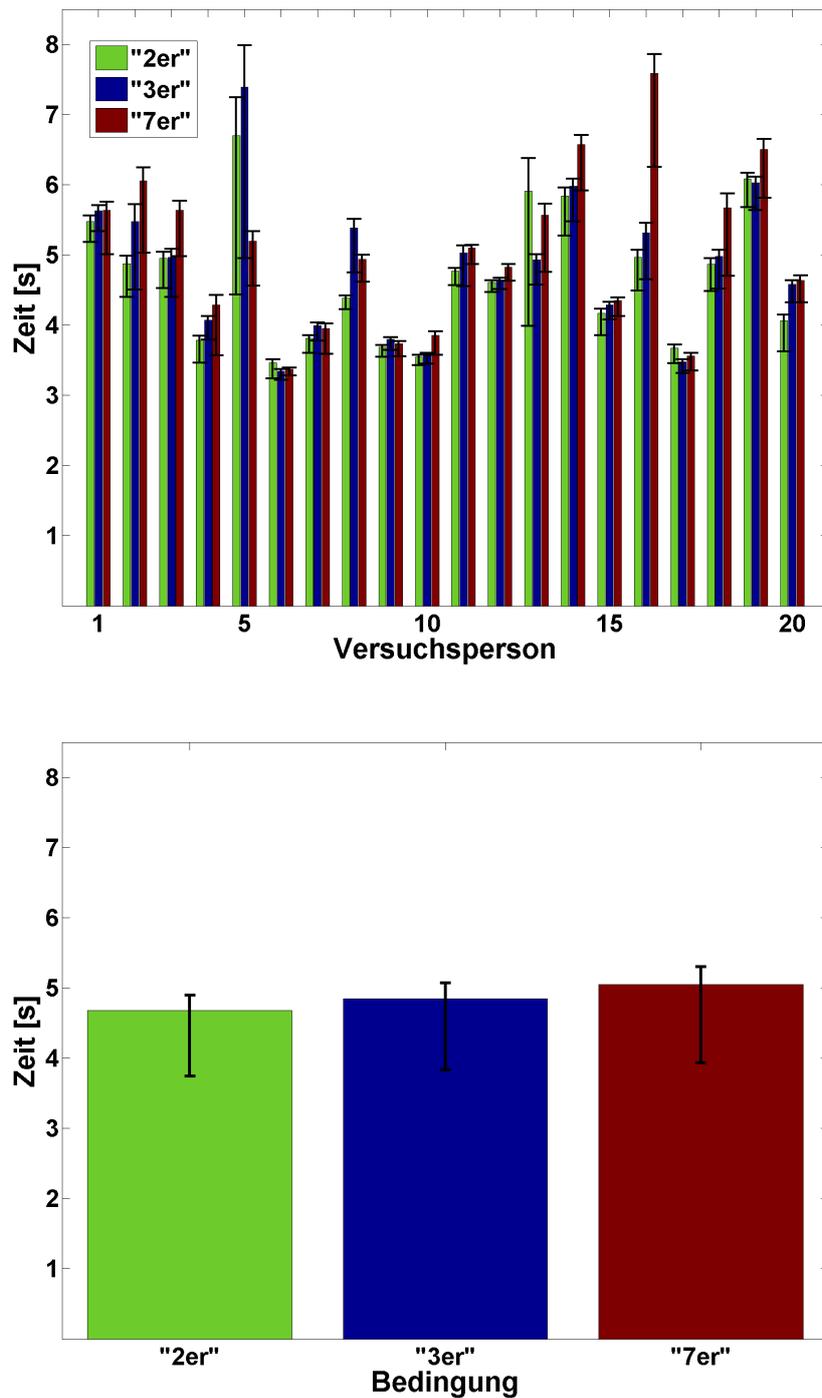


Abbildung 3.4.: Gemittelte Laufzeiten aller Bedingungen. Oben: Aufgetragen sind die gemittelten Laufzeiten jeder Versuchsperson, die sie für die 4 m lange Teilstrecke bei den 3 verschiedenen Bedingungen benötigte. Auf der x-Achse sind die VPen aufgetragen und auf der y-Achse die Zeit in Sekunden. Unten: Abgebildet sind die Laufzeiten gemittelt über alle VPen. Die Zeiten nehmen über die Bedingungen von „2ern“ zu „7ern“ zu. Auf der x-Achse sind die einzelnen Versuchsbedingungen aufgetragen, auf der y-Achse die Zeit in Sekunden. $n = 20$.

3: Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutiv

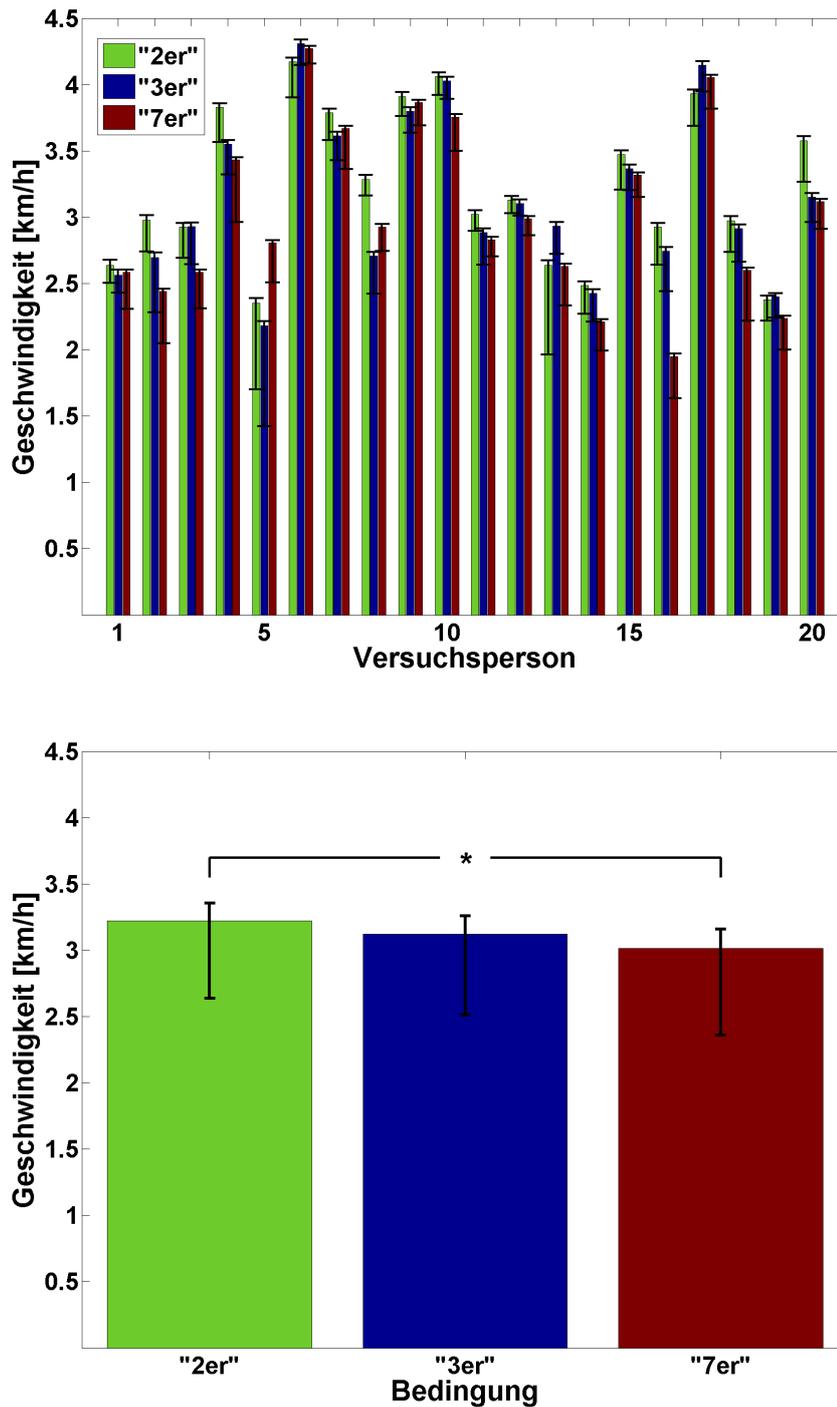


Abbildung 3.5.: Gemittelte Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen. Oben: Abgebildet sind die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten jeder Versuchsperson bei den einzelnen Bedingungen. Auf den Achsen sind die Versuchspersonen und die Laufgeschwindigkeiten in km/h angegeben. Unten: Dargestellt sind die Laufgeschwindigkeiten gemittelt über alle VPen. Die Geschwindigkeiten nehmen zwischen den einzelnen Bedingungen ab. Die Laufgeschwindigkeiten der Bedingungen „2er“ und „7er“ unterscheiden sich signifikant. Auf der x-Achse ist die Bedingung, auf der y-Achse die Laufgeschwindigkeit in km/h aufgetragen. $n = 20$.

Pro Versuchsbedingung musste jede VP 24 mal zwischen den beiden Stationen hin und herlaufen. Diese 24 Strecken wurden auf 6 Laufblöcke aufgeteilt, wobei die jeweils gelaufenen Strecken pro Laufblock zwischen 3 und 5 variierten. In Abbildung 3.6 sind die gemittelten Laufzeiten der einzelnen Laufblöcke für jede Bedingung dargestellt. Bei allen Laufblöcken nehmen die Geschwindigkeiten von den „2ern“ über die „3er“ hin zu den „7ern“ ab. Die einzige Ausnahme stellt Laufblock 4 dar. Bei diesem Laufblock besitzt die „3er“-Bedingung die höchste Geschwindigkeit, allerdings ist sie mit 3,24 km/h (SD: $\pm 0,65$) nur minimal höher als die Laufgeschwindigkeit bei den „2ern“ (3,22 km/h; SD: $\pm 0,65$).

Beim Vergleich der Laufgeschwindigkeiten der Laufblöcke innerhalb einer Bedingung hat Laufblock 1 bei den „3ern“ und „7ern“ die jeweils geringste Laufgeschwindigkeit mit 3,06 km/h (SD: $\pm 0,66$) bzw. 2,88 km/h (SD: $\pm 0,65$). Bei den „2ern“ ist es Laufblock 6 mit 3,16 km/h (SD: $\pm 0,83$). Die schnellste Laufgeschwindigkeit hat bei den „2ern“ Laufblock 3 mit 3,26 km/h (SD: $\pm 0,56$), bei den „3ern“ Laufblock 4 mit 3,24 km/h (SD: $\pm 0,65$) und bei den „7ern“ ist es Laufblock 5 mit 3,10 km/h (SD: $\pm 0,65$). Eine One-Way Within-Subject ANOVA über die Laufgeschwindigkeiten in den einzelnen Laufblöcken ergab bei keiner Bedingung eine Signifikanz („2er“-Bedingung: $F(5,95) = 0,7$; $p = 0,63$; „3er“-Bedingung: $F(5,95) = 1,07$; $p = 0,38$; „7er“-Bedingung: $F(5,95) = 1,87$; $p = 0,11$).

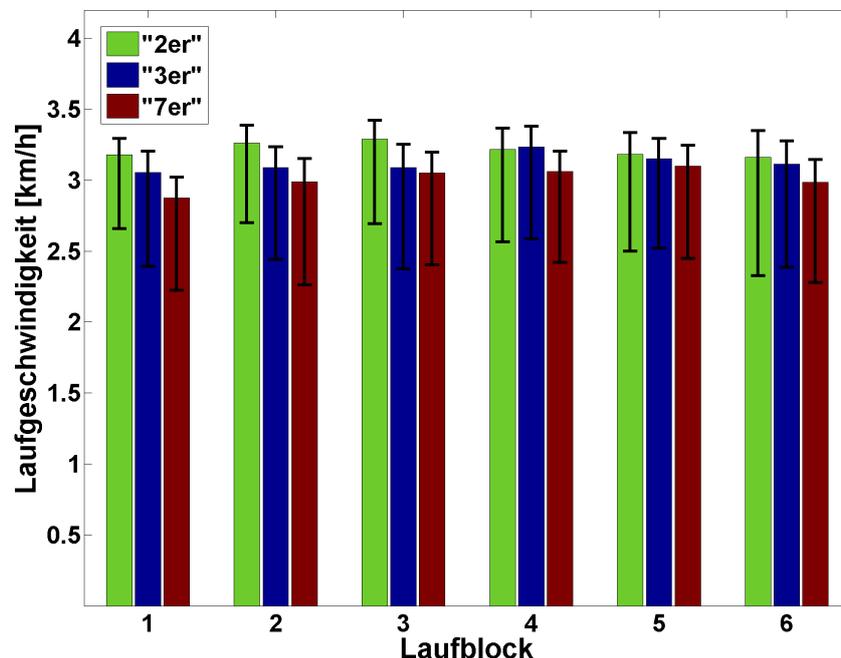


Abbildung 3.6.: Gemittelte Laufgeschwindigkeiten pro Laufblock und Versuchsbedingung. Auf der x-Achse sind die 6 Laufblöcke aufgetragen, auf der y-Achse die gemittelte Geschwindigkeit in km/h über alle VPen. Bei allen Laufblöcken nimmt die Geschwindigkeit von „2er“ zu „7er“ ab. Einzige Ausnahme ist Block 4, hier besitzt die „3er“-Bedingung die höchste Laufgeschwindigkeit. $n = 20$.

3: Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

Anschließend wurde untersucht, wie stark die Laufgeschwindigkeiten der Bedingungen miteinander korrelieren. Dazu wurden die gemittelten Laufgeschwindigkeiten der VPen aus der „2er“-Bedingung gegen die Laufgeschwindigkeiten aus der „3er“-Bedingung aufgetragen. Ebenso wurde mit den Laufgeschwindigkeiten aus der „2er“- und „7er“- sowie „3er“- und „7er“-Bedingung verfahren. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.7 dargestellt. Für den Vergleich „2er“ mit „3er“ ergab sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,89$, beim Vergleich „2er“ mit „7er“ kam ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,80$ heraus und bei den „3ern“ mit den „7ern“ hatte R^2 den Wert 0,83. Bei allen 3 Vergleichen ergab sich ein hohes Bestimmtheitsmaß, welches angibt, dass die Laufgeschwindigkeiten der einzelnen Versuchsbedingungen sehr stark miteinander korrelieren.

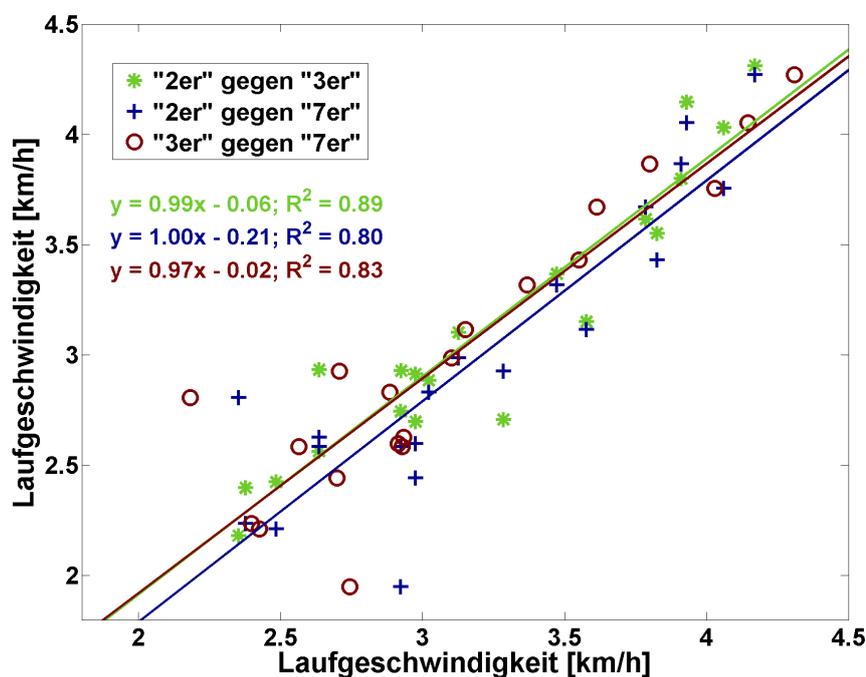


Abbildung 3.7.: Korrelation der Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen. Die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten der VPen einer Versuchsbedingung sind gegen die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten der VPen in einer anderen Bedingung aufgetragen. Korreliert wurden die Bedingungen „2er“ und „3er“, „2er“ und „7er“ sowie „3er“ und „7er“. Alle drei korrelieren stark, die Bestimmtheitsmaße liegen zwischen $R^2 = 0,80$ und $R^2 = 0,89$. Auf den Achsen wurde jeweils die Geschwindigkeit in km/h aufgetragen. $n = 20$.

3.3.3. Dual Task

Während die VPen von A nach B bzw. von B nach A liefen, mussten sie ununterbrochen Zahlen subtrahieren. Den Startwert berechneten sie vor jedem Laufblock an Station A, indem sie dort eine Mathematikaufgabe lösten. Bei der Versuchsbedingung, in der die VPen „2er“ abziehen mussten, subtrahierten sie im Mittel 89,95 mal

(SD: $\pm 19,10$) die „2“. Die „3er“ wurden im Schnitt 80,45 mal (SD: $\pm 20,35$) und die „7er“ 59,7 mal (SD: $\pm 17,08$) abgezogen. Eine One-Way Within-Subject ANOVA ergab eine Signifikanz zwischen allen Bedingungen ($F(2,38) = 47,76$; $p < 0,001$). Der Holm-Sidak Multiple t-Test Post-hoc Test ergab $p < 0,01$ für den Vergleich zwischen „2er“ und „3er“ und ein $p < 0,001$ zwischen „2er“ und „7er“ sowie „3er“ und „7er“. Bei den Subtraktionen machten die VPen bei den „2ern“ durchschnittlich 1,2 Fehler (SD: $\pm 1,54$), bei den „3ern“ 2,15 (SD: $\pm 1,87$) und bei den „7ern“ 2,75 (SD: $\pm 1,86$). Die Fehlerzahl erhöhte sich zwischen der „2er“- und „7er“-Bedingung über das Doppelte. Aus den Werten ergeben sich 98,58% (SD: $\pm 1,62$) richtiger Subtraktionen bei den „2ern“, 96,90% (SD: $\pm 2,84$) bei den „3ern“ und 94,80% (SD: $\pm 3,99$) bei den „7ern“. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.8 dargestellt. Alle Bedingungen sind signifikant verschieden zueinander ($F(2,38) = 15,56$; $p < 0,001$). Ein Multipler t-Test als Post-hoc Test ergab folgendes Resultat: „2er“ und „7er“ unterschieden sich mit einem $p < 0,001$, „3er“ und „7er“ hatten ein $p < 0,01$ und bei den „2ern“ und „3ern“ ergab sich ein $p < 0,05$.

3: Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

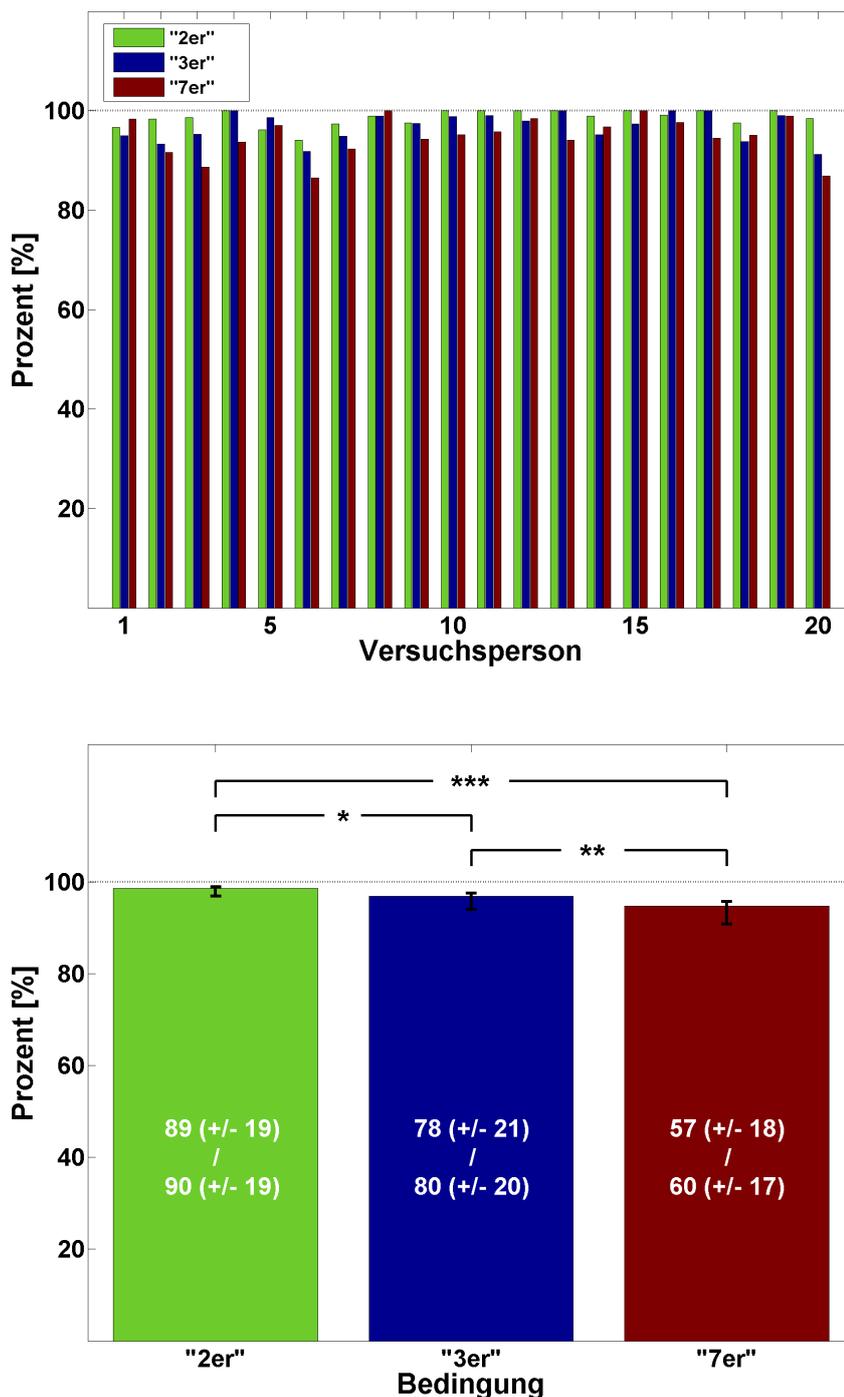


Abbildung 3.8.: Prozentualer Anteil der richtigen Subtraktionen in jeder Bedingung. Oben: Prozentuale Anteile der richtigen Subtraktionen jeder VP. Die VPen sind auf der x-Achse aufgetragen, die Prozente auf der y-Achse. Unten: Prozentualer Anteil gemittelt über alle VPen. Die erste Zahl in den Balken gibt die richtigen Subtraktionen an. Die zweite Zahl gibt die Gesamtzahl an Subtraktionen an. In Klammern ist die Standardabweichung angegeben. Die angegebenen Zahlenwerte wurden gerundet. Alle 3 Bedingungen unterscheiden sich signifikant voneinander. Auf der x-Achse sind die Bedingungen angegeben, auf der y-Achse die Prozente. $n = 20$.

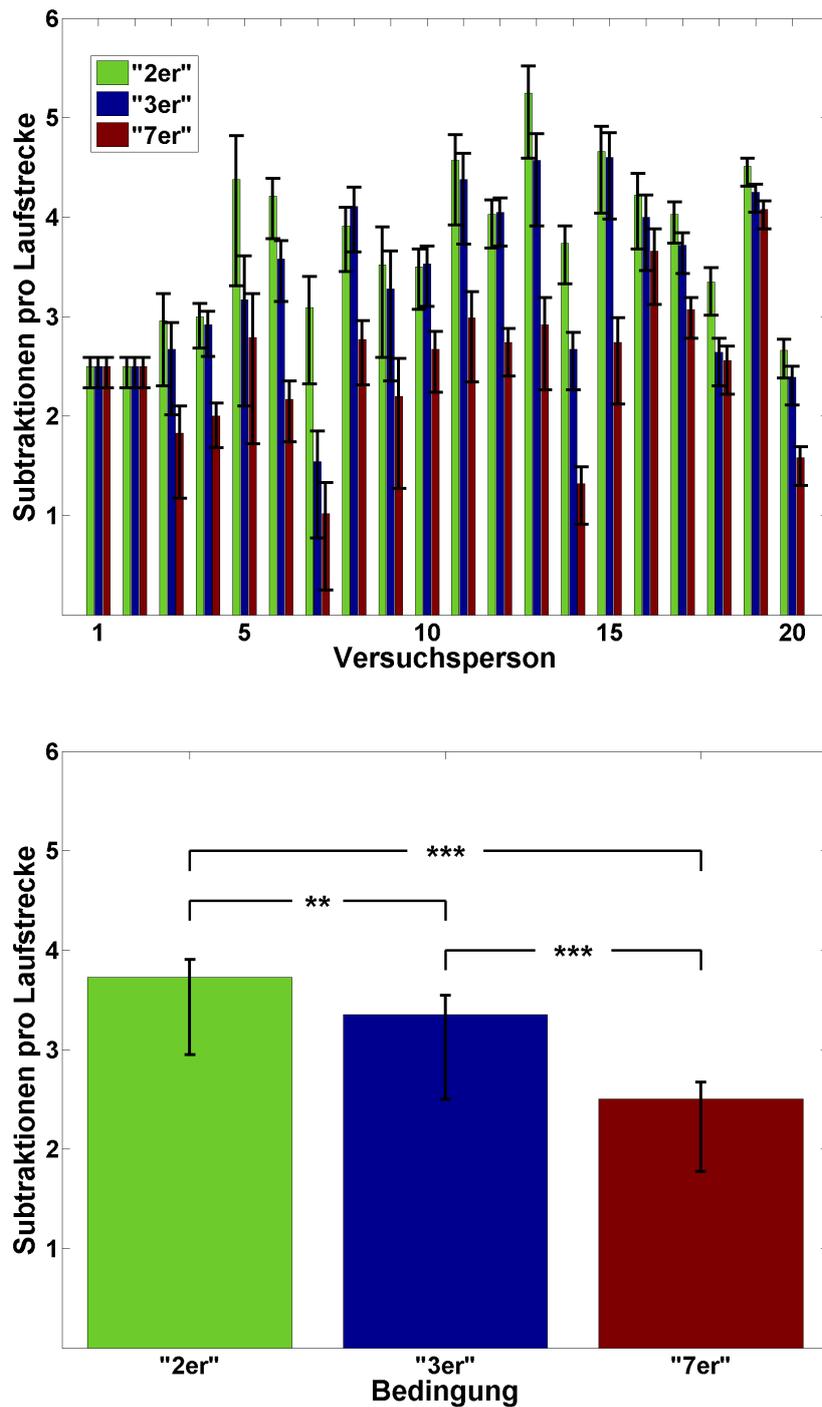


Abbildung 3.9.: Subtraktionen pro Laufstrecke. Oben: Durchschnittliche Anzahl an Subtraktionen, die die VPen beim Laufen zwischen den beiden Stationen absolviert haben. Auf der x-Achse sind die VPen aufgetragen, auf der y-Achse die Subtraktionen pro Laufstrecke. Unten: Anzahl der Subtraktionen pro Laufstrecke gemittelt über alle VPen. Die Anzahl der Subtraktionen nimmt bei den Bedingungen ab und unterscheidet sich unter den Bedingungen signifikant. Auf der x-Achse sind die Bedingungen dargestellt, auf der y-Achse die Subtraktionen pro Laufstrecke. $n = 20$.

3: Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

Neben den prozentualen Anteilen der richtigen Subtraktionen, wurde auch ausgewertet, wie viele Subtraktionen die VPen durchschnittlich zwischen den Stationen tätigten. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.9 abgebildet. Mit Ausnahme von 5 VPen subtrahierten alle anderen die „2er“ am häufigsten, gefolgt von den „3ern“. Die VPen 1 und 2 subtrahierten bei allen 3 Bedingungen durchschnittlich 2,5 Zahlen auf dem Weg zwischen den Stationen. Bei den VPen 8, 10 und 12 wurden die „3er“ minimal öfter subtrahiert als die „2er“, die „7er“ allerdings deutlich weniger. Gemittelt über alle 20 VPen wurden unter der „2er“-Bedingung 3,73 (SD: $\pm 0,78$) Zahlen während einer Laufstrecke subtrahiert. Bei den „3ern“ waren es 3,35 (SD: $\pm 0,86$) und bei den „7ern“ 2,51 (SD: $\pm 0,73$). Als Ergebnis einer One-Way Within-Subject ANOVA kam heraus, dass sich die Bedingungen signifikant unterscheiden ($F(2,38) = 45,78$; $p < 0,001$). Der Holm-Sidak Multiple t-Test ergab zwischen den Bedingungen „2er“ und „3er“ ein $p < 0,01$ und zwischen den „2ern“ und „7ern“ ebenso wie zwischen den „3ern“ und „7ern“ ein $p < 0,001$.

Da die VPen während den 24 Wegstrecken die Zahlen unterschiedlich oft subtrahierten, wurde noch ein weiterer Test durchgeführt, bei dem alle VPen 20 mal die „7“ subtrahieren sollten. Dabei wurde die Zeit gestoppt, die die VPen benötigten (Abbildung 3.11), sowie ihre Fehlerzahl notiert (Abbildung 3.10). Dieser Test wurde allerdings nicht von Anfang an gemacht, so dass in die weiteren Ergebnisse nur die Daten von 12 VPen einfließen. Durchschnittlich kamen 1,08 Fehler (SD: $\pm 0,79$) vor, wenn die VPen die Zahlen im Sitzen abziehen mussten. Während die VPen umherliefen und Zahlen abzogen gab es im Mittel 1 Fehler (SD: $\pm 1,04$). Ein gepaarter t-Test ergab keine Signifikanz ($t(11) = 0,23$; $p = 0,82$; SD: 1,24).

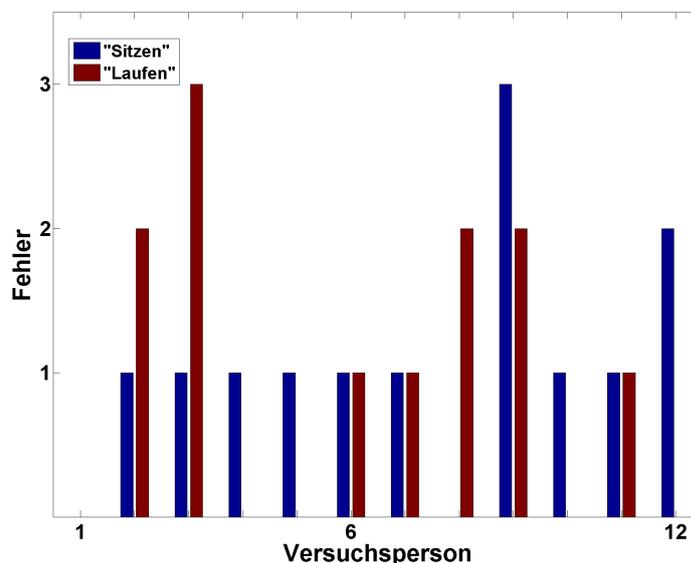


Abbildung 3.10.: Fehleranzahl beim Sitzen und Laufen. Dargestellt sind die Fehler, die die VPen jeweils beim 20-fachen Abziehen von „7“ gemacht haben. Sind bei einer VP keine Balken bzw. nur ein Balken abgebildet, hat sie in der jeweiligen Bedingung keinen Fehler gemacht. Auf der x-Achse ist die Bedingung aufgetragen, auf der y-Achse die Fehleranzahl. $n = 12$.

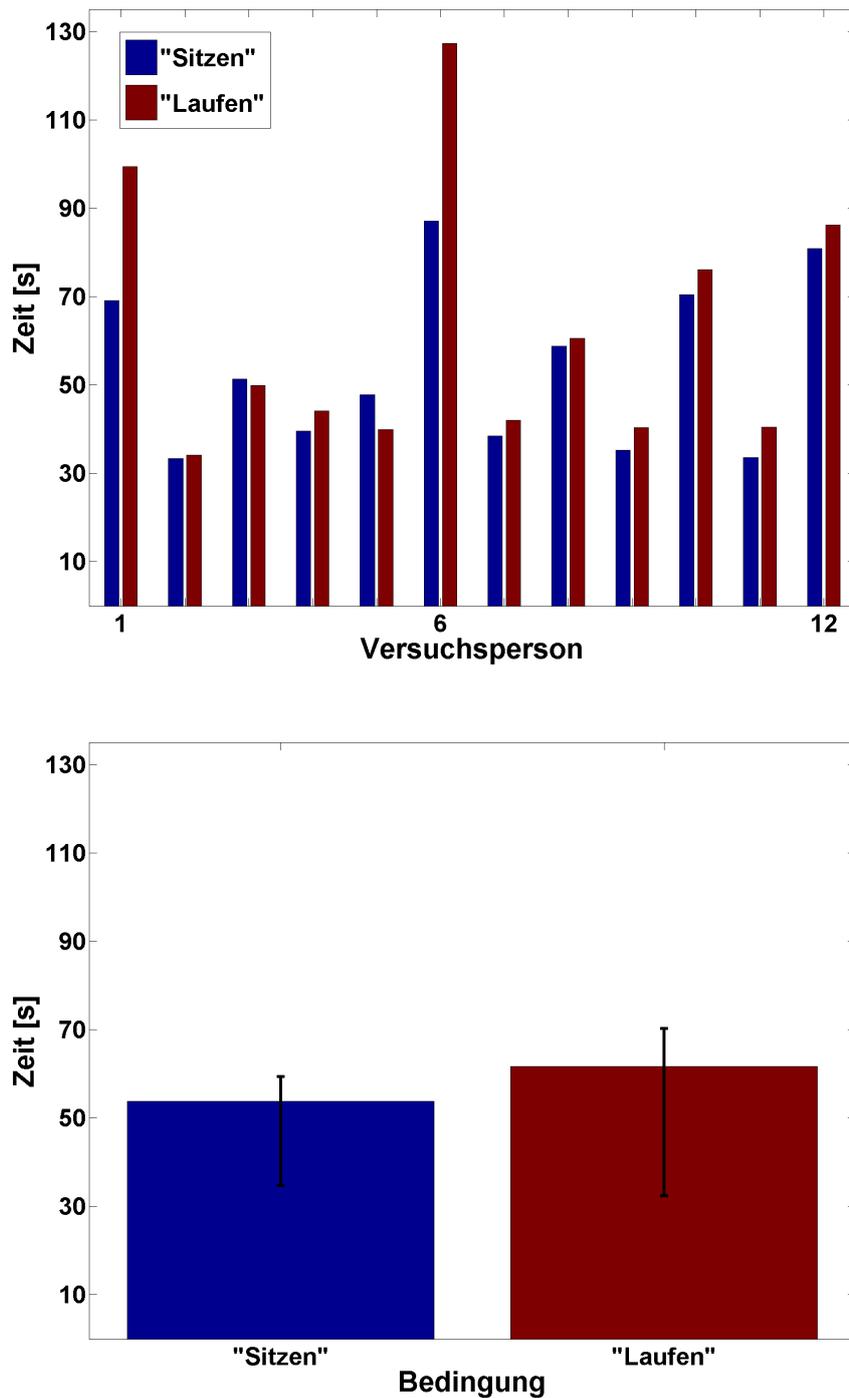


Abbildung 3.11.: Rechenzeiten im Sitzen und Laufen. Oben: Abgebildet ist die Zeit in Sekunden, die die VPen benötigten um 20mal die Zahl „7“ im Sitzen bzw. beim Laufen abzuziehen. Mit Ausnahme der VPen 3 und 5 nimmt die benötigte Zeit beim Laufen zu. Auf der x-Achse sind die VPen dargestellt, auf der y-Achse die Zeit in Sekunden. Unten: Die Rechenzeiten gemittelt über die VPen. Die Zeit liegt beim Laufen im Schnitt knapp 8s über der Rechenzeit im Sitzen. Auf der x-Achse ist die Bedingung aufgetragen, auf der y-Achse die Zeit in Sekunden. $n = 12$.

3: Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

Mit Ausnahme zweier VPen, benötigten die anderen während des Laufens mehr Zeit als beim Sitzen, um die Zahlen abzuziehen (Abbildung 3.11 oben). Die VPen benötigten durchschnittlich 53,80s (SD: $\pm 19,14$) um die 20 Subtraktionen im Sitzen auszuführen. Im Gegensatz dazu dauerte es beim Laufen 61,70s (SD: $\pm 29,39$). Auch bei der Rechenzeit ergab ein gepaarter t-Test keinen signifikanten Unterschied ($t(11) = -2,02$; $p = 0,068$; SD: 13,54).

Um die Korrelation der beiden Rechenzeiten zu untersuchen, wurden die Zeiten jeder Bedingung geordnet und Ränge vergeben. Anschließend wurden die Ränge der beiden Bedingungen gegeneinander aufgetragen. In Abbildung 3.12 kann man sehen, dass die Ränge sehr stark miteinander korrelierten, es ergab sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,81$.

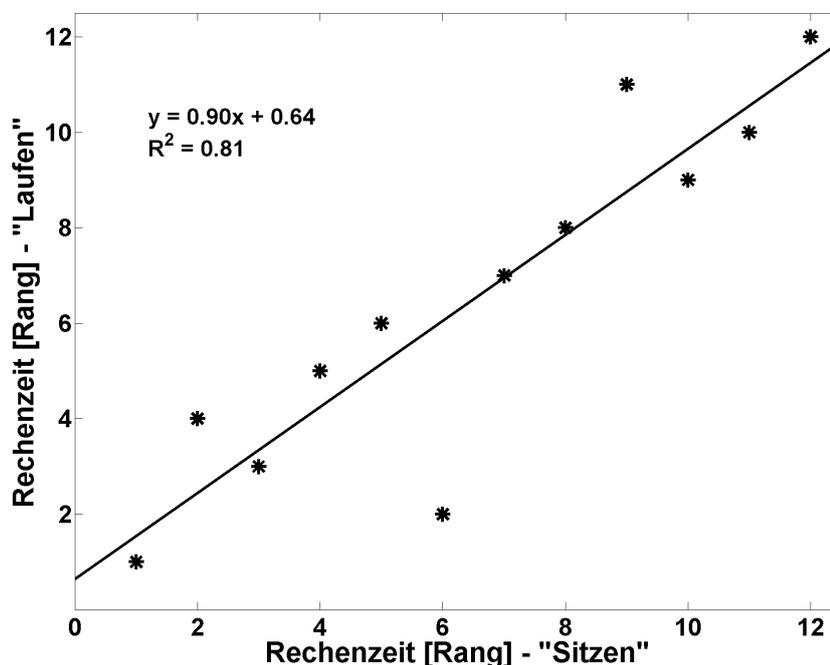


Abbildung 3.12.: Aufgetragen sind die Ränge der Rechenzeit beim Laufen gegen die Ränge der Rechenzeit im Sitzen. Es ergab sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,81$. Auf der x-Achse sind die Ränge der Rechenzeit beim Sitzen angegeben, auf der y-Achse die Ränge beim Laufen. $n = 12$.

Die Rechenzeit, die die VPen im Sitzen benötigt haben, wurde als Vergleichsmaß verwendet. Es wurde getestet, ob die Laufzeiten der verschiedenen Versuchsbedingungen auch mit dieser Rechenzeit korrelierten. Wie man in Abbildung 3.13 sehen kann, korrelierten diese Zeiten nicht miteinander. Die erhaltenen Bestimmtheitsmaße sind alle sehr gering, so ergab sich beim Vergleich der Rechenzeit beim Sitzen mit der Laufzeit beim Subtrahieren der „2er“ ein $R^2 = 0,05$. Minimal höher lagen die Bestimmtheitsmaße bei den anderen Vergleichen. Der Vergleich mit der Laufzeit der „3er“ ergab $R^2 = 0,11$ und die Korrelation der Rechenzeit im Sitzen mit der Laufzeit „7er“ hatte $R^2 = 0,18$ als Resultat.

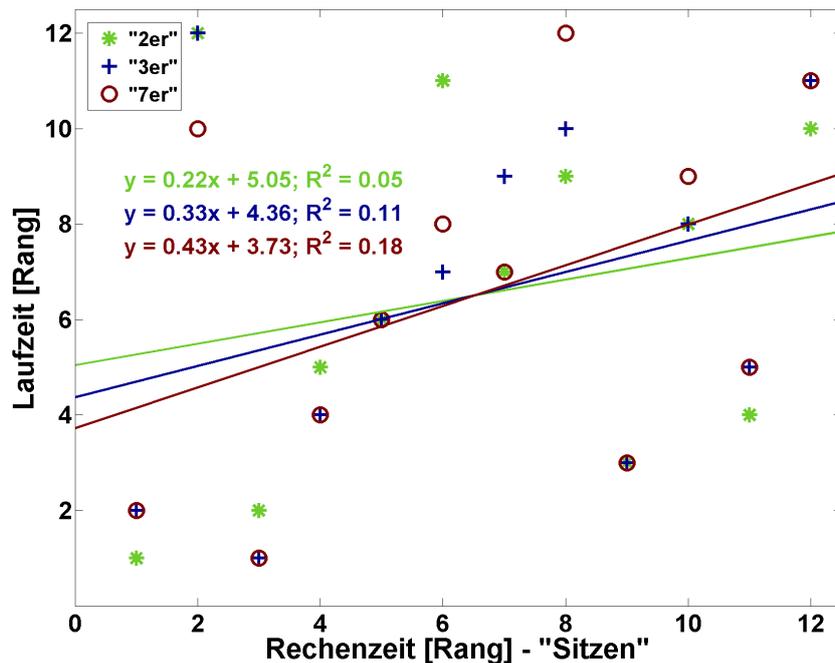


Abbildung 3.13.: Abgebildet sind die Ränge der Laufzeiten jeder Versuchsbedingung gegen die Ränge der Rechenzeit im Sitzen. Keine der 3 Versuchsbedingungen korreliert mit der Rechenzeit, es ergaben sich geringe Bestimmtheitsmaße zwischen $R^2 = 0,05$ und $R^2 = 0,18$. Auf der x-Achse sind die Ränge der Rechenzeiten im Sitzen aufgetragen, auf der y-Achse die Ränge der Laufzeit. $n = 12$.

3.3.4. Fragebogen

Nach Beendigung des Versuchs bekamen die VPen einen Fragebogen ausgehändigt (Anhang B.3). Unter anderem wurden in diesem folgende Fragen gestellt:

„Wie schwierig fandest du das Rückwärtszählen in „3er“-Schritten im Vergleich zu den „2er“-Schritten?“

„Wie schwierig fandest du das Rückwärtszählen in „7er“-Schritten im Vergleich zu den „2er“-Schritten?“

„Wie schwierig fandest du das Experiment?“

Die VPen sollten diese Fragen beantworten, indem sie eine Zahl zwischen 1-7 einkreisten. Dabei entsprach 1 „sehr leicht“ und 7 „sehr schwer“. Das Rückwärtszählen in „3er“-Schritten bewerteten 8 der 20 VPen mit „5“ und weitere 5 VPen kreuzten die „4“ an. Somit entfielen 2/3 der Antworten auf diese beiden Zahlen.

3: Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

Der Median über die Antworten aller VPen ergab „4“. Die VPen bewerteten somit das Abziehen von „3ern“ als schwieriger als das von „2ern“, aber nicht als sehr schwer. Die prozentualen Anteile, die auf die einzelnen Bewertungen entfielen, sind in Spalte 2 der Tabelle 3.1 aufgelistet. In der letzten Zeile der Tabelle wurde auch der Median angegeben.

Neben der Schwierigkeit des Rückwärtszählens in „3er“-Schritten wurde auch nach der Schwierigkeit in „7er“-Schritten gefragt (Spalte 3 in Tabelle 3.1). Die Bewertungsstufen lagen wieder zwischen 1 und 7. Diese Frage wurde von 13 VPen mit „6“ beantwortet, eine VP antwortete mit „6,5“ und 3 mit „7“. 85% der VPen bewerteten den Vergleich zwischen Abziehen in „2er“- und „7er“-Schritten als sehr schwer. Dies spiegelte auch der Median wieder, der bei „6“ liegt. Die niedrigste Bewertung, die für diese Frage abgegeben wurde lag bei „4“, somit wurde diese Versuchsbedingung eindeutig als schwieriger von den VPen eingestuft, als das Abziehen in „3er“-Schritten.

Neben den einzelnen Versuchsbedingungen sollten die VPen auch angeben, wie schwierig sie das Experiment insgesamt fanden, diese Frage wurde durchschnittlich mit „3“ beantwortet. Auch diese Ergebnisse wurden in Tabelle 3.1 (Spalte 4) aufgelistet. Die VPen bewerteten das Rückwärtszählen in „7er“-Schritten im Vergleich zum Abziehen von „2ern“ als sehr schwer, der gesamte Versuch wurde aber dennoch als relativ einfach eingestuft.

Tabelle 3.1.: Auswertung Fragebogen zu Versuch 1: Bewertung der Schwierigkeiten

Bewertung	Vgl. „3er“ mit „2er“	Vgl. „7er“ mit „2er“	Versuch insgesamt
1	5%	-	5%
2	10%	-	20%
2,5	-	-	5%
3	15%	-	40%
4	25%	10%	5%
5	40%	5%	20%
6	-	65%	-
6,5	-	5%	-
7	5%	15%	5%
Median	4	6	3

3.4. Diskussion

Bei diesem Versuch wurde durch das Rückwärtszählen die zentrale Exekutive zusätzlich beansprucht.

Bei der Analyse der Laufzeiten der einzelnen VPen im Ergebnisteil war zu beobachten, dass sich die Zeiten der VPen zum Teil sehr deutlich voneinander unterscheiden. Abgesehen von den individuellen Unterschieden in der Laufzeit, zeichnete sich aber eine Gemeinsamkeit in den Laufzeiten der 3 Versuchsbedingungen ab. Bei den meisten VPen war die Laufzeit in der „2er“-Bedingung am geringsten und erreichte den höchsten Wert bei den „7ern“. Der Unterschied in den Laufzeiten erwies sich nicht als signifikant, dennoch kann man von einem Trend sprechen. Möglicherweise kann ein signifikanter Unterschied in den Laufzeiten gezeigt werden, wenn die Anzahl der VPen etwas erhöht wird.

Bei den Laufgeschwindigkeiten wurde das gleiche Ergebnis beobachtet, sie nahmen von der „2er“- zur „7er“-Bedingung ab. Bei der statistischen Analyse ergab sich ein signifikanter Effekt zwischen den „2ern“ und „7ern“.

Die Laufgeschwindigkeiten wurden aus den Laufzeiten berechnet, welche sich als nicht signifikant verschieden erwiesen. Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, dass durch den Kehrwert in der Geschwindigkeitsberechnung keine 100%ige Korrelation zwischen Laufzeit und Laufgeschwindigkeit mehr vorliegt. Dieser geringe Unterschied reicht aus, um einen signifikanten Unterschied in den Laufgeschwindigkeiten zu erhalten.

Beim Vergleich der Laufgeschwindigkeiten der einzelnen Versuchsbedingungen konnte kein Lerneffekt zwischen den einzelnen Laufblöcken gezeigt werden. Aber es zeigte sich, dass die Laufgeschwindigkeiten der Bedingungen sehr stark miteinander korrelieren. VPen die in der „2er“-Bedingung langsamer gelaufen sind, wiesen auch in den beiden anderen Bedingungen langsamere Laufgeschwindigkeiten auf, als VPen die in der „2er“-Bedingung schneller waren. Somit kann man bereits Rückschlüsse auf die Laufgeschwindigkeiten in anderen Versuchsbedingungen ziehen, wenn man eine Laufgeschwindigkeit der VP kennt.

Das Abziehen von „2ern“ und „3ern“ korreliert am stärksten, dies lässt vermuten, dass bei diesen Dual Tasks ähnliche Prozesse in der zentralen Exekutive stattfinden.

Betrachtet man die prozentualen Anteile der korrekten Subtraktionen der VPen, so wird deutlich, dass der Versuch von allen VPen in allen Bedingungen gut zu bewerkstelligen war. Alle Bedingungen weisen sehr hohe Prozentzahlen auf, diese unterscheiden sich aber zwischen allen Bedingungen signifikant voneinander. Zwar haben die „7er“ auch eine sehr hohe Prozentzahl, dennoch ist ihr Subtrahieren schwieriger als das von „2ern“.

Auf einer Wegstrecke zwischen den beiden Stationen wurden mit Zunahme der Schwierigkeit weniger Subtraktionen ausgeführt. Neben der Abnahme der Laufgeschwindigkeit in der „7er“-Bedingung zeigt auch die geringere Anzahl an Subtraktio-

3: Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

nen sowie der geringere Anteil an richtigen Subtraktionen, dass diese Versuchsbedingung schwieriger war als die beiden anderen Bedingungen.

Die Zunahme in der Laufzeit und die Abnahme der Laufgeschwindigkeit stimmen mit der Hypothese überein, dass nur eine begrenzte Ressourcenkapazität zur Verfügung steht, die zwischen den Anforderungen, hier Laufen und Rechnen, geteilt werden muss (Barrouillet & Camos, 2007).

Die Laufgeschwindigkeit in der „2er“-Bedingung wird als normale Laufgeschwindigkeit der VPen angenommen, da Rückwärtszählen in „2er“-Schritten keine großen Anforderungen an die VPen stellt. Dies bestätigten auch alle VPen nach dem Experiment. Auf die Frage, ob sie beim „2er“-Subtrahieren rechnen mussten, antworteten die VPen ausnahmslos, dass diese Aufgabe automatisch und ohne rechnen auszuführen war. Diese Aussagen stimmen mit der Annahme überein, dass so genannte „templates“ für „2er“ im Gedächtnis vorhanden sind und dass diese jederzeit abgerufen werden können ohne das Ergebnis zuvor berechnen zu müssen. Auch das Subtrahieren von „3ern“ sollte keine allzu großen Anforderungen an die VPen stellen, dennoch sollte es etwas schwieriger sein, als das Abziehen in „2er“-Schritten. Diese Annahme kann durch die etwas niedrigeren Laufgeschwindigkeiten bestätigt werden. Im Fragebogen und im Gespräch mit den VPen gaben diese an, dass das „3er“-Abziehen schwieriger war als das „2er“-Abziehen, aber dass sie dennoch „nicht wirklich rechnen“ mussten. Anders sah das bei den „7ern“ aus, hier gaben, mit Ausnahme einer VP, alle an, dass sie rechnen mussten, um auf die nächste Zahl zu kommen und dass diese nicht wie bei den „2ern“ automatisch genannt werden konnten. Dieses Rechnen wirkte sich in einer langsameren Laufgeschwindigkeit aus.

Wenn die Hypothese, dass im Gedächtnis „templates“ für bestimmte Dinge vorhanden sind, zutrifft (Gobet, 1998), sollte kein Lerneffekt in den entsprechenden Versuchsbedingungen auftreten, da die „templates“ bereits zu Beginn des Versuches vorhanden sind und abgerufen werden können. Einige VPen äußerten nach dem Versuch, dass das Abziehen in „7er“-Schritten mit der Zeit etwas einfacher wurde, da sie nach einigen Subtraktionen die Zahlenfolge, die beim „7er“-Abziehen auftritt, kannten. Da die Zunahme der Laufgeschwindigkeiten aber nur sehr gering ist, kann man bei keiner Bedingung von einem allgemeinen Lerneffekt ausgehen.

Um die Ergebnisse der einzelnen VPen ideal vergleichen zu können, wäre es wünschenswert gewesen, dass alle VPen die gleiche Anzahl an Subtraktionen pro Wegstrecke durchführen. Um die Rechenleistungen der VPen einschätzen zu können und entsprechend an den Versuch anzupassen, wären weitere Vortests mit der jeweiligen VP nötig gewesen. Allerdings steht in dem Versuchsraum nur eine begrenzte Wegstrecke zur Verfügung, so dass es nicht möglich gewesen wäre, diese passend für alle VPen so zu ändern, dass von allen pro Wegstrecke gleich viele Zahlen subtrahiert werden.

Um dennoch die Rechenleistung vergleichen zu können, wurde ein Rechentest durchgeführt. Dieser Test wurde aber erst einige Zeit nach Beginn des Versuches eingeführt, so dass dieser Test nicht von allen VPen absolviert wurde. Bei diesem Rechentest wurde die Zeit gemessen, die die VPen benötigten, um 20 mal die Zahl

„7“ abzuziehen. Gleichzeitig wurden auch die Fehler protokolliert, die die VPen währenddessen machten. Die VPen mussten diesen Test zweimal durchführen, einmal im Sitzen und einmal beim Laufen. Den VPen wurde freigestellt, ob sie während dem Test wieder zwischen den beiden Stationen hin und herlaufen wollten oder stattdessen lieber eine andere Laufstrecke im Versuchsraum bevorzugten. Der Mittelwert der Rechenzeit beim Sitzen war niedriger als beim Laufen. Außerdem ergab sich ein hohes Bestimmtheitsmaß zwischen Rechnen im Sitzen und beim Laufen. Die Fehlerzahl, die von den VPen bei diesem Test gemacht wurden, lag beides mal bei ca. 1 Fehler, hier konnte kein Unterschied nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Rechenzeit durch eine weitere Aufgabe, in diesem Fall das Laufen, beeinflusst wird. Die VP kann nicht mehr alle Ressourcen für das Rechnen verwenden, da auch ein Teil für das Laufen benötigt wird. Folglich verlangsamt sich die Rechenzeit mit der die 20 Zahlen abgezogen werden.

Die Rechenzeit, die die VPen beim Abziehen von der Zahl „7“ im Sitzen benötigten, diente als Referenz für die allgemeine Rechenleistung der VPen. Es wurde untersucht, ob die Ränge der Rechenzeit auch mit den Rängen der Laufzeiten in den verschiedenen Bedingungen korrelierten. Hier konnte allerdings keine hohe Korrelation festgestellt werden.

In diesem Versuch wurde gezeigt, dass die Laufgeschwindigkeit unterschiedlich durch einen Dual Task beeinflusst wird. Wird als Dual Task eine Aufgabe gewählt, die, nach Aussage der VPen, „automatisch“ abläuft, wird die Laufgeschwindigkeit nicht oder nicht stark beeinflusst. Wird als Dual Task eine etwas schwierigere Aufgabe gewählt, führt das zu einer Abnahme der Laufgeschwindigkeit. Dieser „trade-off“ konnte auch in anderen Studien gezeigt werden (Hardiess et al., in Revision; Odoj, 2010; Woollacott & Shumway-Cook, 2002; Beauchet et al., 2005). Die Laufgeschwindigkeit in der „2er“-Bedingung wurde zwar als normale Laufgeschwindigkeit der VPen betrachtet, allerdings wurde die Geschwindigkeit der VPen nie ohne einen Dual Task gemessen. Idealerweise hätte die Geschwindigkeit auch gemessen werden müssen, wenn die VPen nur laufen. Dies war aber experimentell nicht durchführbar, ohne dass sich die VPen darüber bewusst geworden wären, dass es im Versuch eigentlich gar nicht um ihre Rechenleistungen sondern um ihre Laufgeschwindigkeit geht und dies hätte wiederum einen Einfluss auf die normale Geschwindigkeit gehabt. Deshalb wurde die „2er“-Bedingung als Referenzlaufgeschwindigkeit verwendet, auch wenn es durchaus möglich ist, dass die individuellen Laufgeschwindigkeiten noch etwas höher liegen als in der „2er“-Bedingung. Mit Zunahme der Schwierigkeit des Dual Tasks erfordert dieser mehr Aufmerksamkeit der VPen, so dass ein größerer Ressourcenanteil für den Dual Task benötigt wird und so nicht mehr für andere Prozesse verwendet werden kann. Dies äußert sich in einer Verschlechterung dieses Prozesses, in diesem Versuch in einer geringeren Laufgeschwindigkeit.

4. Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

4.1. Einleitung

In diesem zweiten Versuch soll untersucht werden, ob es eine Interferenz zwischen der visuellen Komponente des Arbeitsgedächtnisses mit Lokomotion gibt. Der Versuch besteht aus 2 Versuchsteilen. Im ersten Teil wird die Laufgeschwindigkeit der VPen untersucht und im zweiten Teil wird die Gedächtnisspanne mittels eines Corsi-Block-Tests gemessen.

In Teil a) des zweiten Versuchs wird die visuelle Komponente des Arbeitsgedächtnisses beansprucht. Diese wurde in dem Experiment von Hardiess et al. (in Revision) durch die verschiedenen Farben der Duplosteine beansprucht und könnte dadurch die Laufgeschwindigkeit verringert haben. Um die visuelle Komponente in diesem Versuchsteil zu beanspruchen, wurden den VPen, angelehnt an das Experiment von Meilinger et al. (2008), Uhrzeiten vorgespielt. Die VPen mussten sich diese Uhrzeiten bildlich vorstellen, um die Aufgabe, das Beurteilen der Zeigerstellung jeder Uhrzeit, ausführen zu können.

Bei diesem Versuch wurde angenommen, dass für einige Uhrzeiten „templates“ im Gedächtnis vorhanden sind und diese somit schneller und einfacher abzurufen sind, als andere Uhrzeiten.

In Teil b) absolvieren die VPen einen Corsi-Block-Test. Mit dem Corsi-Block-Test kann man die Gedächtnisspanne einer VP ermitteln. Dazu wird die Kapazität des visuell-räumlichen Notizblocks getestet (Kemps et al., 2000).

4.2. Material und Methoden 2a: Lokomotion und Dual Task

4.2.1. Versuchspersonen

In diesem Versuchsteil wurden insgesamt 29 VPen gemessen. Auch sie waren alle Studenten oder Angestellte der Universität Tübingen. Die ersten 9 VPen wurden aufgrund eines geänderten Versuchsaufbaus von der Auswertung ausgeschlossen.

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

Das Alter der VPen lag in einem Bereich von 18 bis 34 Jahren, mit einem Mittelwert von 24,6 Jahren (SD: $\pm 3,94$). Es wurden die Daten von zehn männlichen (MW: 24,4; SD: $\pm 3,72$) und zehn weiblichen (MW: 24,8; SD: $\pm 4,34$) VPen gemessen. Wie schon beim ersten Versuch erhielten auch diese Teilnehmer eine Vergütung von 8 € pro Stunde. Auch dieser Versuch dauerte ca. 30 Minuten.

Allen VPen stand es frei, den Versuch ohne Angabe von Gründen vorzeitig zu beenden.

4.2.2. Versuchsaufbau

Bei dem Versuch wurden dieselben Stationen wie in Versuch 1 verwendet. Anders als in Versuch 1 wurden die beiden Stationen in diesem Versuch allerdings nicht auf der grauen Markierung platziert, sondern ca. eine Druckerpapierkartonbreite dahinter, so dass die Stationen nun einen Abstand von ca. 6 m hatten. Diese Änderung war nötig, da die VPen während diesem Versuch einen Laptop auf dem Rücken trugen und durch die Verrückung der Stationen mehr Platz zum Umdrehen zur Verfügung stand. Die Strecke die später zur Ermittlung der Laufgeschwindigkeit verwendet wurde, war aber genau dieselbe wie in Versuch 1 (Abbildung 4.1).

Startpunkt jedes Versuchsteils war wieder Station A. Während die VPen von einer Station zur anderen liefen, bekamen sie über einen Kopfhörer der Marke *Philips* Uhrzeiten vorgespielt und mussten entscheiden, an welcher Position die Zeiger waren. Für die „leichten“ Uhrzeiten, wurden solche gewählt, bei denen beide Zeiger im gleichen Quadrant lagen. Außerdem wurden Uhrzeiten bevorzugt, deren Minutenzahl um eine volle bzw. halbe Stunde lag, z.B. 12:05, 12:25, 12:35 oder 12:55.

Als „schwere“ Uhrzeiten wurden diejenigen bezeichnet, deren Stunden- und Minutenzeiger in unterschiedlichen Quadranten lagen. Zudem wurden keine Zeiten mit den Stunden 6 oder 12 verwendet, da bei ihnen die Zeigerzuordnung zu einfach gewesen wäre.

Sowohl bei den „leichten“ als auch bei den „schweren“ Uhrzeiten wurden die Zahlen 3 und 9 bei den Stunden und 15 und 45 bei den Minuten vermieden, da bei diesen Uhrzeiten keine eindeutige Zuordnung der Zeiger in die obere oder untere Hälfte der Uhr möglich ist (Anhang C.5). Die Uhrzeiten wurden mit der Software *Audacity* (Version 1.2.6) und einem Headset der Marke *Ultron* aufgenommen. Zum Abspielen der Uhrzeiten wurde mit der Software *MATLAB*[®] (Version 7.10.0.499 (R2010a)) ein Programm erstellt, das mit jedem Klick der linken oder rechten Maustaste eine Uhrzeit wiedergab. Beim Drücken des Mausekorns ertönte „Ende des Trials“. Alle Tastendrucke der VPen wurden von dem Programm protokolliert.

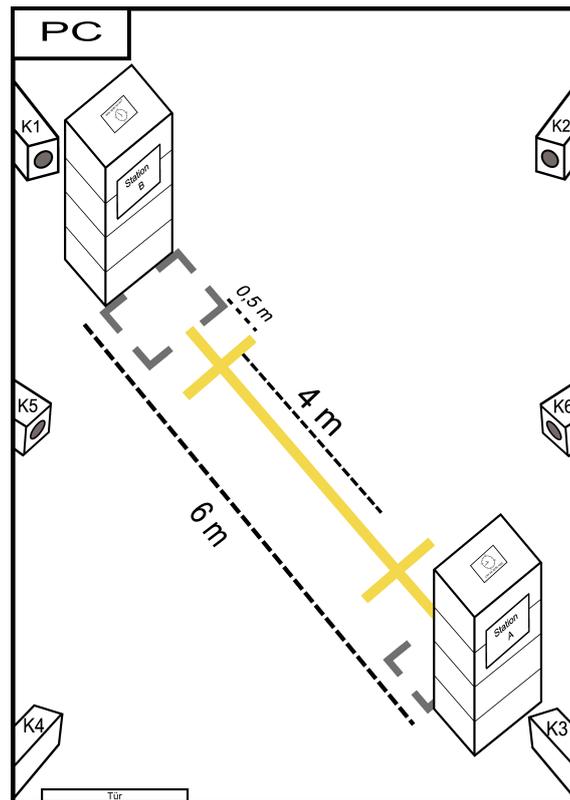


Abbildung 4.1.: Neuer Versuchsaufbau. Auf dem Bild ist der veränderte Versuchsaufbau schematisch dargestellt. Die beiden Stationen stehen nun mit einem Abstand von ca. 6 m zueinander. Mit K1-6 sind die 6 Infrarotkameras markiert. Die grauen Markierungen zeigen die ursprünglichen Positionen der Stationen A und B in Versuch 1. Die gelben Markierungen und die 4 m lange Teilstrecke sind unverändert zu denen in Versuch 1. Sowohl an Station A als auch an Station B befinden sich Karteikarten. Am PC wurden die Daten des Headtrackers gespeichert.

An Station A lag ein Stapel mit Karteikarten, die mit analogen Uhren bedruckt waren. Die Uhren waren in horizontaler oder vertikaler Richtung gespiegelt und zum Teil noch etwas gedreht dargestellt (Abbildung 4.2; Alle verwendeten Uhren sind im Anhang C.3 abgebildet). Die Uhren wurden in zufälliger Reihenfolge bei allen Versuchsbedingungen verwendet.

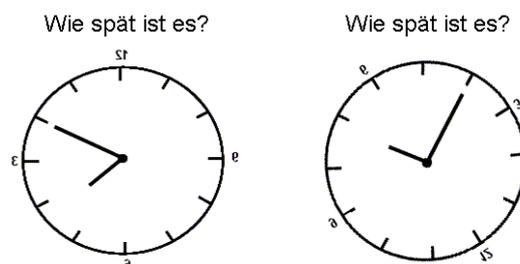


Abbildung 4.2.: Beispiele der gedrehten und gespiegelten Uhren.

Headtracker

Zur Aufnahme der Positionskoordinaten wurde wieder das Trackingsystems (*ARTtrack/ DTrack from A.R.T. GmbH, Weilheim, Deutschland*) aus Versuch 1 verwendet. Eine ausführlichere Beschreibung ist in Kapitel 3.2.2 zu lesen.

PC

Um die Uhrzeiten abspielen zu können, wurde ein Laptop (*Dell Precision M70, Intel Pentium M processor (1,73 GHz, 1 GB RAM)*) mit dem Betriebssystem *Microsoft Windows XP Professional (Version 2002, Service Pack 2)* verwendet. Der Laptop wurde auf einem Gestell befestigt, das von den VPen wie ein Rucksack aufgesetzt werden konnte (Abbildung 4.3).



Abbildung 4.3.: Tragegestell mit Laptop.

4.2.3. Versuchsdurchführung

Zunächst wurde den VPen der Ablauf des Versuches erklärt und danach durften sie sich die Lautstärke der präsentierten Uhrzeiten am Laptop einstellen. Die einzige Vorgabe war, dass die Anweisungen der Versuchsleiterin akustisch noch verstanden werden mussten. Anschließend füllten die VPen die Einverständniserklärung

(Anhang A.1) aus und lasen sich die Versuchsanleitung (Anhang C.1) durch. Traten Fragen auf, wurden diese geklärt, danach bekamen die VPen den Headtracker und den Laptop aufgesetzt und sie nahmen ihre Anfangsposition an Station A ein. Auch bei diesem Versuch wurden keine Probedurchgänge absolviert.

Der Versuch hatte 3 verschiedene Versuchsbedingungen, zum einen wurde eine Kontrollbedingung durchgeführt, zum anderen eine Bedingung mit „leichten“ und eine mit „schweren“ Uhrzeiten. Jede Versuchsbedingung bestand aus 6 Laufblöcken. Die unterschiedlichen Bedingungen mussten von allen Versuchspersonen absolviert werden, allerdings wurde die Reihenfolge randomisiert.

Aufgabe der VPen war es, zwischen den beiden Stationen A und B hin und her zu laufen bis sie das Signal zum Stoppen bekamen. Die Datenmessungen wurden jeweils gestartet, sobald die VPen ihre Startposition an Station A erreicht hatten und unterbrochen, wenn ein Laufblock beendet war. Pro Laufblock wurden die zurückgelegten Strecken zwischen den beiden Stationen im Bereich von 3-5 Strecken variiert. Insgesamt wurden bei den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ je 24 Strecken gelaufen. In der Kontrollbedingung wurden nur 2 Laufblöcke mit jeweils 5 Strecken zwischen den beiden Stationen, also insgesamt 10 Wegstrecken, durchgeführt.

Während des Laufens zwischen den beiden Stationen bekamen die VPen Uhrzeiten vorgespielt. Bei jeder Uhrzeit sollten die VPen entscheiden, ob sich die beiden Zeiger in der gleichen Hälfte der Uhr befanden, d.h. beide Zeiger befanden sich in der oberen oder beide Zeiger befanden sich in der unteren Hälfte, oder ob ein Zeiger in der oberen und der andere in der unteren Hälfte war. Befanden sich beide Zeiger in der gleichen Hälfte, mussten die VPen die linke Maustaste drücken, befanden sich die Zeiger in unterschiedlichen Hälften, die rechte Maustaste. Die Entscheidungen sollten so zügig wie möglich gegeben werden. Je nach Entscheidung wurde die linke oder rechte Maustaste gedrückt und die nächste Uhrzeit war zu hören. Die VPen liefen solange zwischen den Stationen hin und her und klickten die Maustasten, bis das Stoppsignal gegeben wurde. Nun drückten sie das Mousrad und hörten „Ende des Trials“. Dies war das Signal zurück zu Station A zu gehen.

An Station A mussten die VPen vor jedem Laufblock eine Karteikarte bearbeiten, währenddessen wurde die Datenmessung für den neuen Laufblock gestartet. Die Ablenkungsaufgabe auf der Karteikarte bestand darin, die dargestellte gedrehte und gespiegelte Uhrzeit zu erkennen und laut zu nennen. Bei jeder dargestellten Uhrzeit mussten die VPen entscheiden, wo sich die Zeiger auf dem Uhrenblatt befinden. Je nach Entscheidung wurde die linke oder rechte Maustaste gedrückt und die nächste Uhrzeit war zu hören. Die dargestellte Uhrzeit diente somit zum Starten des Programms, das die weiteren Uhrzeiten abspielte. Sobald die VPen die Maustaste gedrückt hatten, liefen sie zu Station B und hörten gleich wieder eine neue Uhrzeit. Anders als in Versuch 1 gab es bei diesem Versuch Unterschiede bei der Durchführung zwischen den 3 Versuchsbedingungen. Die Abläufe bei den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ wurden wie beschrieben durchgeführt. Bei der Bedingung „Kontrolle“ gab es nicht nur an Station A einen Stoß mit Karteikarten, sondern auch einen an Station B. An Station A lagen 3 und an Station B 2 Karten. Anders als bei den anderen 2 Bedingungen waren auf diesen Karteikarten keine gedrehten Uhren,

sondern ganz normale Uhren abgebildet (Anhang C.4). Die Kontrollbedingung startete auch an Station A. Die VPen nahmen die oberste Karte vom Stapel und liefen gleich los zu Station B. Während sie zur anderen Station liefen, beurteilten sie, ob sich die Zeiger der abgebildeten Uhrzeit in der gleichen Hälfte der Uhr befanden oder nicht. An Station B angekommen nahmen sie eine Karte von diesem Stapel und liefen zurück zu Station A, während sie erneut die Zeigerstellung bewerteten. In der Kontrollbedingung wurden 2 Laufblöcke mit jeweils 5 Karteikarten durchgeführt, so dass insgesamt 10 Wegstrecken zurückgelegt wurden.

Am Ende des Versuchs bekamen die VPen einen kurzen Fragebogen mit der Bitte ihn auszufüllen (Anhang C.6).

4.2.4. Auswertung

Die Laufgeschwindigkeiten wurden wieder mit der 4 m langen Teilstrecke bestimmt, die auch in Versuch 1 verwendet wurde (Abbildung 4.1). Die Auswertung der Laufgeschwindigkeiten und Mausklicks der Versuchspersonen erfolgte mit *MATLAB*[®] (Version 7.10.0.499 (R2010a)). Die statistischen Analysen wurden ebenfalls mit *MATLAB*[®] (Version 7.10.0.499 (R2010a)) durchgeführt. Die Laufzeiten und Laufgeschwindigkeiten wurden mit dem Lilliefors-Test auf Normalverteilung geprüft. Es ergab sich eine Normalverteilung der Daten, so dass für die weitere Auswertung parametrische Tests angewandt wurden. Alle VPen absolvierten jede Versuchsbedingung, dabei zeigten sich zum Teil deutliche Unterschiede in den Laufgeschwindigkeiten der VPen. Um nur die Varianz bezüglich der Laufgeschwindigkeit zwischen den Bedingungen und nicht zwischen den VPen zu berücksichtigen, wurde das Experiment als Within-Subject Design angelegt und mit einer One-Way Within-Subject ANOVA statistisch analysiert. Ergab sich bei den Daten eine Signifikanz wurde als Post-hoc Test ein Holm-Sidak Multiple t-Test durchgeführt.

4.3. Material und Methoden 2b: Corsi-Block-Test

4.3.1. Versuchspersonen

Der Corsi-Block-Test wurde von 18 der 20 VPen durchgeführt, die auch in Versuch 2a teilgenommen hatten. Dieser Versuchsteil wurde erst einige Zeit nach dem Laufexperiment durchgeführt, so dass die Versuchspersonen noch einmal zum Experiment vorbei kommen mussten. Bei 2 VPen war dies nicht mehr möglich, da sie zwischenzeitlich umgezogen waren.

4.3.2. Versuchsaufbau

Der Corsi-Block-Test wurde mit der Software *MATLAB*[®] (*Version 7.10.0.499 (R2010a)*) programmiert. Es wurden 5 verschiedene Muster mit jeweils 10 Quadraten erstellt. Anschließend wurden diese Muster gespiegelt, so dass insgesamt 10 verschiedene Anordnungen der Quadrate zur Verfügung standen (Anhang E). Die Anzeige der Muster wurde zufällig ausgewählt. In den Quadraten leuchteten nacheinander für jeweils 1 Sekunde zwischen 3 und 10 grüne Kreise in randomisierter Reihenfolge auf (Abbildung 4.4).

PC

Der Corsi-Block-Test wurde an einem *Apple Mac mini*, *Intel Core 2 T5600* (2x 1,83 GHz, 1,96 GB RAM) mit dem Betriebssystem *Microsoft Windows XP Professional* (*Version 2002, Service Pack 3*) durchgeführt. Die Muster wurden an einem 19" TFT Monitor von *Samsung* (SyncMaster 931BF) gezeigt.

4.3.3. Versuchsdurchführung

Die VPen wurden gebeten, am Mac den Corsi-Block-Test zu machen. Zunächst wurde ihnen erklärt, wie der Versuch ablaufen wird. Anschließend hatten sie die Möglichkeit in 3 Probedurchgängen den Ablauf zu testen, bevor der richtige Versuchsteil begann. Den Versuchspersonen wurde ein Muster aus 10 weißen Quadraten gezeigt (Abbildung 4.4). In den Quadraten leuchteten nacheinander für 1 Sekunde grüne Kreise auf und die VPen sollten sich die Reihenfolge der Quadrate merken, in denen die Kreise präsentiert wurden. Nachdem alle Kreise angezeigt waren, erschien am Bildschirm „Klicke die gezeigte Reihenfolge nach“. Klickte die VP in das richtige Quadrat, leuchtete in diesem erneut ein grüner Kreis auf. Klickte sie in ein falsches Quadrat, leuchtete in dem Quadrat, das eigentlich richtig gewesen wäre, ein roter Kreis auf (Abbildung 4.4).

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

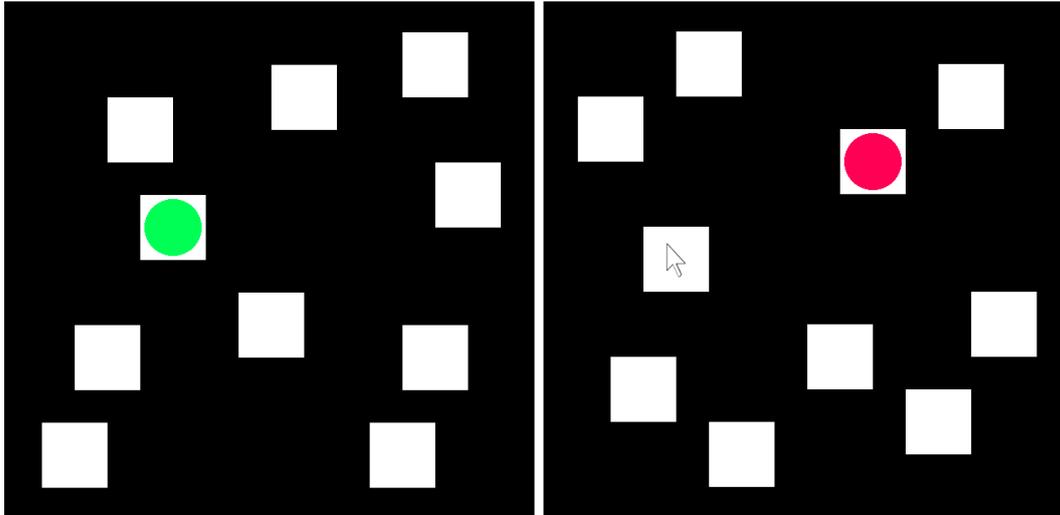


Abbildung 4.4.: Corsi-Block-Test. Links: Musteranordnung mit grünem Kreis bei Präsentation einer neuen Reihenfolge bzw. nach einem richtigen Mausklick. Rechts: Roter Kreis nach einem falschen Mausklick. In das Quadrat mit dem Mauscursor wurde fälschlicherweise geklickt, richtig wäre das Quadrat gewesen, in dem der rote Kreis angezeigt wird.

Die VPen konnten solange Quadrate anklicken, bis die jeweilige Zahl der präsentierten Kreise erreicht war. Wurden z.B. 5 Kreise angezeigt, mussten die VPen auch 5 Quadrate anklicken, bevor eine neue Reihenfolge an Kreisen präsentiert wurde und der nächste Durchgang begann. Dabei spielte es keine Rolle, wie viele der 5 Quadrate richtig oder falsch angeklickt wurden. Nach jeweils 3 Durchgängen wurde die Anzahl der Kreise um 1 erhöht, wenn die VPen wenigstens einmal die richtige Folge nachgeklickt hatten. Jede Erhöhung wurde den VPen am Bildschirm angezeigt, so dass sie jederzeit wussten, wie viele Kreise als nächstes aufleuchten werden. Gestartet wurde mit 3 Kreisen. Beendet wurde der Versuch, wenn die VPen die Reihenfolge in einer Bedingung nicht mehr korrekt nachklicken konnten oder wenn die Maximalanzahl von 10 Kreisen erreicht war.

4.3.4. Auswertung

Um die Gedächtnisspanne der VPen zu ermitteln, wurden alle richtigen Durchgänge addiert. Zu diesem Ergebnis wurden zusätzlich noch 6 addiert, die für die Anzahl der Durchgänge für die Bedingungen mit 1 bzw. 2 Kreisen, die nicht durchgeführt wurden, standen. Die Gesamtsumme wurde durch 3 geteilt und ergab die Gedächtnisspanne der VPen.

4.4. Ergebnisse 2a: Lokomotion und Dual Task

4.4.1. Lokomotion

In diesem Versuchsteil wurden ursprünglich 29 VPen gemessen. Allerdings wurde nach 9 VPen die Versuchsdurchführung etwas abgeändert, so dass die Daten dieser VPen nicht mehr für die Auswertung verwendet werden konnten, da für den Vergleich mit den restlichen VPen die Bedingung „Kontrolle“ gefehlt hätte. Es wurden entsprechend nur die Daten der letzten 20 VPen ausgewertet.

Der Vergleich der Laufzeiten der einzelnen VPen ergab zum Teil beträchtliche Unterschiede. Trotzdem benötigten alle VPen in der Kontrollbedingung am wenigsten Zeit um von einer Station zur anderen zu laufen. Die einzige Ausnahme ist VP 1, sie war in der Bedingung „Schwer“ schneller als in der „Kontrolle“ (Abbildung 4.5 oben). Der Vergleich der Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ bei den einzelnen VPen ergab, dass die Bedingung „Leicht“ entweder schneller ist als die Bedingung „Schwer“ oder dass es fast keinen Unterschied zwischen beiden gibt. Lediglich 3 VPen waren bei „Schwer“ schneller als bei „Leicht“. Durchschnittlich benötigten die VPen 4,04 s (SD: $\pm 0,63$) in der Kontrollbedingung. In der Bedingung „Leicht“ stieg die Zeit auf 5,19 s (SD: $\pm 1,14$) und erhöhte sich bei „Schwer“ nochmals etwas auf 5,37 s (SD: $\pm 1,27$) (Abbildung 4.5 unten). Der Test einer One-Way Within-Subject ANOVA ergab einen signifikanten Unterschied ($F(2,38) = 37,8$; $p < 0,001$). Der anschließende Holm-Sidak Multiple t-Test ergab jeweils ein $p < 0,001$ beim Vergleich zwischen „Kontrolle“ und „Leicht“ sowie zwischen „Kontrolle“ und „Schwer“. Die Zeiten in „Leicht“ sind zwar tendenziell schneller als in „Schwer“, dieser Trend erwies sich aber nicht als signifikant ($p = 0,27$).

Aus den Laufzeiten wurden die Laufgeschwindigkeiten der VPen ermittelt. Entsprechend der Unterschiede bei den Laufzeiten, sind auch die Laufgeschwindigkeiten der einzelnen VPen sehr unterschiedlich zueinander (Abbildung 4.6 oben). Der Mittelwert der Laufgeschwindigkeiten lag in der Kontrollbedingung bei 3,68 km/h (SD: $\pm 0,54$). In den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ sank die Geschwindigkeit auf 2,90 km/h (SD: $\pm 0,57$) bzw. 2,82 km/h (SD: $\pm 0,58$) (Abbildung 4.6 unten). Auch hier ergab die One-Way Within-Subject ANOVA einen signifikanten Unterschied ($F(2,38) = 78,86$; $p < 0,001$). Der Post-hoc Test zeigte, dass diese Signifikanz jeweils zwischen der „Kontrolle“ mit den beiden anderen Bedingungen auftrat. Zwischen „Leicht“ und „Schwer“ konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p = 0,25$).

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

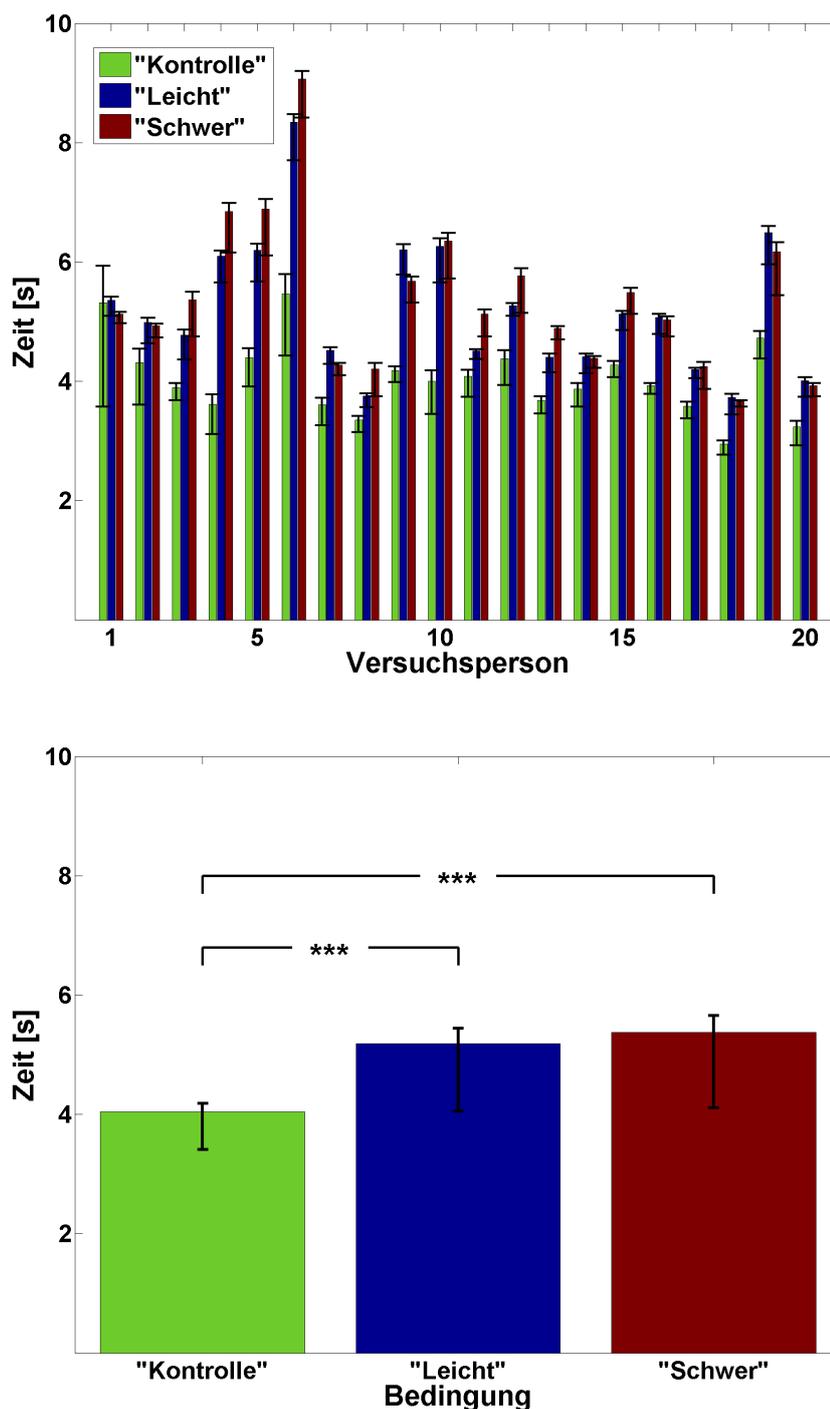


Abbildung 4.5.: Gemittelte Laufzeiten aller Bedingungen. Oben: Aufgetragen sind die gemittelten Laufzeiten jeder Versuchsperson, die sie für die 4 m lange Teilstrecke bei den 3 verschiedenen Bedingungen benötigte. Auf der x-Achse sind die VPen aufgetragen und auf der y-Achse die Zeit in Sekunden. Unten: Die Laufzeiten gemittelt über alle VPen. Die benötigte Zeit pro Strecke nimmt unter den Bedingungen zu. Die Laufzeit in der Kontrollbedingung unterscheidet sich signifikant von den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“. Auf der x-Achse sind die Versuchsbedingungen aufgetragen, auf der y-Achse die Zeit in Sekunden. $n = 20$.

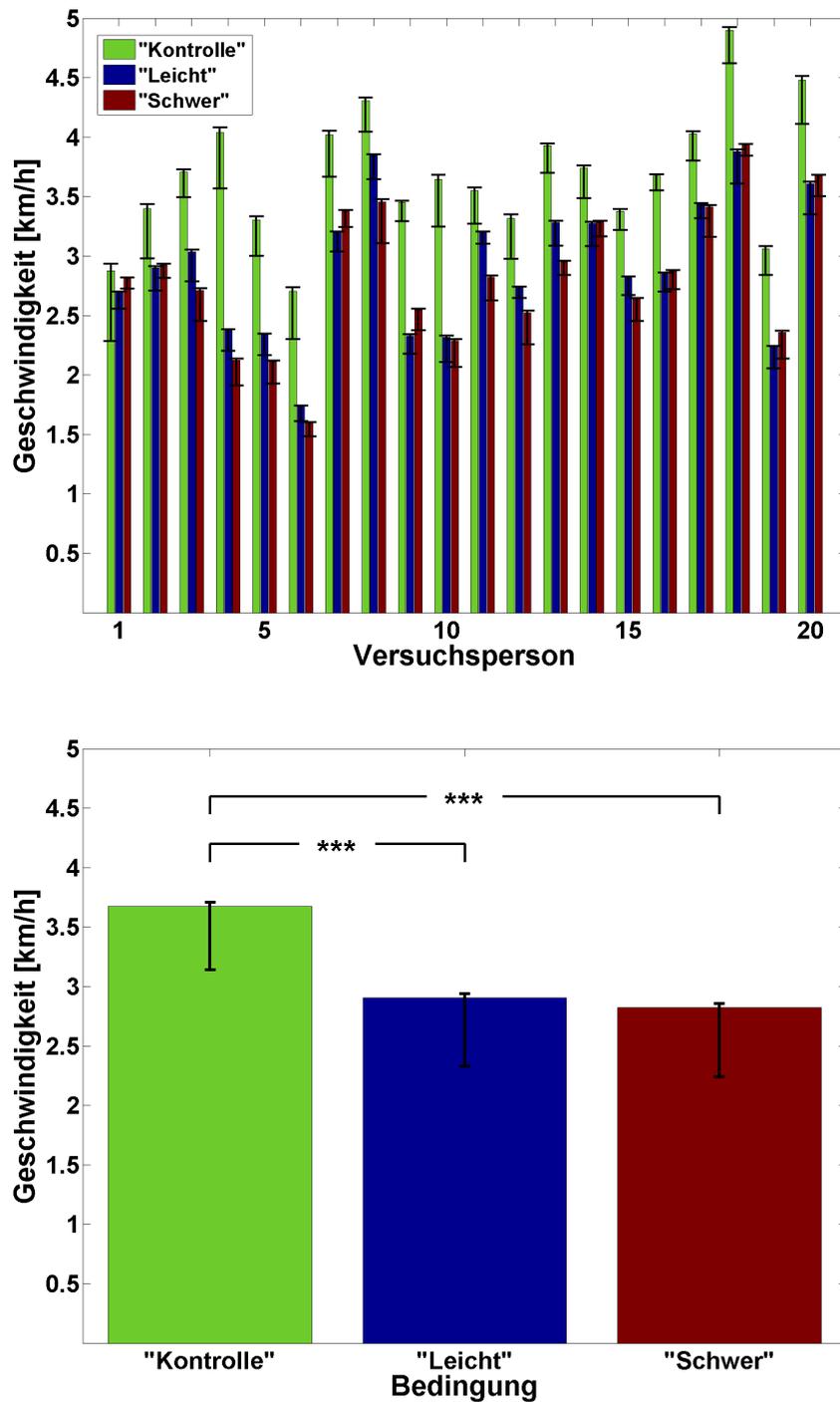


Abbildung 4.6.: Gemittelte Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen. Oben: Abgebildet sind die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten jeder Versuchsperson bei den einzelnen Bedingungen. Auf den Achsen sind die Versuchspersonen und die Laufgeschwindigkeiten in km/h angegeben. Unten: Die Laufgeschwindigkeiten gemittelt über alle VPen. Die Laufgeschwindigkeiten nehmen zwischen den einzelnen Versuchsbedingungen ab. Die Laufgeschwindigkeit in der Kontrollbedingung ist signifikant verschieden zu den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“. Auf der x-Achse sind die Versuchsbedingungen aufgetragen, auf der y-Achse die Geschwindigkeit in km/h. $n = 20$.

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

Der Vergleich der Laufgeschwindigkeiten in den einzelnen Laufblöcken zeigte, dass die Geschwindigkeit in der Bedingung „Leicht“ immer etwas höher lag als in der Bedingung „Schwer“ (Abbildung 4.7). In der Kontrollbedingung wurden nur 2 Laufblöcke durchgeführt. Jeder dieser Laufblöcke beinhaltete 5 Wegstrecken und nicht 3-5 wie bei den beiden anderen Versuchsbedingungen. Die Laufgeschwindigkeiten lagen in der „Kontrolle“ mit 3,60 km/h (SD: $\pm 0,55$) bzw. 3,75 km/h (SD: $\pm 0,54$) deutlich über den Geschwindigkeiten in „Leicht“ (2,82 km/h (SD: $\pm 0,66$) bzw. 2,89 km/h (SD: $\pm 0,59$)). In der Bedingung „Schwer“ lagen die Geschwindigkeiten in den ersten beiden Laufblöcken bei 2,75 km/h (SD: $\pm 0,62$) bzw. 2,79 km/h (SD: $\pm 0,60$). Auch bei den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ war der erste Laufblock derjenige mit der geringsten Geschwindigkeit. Die höchste Geschwindigkeit wies bei „Leicht“ Laufblock 5 mit 2,97 km/h (SD: $\pm 0,59$) auf, in „Schwer“ waren es die Laufblöcke 4 und 6 mit jeweils 2,85 km/h (SD: $\pm 0,59$ bzw. SD: $\pm 0,58$). Eine One-Way Within-Subject ANOVA über die gemittelten Laufgeschwindigkeiten der einzelnen Bedingungen ergab für die beiden Laufblöcke in der Kontrollbedingung einen signifikanten Unterschied ($F(1,19) = 9,64$; $p < 0,01$). In den beiden Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ ergab die One-Way Within-Subject ANOVA keinen Unterschied („Leicht“: $F(5,95) = 1,2$; $p = 0,31$; „Schwer“: $F(5,95) = 1,11$; $p = 0,36$).

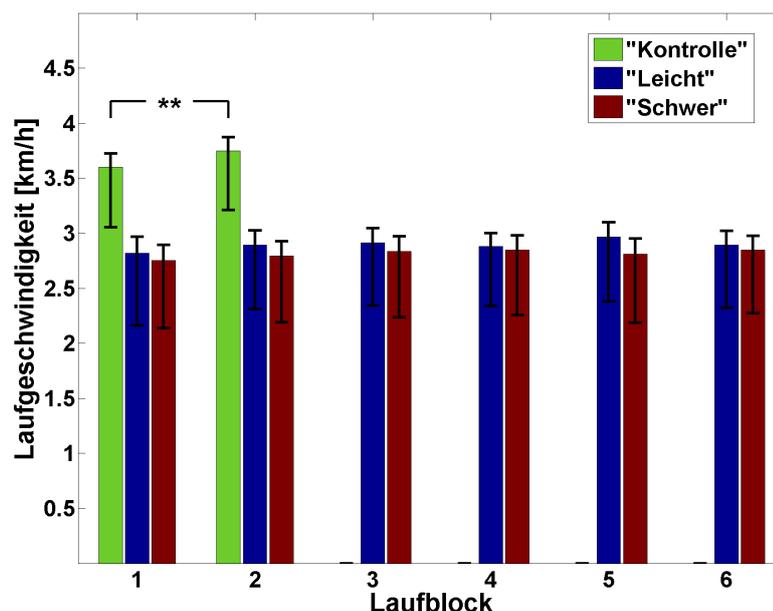


Abbildung 4.7.: Gemittelte Laufgeschwindigkeiten über alle VPen pro Laufblock und Versuchsbedingung. In der Kontrollbedingung unterscheidet sich Laufblock 1 signifikant von Laufblock 2. Auf der x-Achse sind die 6 Laufblöcke aufgetragen, auf der y-Achse die gemittelte Geschwindigkeit in km/h über alle VPen. Bei allen Laufblöcken nimmt die Geschwindigkeit von „Kontrolle“ zu „Schwer“ ab. $n = 20$.

Um festzustellen, ob es eine Korrelation zwischen den Laufgeschwindigkeiten der Bedingungen gibt, wurden die gemittelten Laufgeschwindigkeiten der VPen

in der „Kontrolle“ gegen die gemittelten Laufgeschwindigkeiten der VPen in der Bedingung „Leicht“ aufgetragen. Auch die Laufgeschwindigkeiten „Kontrolle“ und „Schwer“ sowie „Leicht“ und „Schwer“ wurden gegeneinander aufgetragen (Abbildung 4.8). Aus den Vergleichen der „Kontrolle“ mit „Leicht“ bzw. „Schwer“ resultierte ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,63$ bzw. $R^2 = 0,60$. Die höchste Korrelation ergab sich beim Vergleich zwischen den Laufgeschwindigkeiten „Leicht“ und „Schwer“ mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,89$.

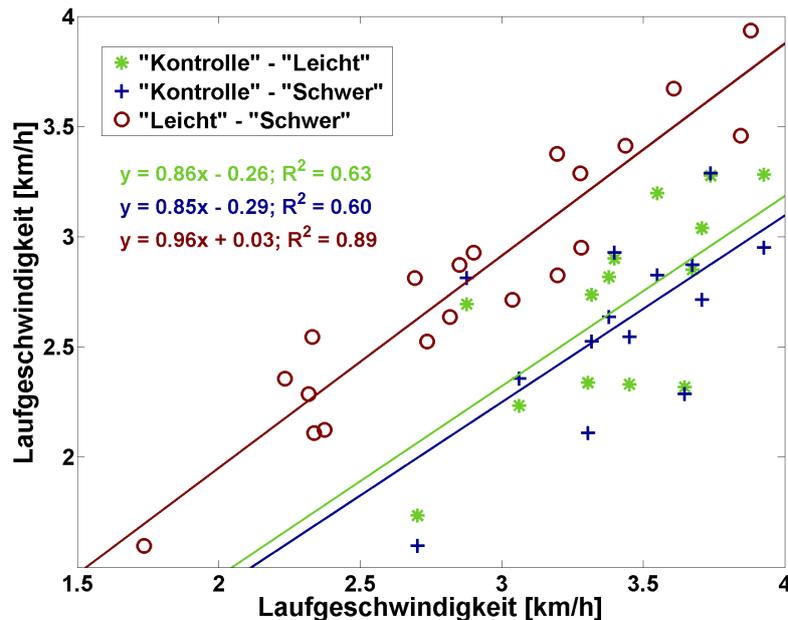


Abbildung 4.8.: Korrelation der Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen. Die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten der VPen einer Versuchsbedingung sind gegen die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten der VPen in einer anderen Bedingung aufgetragen. Korreliert wurden die Bedingungen „Kontrolle“ und „Leicht“, „Kontrolle“ und „Schwer“ sowie „Leicht“ und „Schwer“. Die Vergleiche mit der „Kontrolle“ korrelieren, es ergab sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,63$ bzw. $R^2 = 0,60$. Die Korrelation zwischen den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ ergab sogar ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,89$. Auf den Achsen wurde jeweils die Geschwindigkeit in km/h aufgetragen. $n = 20$.

4.4.2. Dual Task

Beim Hin und Herlaufen zwischen den Stationen A und B bekamen die VPen Uhrzeiten vorgespielt. Sie mussten entscheiden ob sich beide Uhrzeiger in der gleichen Hälfte der Uhr (oben bzw. unten) befanden oder nicht und per Mausklick ihre Antwort geben. Sofort hörten sie eine neue Uhrzeit. Da bei 2 VPen beim Programm, das die Mausklicks protokollierte, Probleme auftraten, sind diese 2 VPen aus der nachfolgenden Auswertung ausgeschlossen worden.

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

In der „Leicht“-Bedingung klickten die VPen durchschnittlich 56,33 mal (SD: $\pm 14,20$). In der „Schwer“-Bedingung sank die Anzahl auf 49,67 Mausklicks (SD: $\pm 13,78$). Ein gepaarter t-Test zwischen den beiden Bedingungen ergab einen signifikanten Unterschied mit $p < 0,01$ (t-Test: $t(17) = 3,03$; $p < 0,01$; SD: 9,35). Von den Klicks wurden unter „Leicht“ 51,33 (SD: $\pm 14,67$) richtig geklickt, unter „Schwer“ waren es durchschnittlich 43,5 (SD: $\pm 15,31$) richtige Klicks. Auch der Vergleich zwischen der Anzahl an richtigen Klicks ergab eine Signifikanz (t-Test: $t(17) = 2,61$; $p < 0,05$; SD: 12,76).

In der Kontrollbedingung mussten die VPen pro Laufblock 5 mal sagen, wo sich die Zeiger der abgebildeten Uhren befanden. Von diesen 10 Antworten wurden im Schnitt 9,72 (SD: $\pm 0,57$) richtig gemacht.

Aus diesen Werten wurde berechnet, wie hoch der prozentuale Anteil der richtigen Antworten in jeder Bedingung war. Für die Kontrollbedingung ergab sich ein Wert von 97,22% (SD: $\pm 5,75$), in der „Leicht“-Bedingung sank der Anteil auf 90,37% (SD: $\pm 6,95$) und in der Bedingung „Schwer“ wurden nur noch 85,73% richtig gemacht. Die Werte sind in Abbildung 4.9 abgebildet. Die „Kontrolle“ wurde von den beiden anderen Bedingungen durch einen Strich getrennt, da die Anforderungen an die VPen in diesem Versuchsteil anders waren als bei den beiden anderen Bedingungen.

Durch eine One-Way Within-Subject ANOVA wurde eine Signifikanz belegt ($F(2,34) = 8,8$; $p < 0,001$). Zwischen „Kontrolle“ und „Schwer“ ermittelte der durchgeführte Holm-Sidak Multiple t-Test ein $p < 0,001$. Der Vergleich zwischen „Kontrolle“ und „Leicht“ ergab ein $p < 0,05$. Zwischen „Leicht“ und „Schwer“ konnte keine Signifikanz festgestellt werden ($p = 0,10$).

Neben der Genauigkeit, mit der die VPen die Bedingungen durchführten, wurde auch ermittelt, wie oft in der Sekunde sie beim Laufen von einer Station zur anderen eine Maustaste drückten. Diese Auswertung konnte allerdings nur für die Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ gemacht werden, da in der Kontrollbedingung keine Tasten gedrückt wurden, sondern die Antworten mündlich gegeben wurden.

Das Klickverhalten der VPen unterschied sich zum Teil sehr stark voneinander. So klickten zum Beispiel die VPen 9 und 13 ca. 3-mal so häufig wie VP 10. Bis auf 5 VPen drückten alle VPen bei der „Leicht“-Bedingung öfter als bei der Bedingung „Schwer“ (Abbildung 4.10 oben). Während der „Leicht“-Bedingung wurde durchschnittlich 0,43 mal pro Sekunde (SD: $\pm 0,10$) eine Antwort gegeben, in der „Schwer“-Bedingung waren es lediglich 0,34 mal (SD: $\pm 0,12$) (Abbildung 4.10 unten). Auch das Ergebnis dieses Vergleiches war ein signifikanter Unterschied, der gepaarte t-Test ergab ein $p < 0,01$ ($t(17) = 3,07$; $p < 0,01$; SD: 0,11).

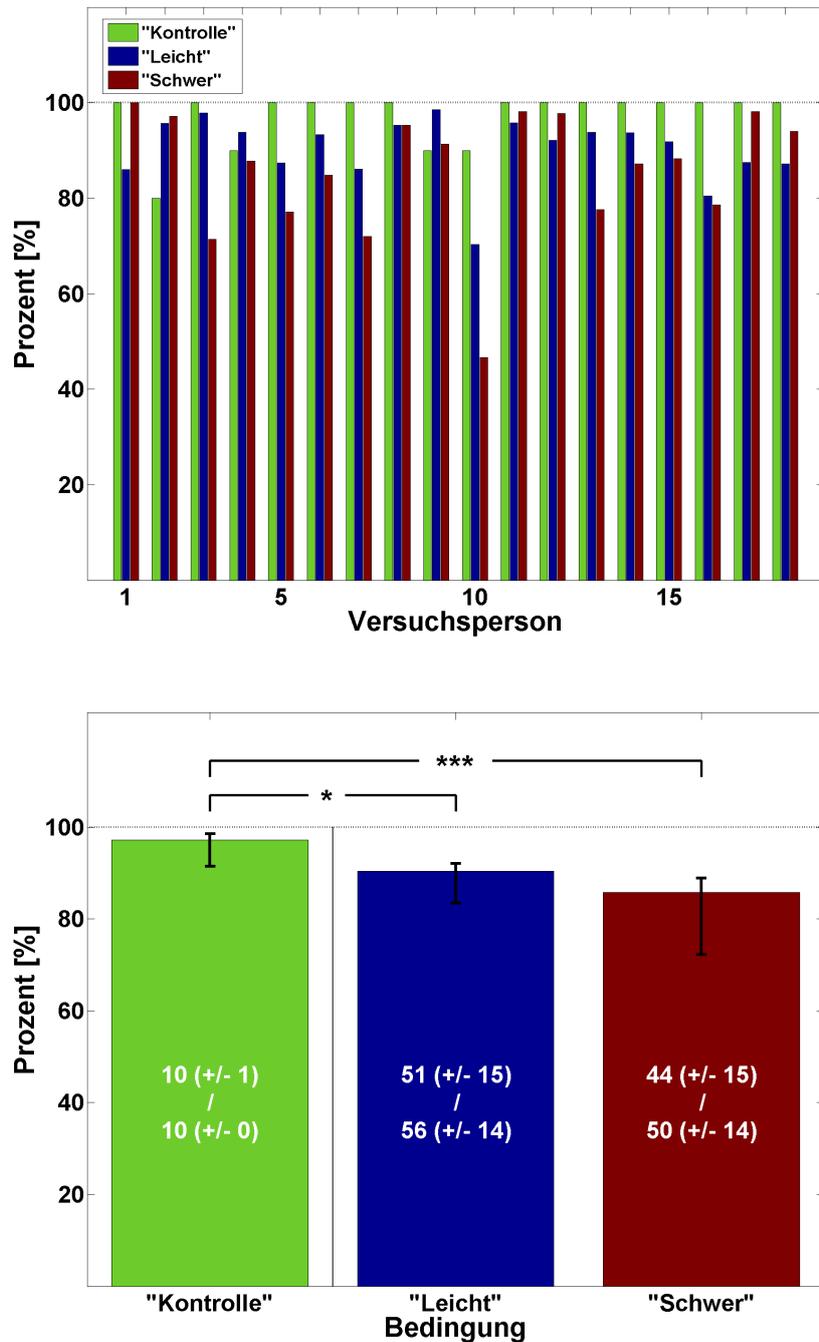


Abbildung 4.9.: Prozentualer Anteil der richtigen Klicks in jeder Bedingung. Oben: Prozentualer Anteil der richtigen Klicks jeder VP. Die VPen sind auf der x-Achse aufgetragen, die Prozente auf der y-Achse. Unten: Prozentualer Anteil gemittelt über alle VPen. Die erste Zahl in den Balken gibt die richtigen Klicks an. Die zweite Zahl gibt die Gesamtzahl an Klicks an. In Klammern ist die Standardabweichung angegeben. Die angegebenen Zahlenwerte wurden gerundet. Die Kontrollbedingung unterscheidet sich signifikant von den beiden anderen Bedingungen. Auf der x-Achse sind die Bedingungen angegeben, auf der y-Achse die Prozente. Die „Kontrolle“ wurde mit der Linie von den beiden anderen Bedingungen getrennt, da dieser Versuchsteil anders durchgeführt wurde. $n = 18$.

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

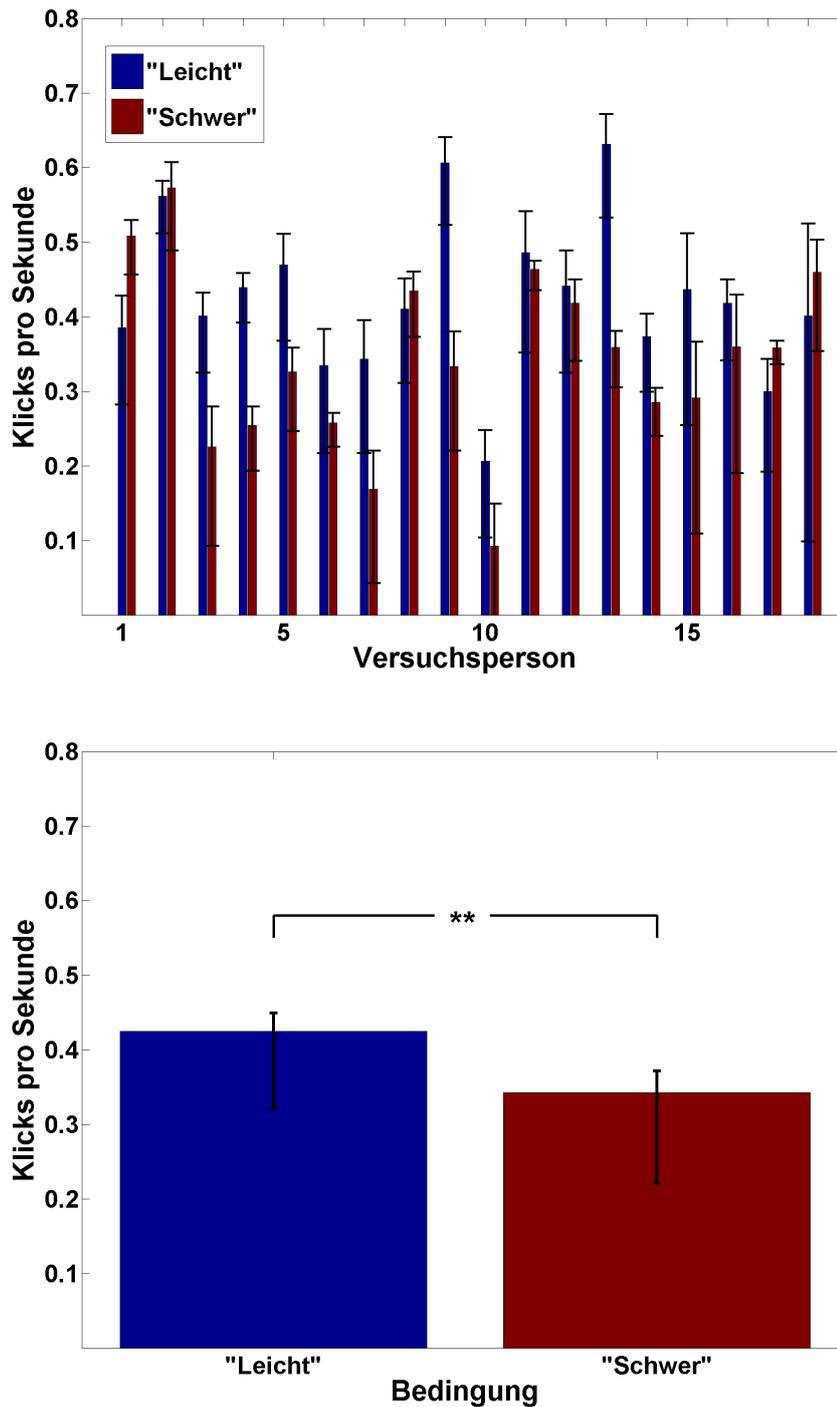


Abbildung 4.10.: Klicks pro Sekunde. Oben: Abgebildet ist die durchschnittliche Anzahl an Klicks, die jede Versuchsperson pro Sekunde in den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ getätigt hat. Die Versuchspersonen sind auf der x-Achse aufgetragen, die Klicks pro Sekunde auf der y-Achse. Unten: Durchschnittliche Anzahl an Klicks pro Sekunde gemittelt über alle VPen. Die beiden Bedingungen unterscheiden sich signifikant. Auf der x-Achse ist die Bedingung dargestellt, auf der y-Achse die gemittelte Anzahl an Klicks pro Sekunde. $n = 18$.

Abschließend wurde getestet, ob sich das Klickverhalten der VPen über die einzelnen Laufblöcke veränderte. Um dies zu ermitteln wurde von der jeweiligen Anzahl an Klicks der Laufblöcke 2-5 die Anzahl der Klicks aus Laufblock 1 subtrahiert. Bei „Leicht“ konnte keine kontinuierliche Zunahme der Klicks zwischen den Laufblöcken festgestellt werden (Abbildung 4.11 oben). Zwar stieg die normierte Anzahl an Klicks pro Sekunde bei den Laufblöcken 2 und 3 zunächst von 0,095 (SD: $\pm 0,12$) auf 0,12 (SD: $\pm 0,15$) an, fiel dann aber bei Laufblock 4 auf 0,068 (SD: $\pm 0,14$) ab. In Laufblock 5 stieg die Anzahl wieder auf 0,13 (SD: $\pm 0,18$), aber im Laufblock 6 erniedrigte sich der Wert wieder auf 0,12 (SD: $\pm 0,13$).

Beim Vergleich der Klicks bei den einzelnen VPen konnte bei 3en eine tendenzielle Zunahme der Klicks innerhalb der Laufblöcke festgestellt werden (Die Klicks pro Sekunde der VPen in allen Laufblöcken sind in Anhang C.2 dargestellt). Anders sah es bei der Bedingung „Schwer“ aus (Abbildung 4.11 unten). Hier stieg die Anzahl an normierten Klicks von Laufblock 2 (0,037 (SD: $\pm 0,13$)) über die Laufblöcke 3-5 an und erreichte den Maximalwert von 0,11 Klicks pro Sekunde (SD: $\pm 0,15$) in Laufblock 6. Vergleicht man in der „Schwer“-Bedingung die Klicks der einzelnen VPen in den 6 Laufblöcken, lässt sich bei 6 eine tendenzielle Zunahme erkennen (Anhang C.2).

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

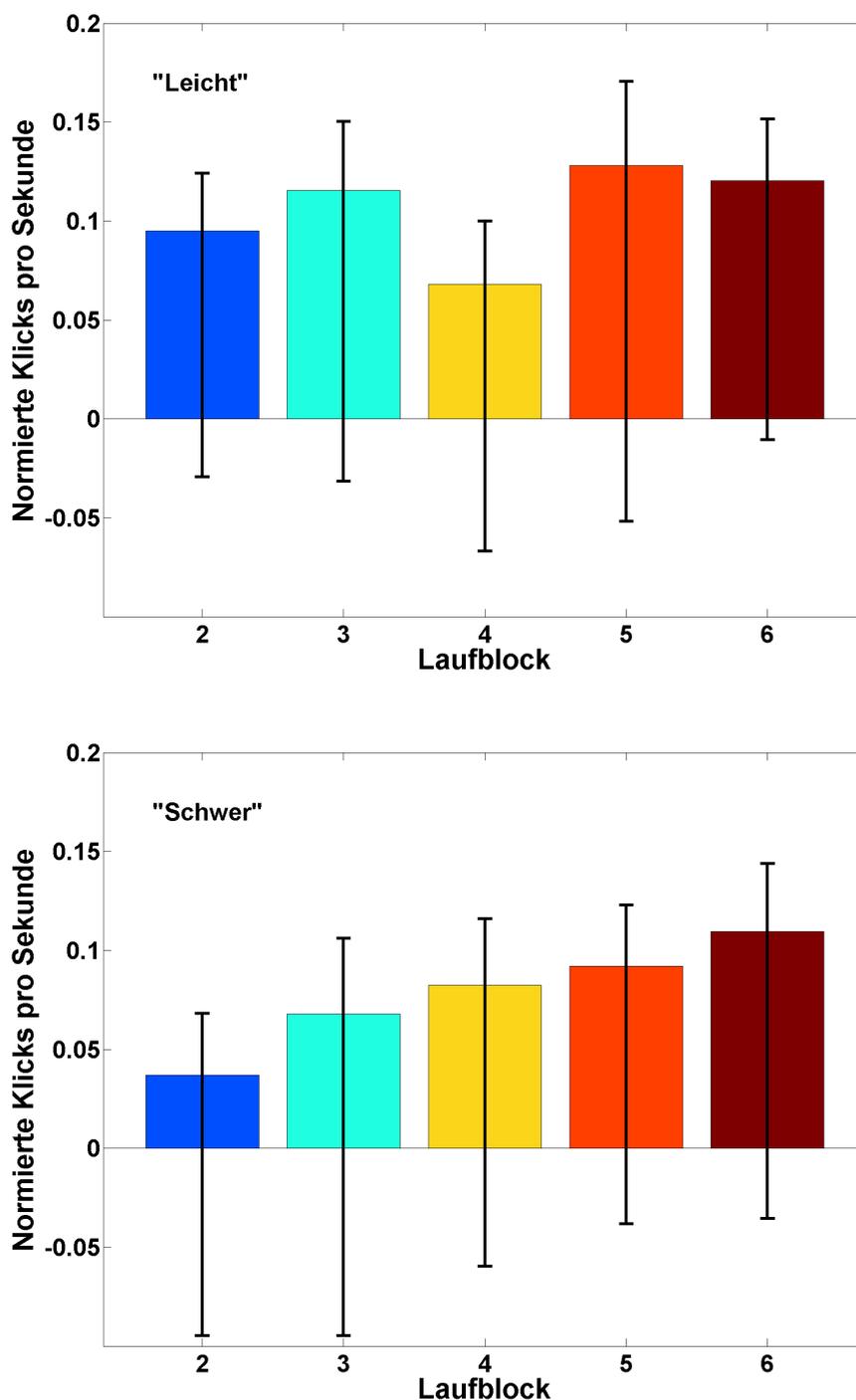


Abbildung 4.11.: Normierte Anzahl an Klicks pro Sekunde für die Laufblöcke 2-6. Von der Anzahl an Klicks im jeweiligen Laufblock wurde die Anzahl an Klicks aus Laufblock 1 abgezogen. Oben: Normierte Klicks in der Bedingung „Leicht“. Unten: Normierte Klicks in der Bedingung „Schwer“. Die Klicks nehmen mit jedem Laufblock zu. Auf der x-Achse sind jeweils die Laufblöcke aufgetragen, auf der y-Achse die normierte Anzahl an Klicks pro Sekunde. $n = 18$.

4.4.3. Fragebogen

Auch nach diesem Versuch wurde den VPen ein Fragebogen ausgegeben (Anhang C.6). Je nach Frage konnten die Fragen mit Zahlen von 1-7 (1 entspricht „sehr leicht“), „Ja“ bzw. „Nein“ oder in Stichworten beantwortet werden. Nachfolgend werden 2 der gestellten Fragen ausgewertet:

„Wie schwierig fandest du das Experiment?“

„Benutzt du eine analoge Armbanduhr?“

Wie auch beim Fragebogen in Versuch 1 konnten die VPen die erste Frage mit Zahlen zwischen 1 und 7 beantworten, wobei 1 „sehr leicht“ entsprach. 75% der Antworten entfielen auf die Zahlen „4“ und „5“. Der Versuch wurde in seiner Gesamtschwierigkeit also als „mittelmäßig schwer“ eingestuft, dies zeigt auch der Median von „4,5“. Der Median sowie die prozentualen Anteile, mit denen die einzelnen Bewertungsstufen beurteilt wurden, sind in Tabelle 4.1 aufgelistet.

Tabelle 4.1.: Auswertung Fragebogen zu Versuch 2: Bewertung der Schwierigkeit

Bewertung	Versuch insgesamt
1	-
2	10%
3	5%
4	35%
5	40%
6	10%
7	-
Median	4,5

Die Frage nach der analogen Armbanduhr wurde von 60% der VPen mit „Nein“ und von 40% mit „Ja“ beantwortet. Es wurde untersucht, ob das Tragen einer analogen Armbanduhr eine Auswirkung auf die Leistung der VPen beim Versuch hatte. Dazu wurde die Anzahl aller Fehler in den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ jeder VP gegen „Ja“ bzw. „Nein“ aufgetragen (Abbildung 4.12).

Da bei 2 VPen Probleme bei der Protokollierung ihrer Klicks während des Versuches auftraten, konnten sie nicht ausgewertet werden. Jeweils eine der VPen beantwortete die Frage nach der Uhr mit „Ja“ bzw. „Nein“.

Zum Teil trat eine Fehleranzahl häufiger als einmal auf, so gab es z.B. bei Antwort „Ja“ zweimal die Fehlerzahl „8“. Bei „Nein“ kam die „8“ sogar dreimal vor und die „5“ sowie „18“ jeweils zweimal.

Insgesamt wurden von den 7 VPen, die „Ja“ antworteten 60 Fehler gemacht, das entsprach einem Mittelwert von 8,57 Fehlern (SD: $\pm 2,57$). Bei den VPen die mit

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

„Nein“ antworteten wurden insgesamt 141 Fehler gemacht, dies entsprach einem Mittelwert von 12,82 Fehlern (SD: $\pm 8,49$). Von den VPen, die keine Armbanduhr trugen wurden also mehr Fehler gemacht, als von den anderen. Mit einem ungepaarten t-Test wurde überprüft, ob sich dies auch statistisch belegen lässt. Der t-Test ergab ein $p = 0,22$ ($t(16) = -1,27$; $p = 0,22$; SD: 6,90), somit kann man nicht davon ausgehen, dass eine VP, die eine Armbanduhr nutzt bei diesem Versuch besser abschneidet.

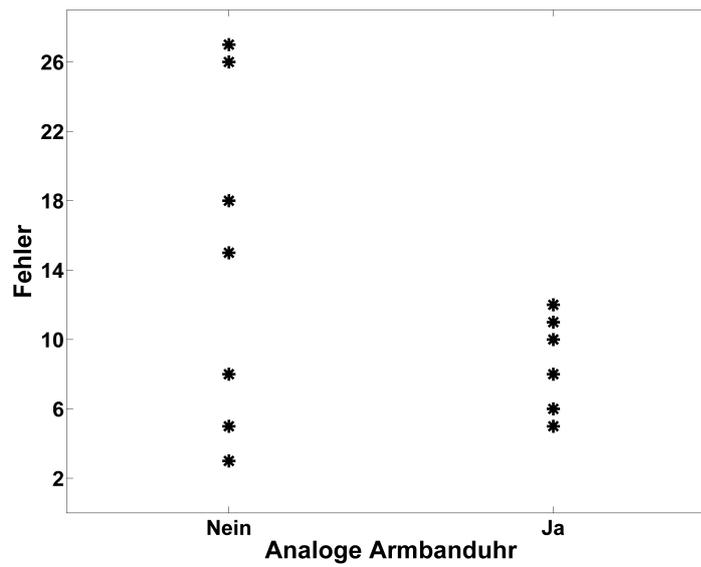


Abbildung 4.12.: Vergleich Fehleranzahl mit Tragen einer Armbanduhr. Die Gesamtfehlerzahl in den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ jeder VP wurden gegen ihre Antwort auf die Frage nach einer Armbanduhr aufgetragen. In der Abbildung sind keine 18 Ergebnisse zu sehen, da manche Fehlerzahlen pro Bedingung öfters vorkamen. $n = 18$.

4.5. Ergebnisse 2b: Corsi-Block-Test

4.5.1. Corsi-Block-Test

Einige Wochen nachdem die VPen den Versuch 2a durchgeführt hatten, wurden sie gebeten noch einen Corsi-Block-Test zu machen. Dies war bei 18 der 20 VPen möglich. Bei 2 VPen konnte allerdings ihre Gedächtnisspanne nicht mehr gemessen werden, so dass die nachfolgenden Ergebnisse nur von 18 VPen stammen.

Keine der VPen hatte Probleme damit, den Corsi-Block-Test auszuführen. Die erhaltenen Werte der Gedächtnisspannen der 18 VPen reichten von 4,33 bis 7 (Abbildung 4.13). Am häufigsten trat die Gedächtnisspanne 5,67 auf, nämlich 4 mal. Das Ergebnis 5,67 ergab sich auch beim Median. Das heißt, dass sich die VPen im Mittel 5,67 gezeigte Kreise in der richtigen Reihenfolge merken konnten.

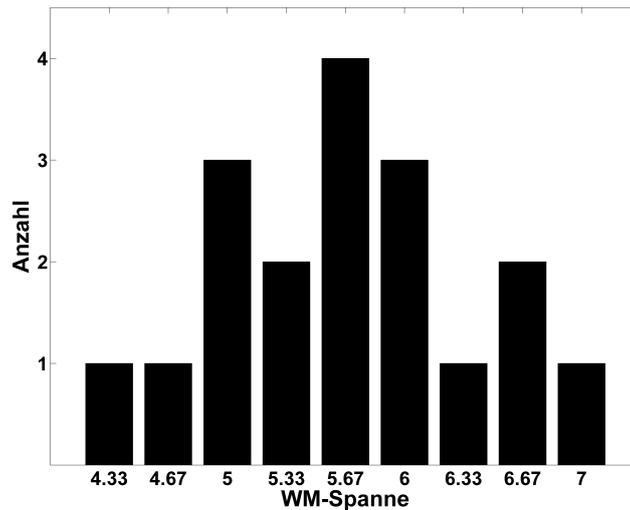


Abbildung 4.13.: Ergebnisse des Corsi-Block-Tests. Auf der x-Achse sind die Gedächtnisspannen der VPen aufgetragen. Auf der y-Achse ist die Häufigkeit der einzelnen Gedächtnisspannen aufgetragen. $n = 18$.

Nun wurde untersucht, ob aus den Ergebnissen des Corsi-Block-Tests Rückschlüsse auf die Laufgeschwindigkeiten der VPen gemacht werden konnten. Dazu wurden die gemittelten Laufgeschwindigkeiten der VPen gegen ihr Ergebnis im Corsi-Block-Test aufgetragen. Das Ergebnis ist in Abbildung 4.14 zu sehen. Es konnte keinerlei Korrelation zwischen der Laufgeschwindigkeit einer Bedingung und dem Ergebnis im Corsi-Block-Test festgestellt werden.

Neben den Vergleichen mit den Laufgeschwindigkeiten in den unterschiedlichen Bedingungen, wurde das Ergebnis des Corsi-Block-Test auch noch mit der Anzahl an getätigten Klicks der VPen in den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“, sowie mit der Fehleranzahl in jeder Bedingung verglichen. Auch bei diesen Vergleichen konnte keine Beziehung zwischen Gedächtnisspanne und Leistung der VP im Versuch festgestellt werden, so dass die Ergebnisse hier nicht gezeigt werden.

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

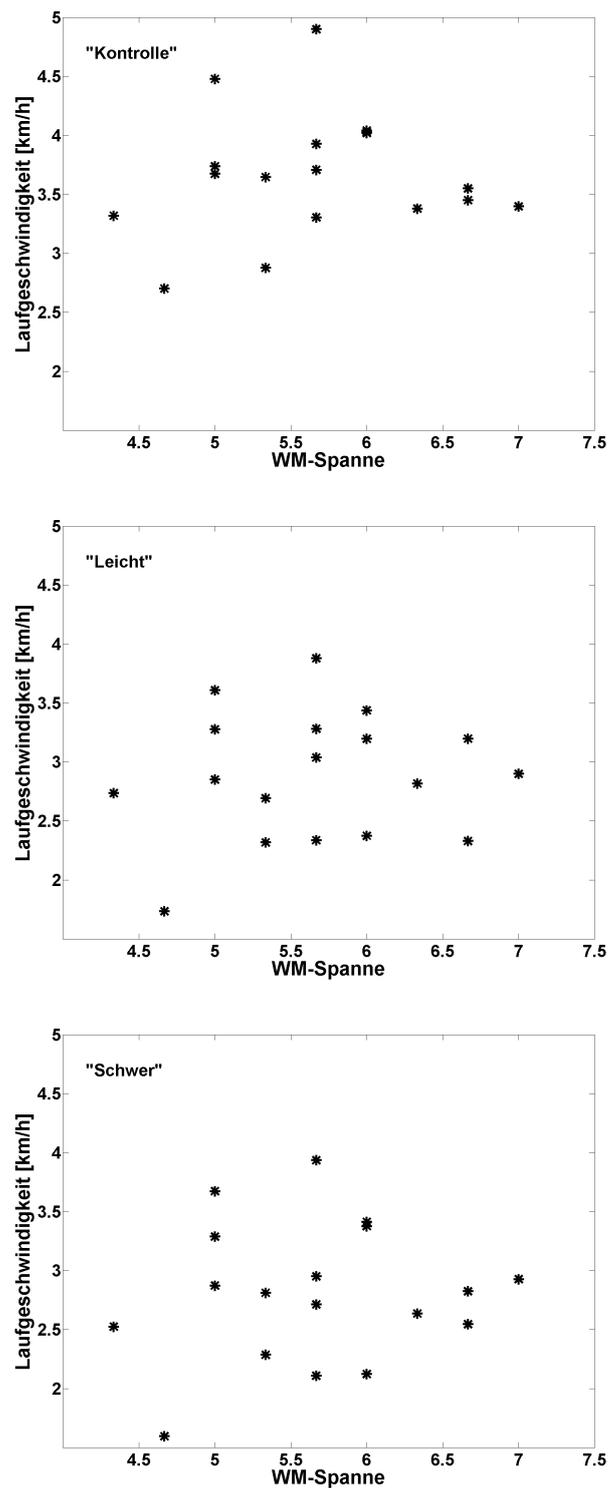


Abbildung 4.14.: Korrelation zwischen Gedächtnisspanne und Laufgeschwindigkeit in der jeweiligen Bedingung. Aufgetragen wurden die Gedächtnisspannen der VPen auf der x-Achse gegen ihre Laufgeschwindigkeiten auf der y-Achse. Bei keiner Bedingung wurde eine Korrelation festgestellt („Kontrolle“: $R^2 = 0,008$; „Leicht“: $R^2 = 0,01$; „Schwer“: $R^2 = 0,01$);. $n = 18$.

4.6. Diskussion

4.6.1. Diskussion 2a: Lokomotion und Dual Task

In diesem Versuchsteil wurde die visuelle Komponente des Arbeitsgedächtnisses durch einen Dual Task beansprucht. Es wurde untersucht, wie sich diese Auslastung auf die Laufgeschwindigkeiten der VPen auswirkt.

Zunächst konnte gezeigt werden, dass es bei den individuellen Laufzeiten der VPen teilweise deutliche Unterschiede gibt, aber dass bis auf eine VP alle anderen in der Kontrollbedingung am wenigsten Zeit benötigten, um von einer Station zur anderen zu laufen. Die Laufgeschwindigkeiten nahmen entsprechend der Laufzeiten mit Zunahme der Schwierigkeit ab.

Beim Vergleich der Laufgeschwindigkeiten in den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ kann man nicht sagen, dass sich die Laufgeschwindigkeit in einer der beiden Bedingungen aufgrund eines eventuellen Lerneffekts beim Dual Task verbessert hat, da in keiner Bedingung ein Anstieg der Laufgeschwindigkeiten festzustellen war.

In der Kontrollbedingung hat der zweite Laufblock eine höhere Geschwindigkeit als der erste. Die schnellere Geschwindigkeit in Laufblock 2 kann nicht auf einen Lerneffekt zurückgeführt werden, da die VPen in dieser Bedingung ohne eine wirkliche Aufgabe zwischen den Stationen hin und herliefen. Die VPen mussten an jeder Station eine Karteikarte nehmen und während sie zur anderen Station liefen angeben, wo sich die Zeiger auf der abgebildeten Uhr befanden. Während sie diese Aufgabe lösten, hatten sie die Karteikarte in der Hand. Die VPen gaben die Antwort bereits beim Verlassen der Station, so dass sie auf dem Teilstück zwischen den Stationen, bei welchem die Laufzeiten gemessen wurden, keine weitere Aufgabe lösten. Somit gibt der Wert, der in der Kontrollbedingung gemessen wurde, die normale Laufgeschwindigkeit der VPen an. Die Ursache der langsameren Geschwindigkeiten in den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ ist im Dual Task zu suchen. Der Einfluss eines Dual Tasks auf die Laufgeschwindigkeit wurde auch schon in anderen Studien gezeigt (Hardiess et al., in Revision; Odoj, 2010; Woollacott & Shumway-Cook, 2002; Beauchet et al., 2005).

Ein Vergleich der Korrelationen zwischen den 3 Bedingungen ergab, dass alle 3 miteinander korrelieren. Interessant dabei ist, dass das Bestimmtheitsmaß zwischen „Kontrolle“ und „Schwer“ noch etwas unter dem Bestimmtheitsmaß von „Kontrolle“ und „Leicht“ liegt. Dies zeigt, dass je schwieriger der Dual Task ist, desto geringer wird die Korrelation dieser Geschwindigkeit im Vergleich zur Geschwindigkeit der Kontrollbedingung. Vergleicht man dagegen die beiden Laufgeschwindigkeiten des Dual Tasks miteinander, so ergibt sich die höchste Korrelation.

Die Annahme, dass die „Schwer“-Bedingung tatsächlich schwieriger zu lösen ist als die „Leicht“-Bedingung wird dadurch verstärkt, dass die Anzahl an getätigten Klicks

4: Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

in der „Schwer“-Bedingung signifikant geringer ist, als die Anzahl in der „Leicht“-Bedingung.

Die Prozentzahl an richtigen Antworten lag in der Kontrollbedingung bei ca. 97%. Dieser hohe Prozentwert ist nicht weiter verwunderlich, da die VPen die Uhren vor sich abgebildet hatten und jederzeit auf die Karteikarte schauen konnten, wenn sie ihre Antwort gaben.

Die Prozentzahl sank in der Bedingung „Leicht“ auf etwas über 90% ab und in der „Schwer“-Bedingung wurden nur noch knapp 86% richtig gemacht. Selbst die Bedingung „Schwer“ zeigt noch einen sehr hohen Prozentsatz an richtigen Klicks, das zeigt, dass der Versuch für alle VPen machbar war. Dies wurde auch von den VPen bestätigt, die im Fragebogen den Versuch in seiner Schwierigkeit als „mittelmäßig schwer“ bewerteten.

Neben den Laufgeschwindigkeiten und den Gesamtleistungen im Dual Task wurde auch untersucht, ob es während den einzelnen Versuchsteilen Verbesserungen der VPen gab. Für die „Leicht“-Bedingung ergab sich keine kontinuierliche Verbesserung über die Laufblöcke. Im Gegensatz dazu stieg die Klickanzahl in der „Schwer“-Bedingung in den Laufblöcken immer weiter an.

Geht man davon aus, dass für die „einfachen“ Uhrzeiten „templates“ im Langzeitgedächtnis vorhanden sind, ist nicht damit zu rechnen, dass sich die VPen im Laufe des Versuches verbessern, da die Uhrzeiten schon im ersten Laufblock bekannt sind. Für die Uhrzeiten in den „Schwer“-Bedingung sollten keine „templates“ vorhanden sein. Da die Uhrzeiten während des Versuches randomisiert wiedergegeben wurden, konnte dieselbe Uhrzeit den VPen öfter als einmal vorgespielt werden. Wurde eine Uhrzeit häufiger abgespielt, sollte es nach dem ersten mal etwas einfacher gewesen sein die Zeigerstellung zu beurteilen und durch diesen Lerneffekt konnten die VPen schneller klicken.

Nach dem Versuch wurden die VPen gefragt, ob sie eine analoge Armbanduhr nutzen. Es wurde vermutet, dass VPen, die regelmäßig eine Uhr nutzen, die Aufgabe besser lösen können, als die VPen, die keine Uhr nutzen. Zwar ergab sich, dass VPen, die keine Armbanduhr tragen eine etwas höhere Fehlerzahl aufwiesen, diese erwies sich aber nicht als unterschiedlich von den Fehlern der anderen VPen. Somit kann man nicht grundsätzlich davon ausgehen, dass das Tragen einer Armbanduhr zu einer besseren Leistung der VPen führt.

Auch die Ergebnisse dieses zweiten Versuches können mit der Hypothese, dass die Laufgeschwindigkeit durch vermehrte kognitive Anforderungen vermindert wird, in Einklang gebracht werden. Die Laufgeschwindigkeiten in den Bedingungen, in denen die VPen einen Dual Task lösen mussten korrelieren stärker miteinander, als die beiden Bedingungen mit der Kontrollbedingung.

In der Kontrollbedingung, in der keine zusätzliche Aufgabe zu lösen war, liefen die VPen am schnellsten. Leider konnte zwischen den beiden Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ kein Unterschied in den Laufgeschwindigkeiten nachgewiesen werden, auch wenn tendenziell die Geschwindigkeit in der „Leicht“-Bedingung höher lag als in der „Schwer“-Bedingung. Es könnte sein, dass nur für einige Uhrzeiten

z.B. 12:00 Uhr „templates“ vorhanden sind, die ohne weiteres abgerufen werden können. Für gerade Uhrzeiten wie z.B. 12:20 Uhr gibt es kein „template“, dennoch ist die Zeigerstellung dieser Uhrzeit einfacher und schneller zu beurteilen als z.B. die Zeigerstellung bei 12:27 Uhr. Dies kann die Abnahme der Laufgeschwindigkeit in der „Leicht“-Bedingung gegenüber der „Kontrolle“, sowie die schnellere Laufgeschwindigkeit gegenüber der „Schwer“-Bedingung erklären. Um zu testen, ob es tatsächlich eine Art „template“ für Uhrzeiten gibt, müsste ein weiterer Versuch durchgeführt werden, in dem die Uhrzeiten aus der „Leicht“-Bedingung genauer untersucht werden.

4.6.2. Diskussion 2b: Corsi-Block-Test

In Versuch 1 wurde ein Rechentest durchgeführt, um einen Vergleichswert zwischen den einzelnen VPen zu bekommen. Um einen Vergleich der kognitiven Leistungen der VPen in diesem zweiten Versuch zu erhalten, wurden die VPen gebeten einen Corsi-Block-Test zu machen. Keine VP hatte Schwierigkeiten mit der Aufgabe, auch wenn sich die Gedächtnisleistungen innerhalb der VPen unterschieden. Es ergaben sich Gedächtnisspannen zwischen 4,33 und 7. Dieses Ergebnis liegt etwas außerhalb der 4 ± 1 Gedächtniseinheiten (Cowan, 2000), allerdings liegt es im Bereich der von Kemps et al. (2000) angegeben wird. Sie konnten zeigen, dass die Gedächtnisspanne in der Kindheit zunimmt und man mit 15 Jahren eine Gedächtnisspanne erreicht, bei der man 7 Gedächtniseinheiten aktivieren kann.

Die erhaltenen Gedächtnisleistungen entsprechen möglicherweise nicht exakt den Gedächtnisleistungen der VPen. Während dem Experiment blieb der Mauscursor die ganze Zeit eingeblendet und fast alle VPen nutzten dies aus, um dem Cursor an dem Quadrat zu platzieren, in dem der erste Kreis aufleuchtete. So mussten sie sich ein Quadrat weniger merken. Um diese Fehlerquelle auszuschließen, sollte der Mauscursor ausgeblendet werden, so lange die Kreise aufleuchteten und sich die VPen die Reihenfolge merken müssen.

Aus den erhaltenen Gedächtnisleistungen der VPen kann man keine Rückschlüsse auf die Laufgeschwindigkeiten oder Leistung der VPen im Dual Task ziehen. Zwar wurden die erhaltenen Gedächtnisspannen mit den Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen sowie der Fehlerzahl und der gesamten Anzahl an getätigten Klicks verglichen, allerdings konnte kein Zusammenhang gefunden werden. Man kann also nicht sagen, dass VPen, die eine niedrigere Gedächtnisspanne haben auch eine langsamere Laufgeschwindigkeit aufweisen oder mehr Fehler im Dual Task machen.

5. Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente

5.1. Einleitung

Im letzten Versuch, der im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführt wurde, wurde die räumliche Komponente des Arbeitsgedächtnisses durch einen Dual Task beansprucht. Da auch die räumliche Komponente einen Einfluss auf die Lokomotion haben könnte (Hardiess et al., in Revision), sollte dies in einem Versuch überprüft werden. Wie zuvor Versuch 2 ist auch dieser dritte Versuch 2-geteilt.

In Teil a) wird die räumliche Komponente des Arbeitsgedächtnisses beansprucht, diese wurde im Experiment von Hardiess et al. (in Revision) durch die unterschiedlichen Anordnungen der Duplosteine belastet. Um die räumliche Komponente zu belasten, wurden den VPen Töne aus unterschiedlichen Richtungen vorgespielt und sie mussten entscheiden, aus welcher Richtung die Töne kamen. Diese Methode wurde auch von Meilinger et al. (2008) in ihrem Experiment als räumlicher Dual Task verwendet. Bei Auswahl der Töne wurde davon ausgegangen, dass bei einigen Tönen die Zuordnung einfacher ist, als bei anderen. Dies sollte davon abhängen, mit welchen Richtungswinkeln die Töne abgespielt wurden.

In Teil b) absolvierten die VPen einen Corsi-Block-Test, um ihre Gedächtnisspanne zu ermitteln.

5.2. Material und Methoden 3a: Lokomotion und Dual Task

5.2.1. Versuchspersonen

An diesem Versuch nahmen 20 Studenten oder Angestellte der Universität Tübingen teil. Sie waren zwischen 21 und 35 Jahre alt (MW: 27,85; SD: $\pm 3,91$). Es wurden wieder die Daten von zehn männlichen (MW: 28,8; SD $\pm 2,67$) und zehn weiblichen (MW: 26,9; SD $\pm 4,79$) VPen gemessen. Die Vergütung für die Versuchsteilnahme betrug 8€ pro Stunde, die durchschnittliche Versuchsdauer lag bei ca. 45 Minuten. Allen VPen stand es frei, den Versuch ohne Angabe von Gründen vorzeitig zu beenden.

5.2.2. Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in dem gleichen Raum wie die Versuche 1 und 2 durchgeführt. Die Stationen A und B befanden sich an den gleichen Positionen wie in Versuch 2 (Abbildung 4.1). Auch bei diesem Versuch gab es wieder 3 verschiedene Versuchsbedingungen, die von jeder VP durchgeführt wurden.

Die VPen bekamen über Kopfhörer der Marke *Philips* Töne mit einer Länge von 1 Sekunde vorgespielt, während sie von einer Station zur anderen liefen. Für die „leichte“ Bedingung wurden Töne verwendet, die mit einem Winkel von 40°, 45° bzw. 50° entweder von links oder rechts ertönten. Für die „schwere“ Versuchsbedingung wurden die Winkel deutlich verkleinert, so dass sie nur noch 5°, 10° bzw. 15° betragen. Die Stereotöne wurden mit der Software *MATLAB*® (*Version 7.10.0.499 (R2010a)*) erstellt. Die Zeitverzögerung, mit der die beiden Töne zur Erzeugung des Stereotons abgespielt wurden, wurde mit der Formel:

$$\Delta t = \frac{\sin\alpha * d}{c} \quad (5.1)$$

berechnet. Dabei gilt:

Δt = Zeitverzögerung

α = Winkel (5°, 10°, 15°, 40°, 45° oder 50°)

d = Kopfdurchmesser mit 17,5 cm

c = Schallgeschwindigkeit mit 334 m/s

Für die Präsentation der Töne wurde das bereits in Versuch 2 verwendete Programm abgeändert, so dass anstelle der Uhrzeiten nun die Töne abgespielt wurden.

In diesem Versuch waren auf den Karteikarten zur Ablenkung 3 Figuren, wie sie von Shepard und Metzler (1971) in ihrem Experiment zur mentalen Rotation verwendet wurden, abgebildet (Abbildung 5.1).

Die VPen mussten entscheiden, welche der beiden unten abgebildeten Figuren identisch mit der obigen Referenzfigur war. Alle verwendeten Figuren sind im Anhang D.3 abgebildet. Die Figuren wurden randomisiert in allen Versuchsbedingungen verwendet.

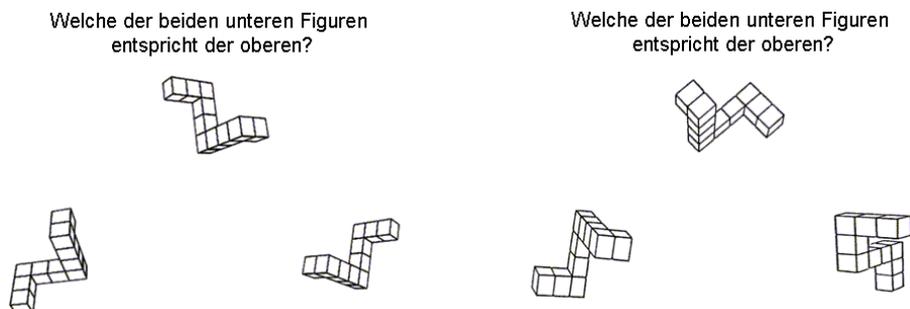


Abbildung 5.1.: Beispiele der Figuren.

Headtracker

Zur Aufnahme der Positionskoordinaten wurde wieder das Trackingsystems (*ARTtrack/ DTrack from A.R.T. GmbH, Weilheim, Deutschland*) aus Versuch 1 verwendet. Genauere Beschreibung in Kapitel 3.2.2.

PC

Für das Abspielen der Töne, wurde der Laptop aus Versuch 2 mit einem etwas abgeänderten Programm verwendet (Kapitel 4.2.2 und Abbildung 4.3).

5.2.3. Versuchsdurchführung

Die VPen bekamen eine kurze Erklärung über den Ablauf des Versuches und die Aufgabe, die sie durchführen sollten. Danach wurden den VPen einige Testtöne vorgespielt und sie konnten entscheiden, wie laut sie die Töne für sich einstellen wollten. Einziges Kriterium war, dass sie die gegebenen Versuchsanweisungen noch hören konnten. Es folgte das Ausfüllen der Einverständniserklärung und Probandeninformation (Anhang A.1), sowie das Lesen der Versuchsanleitung (Anhang D.1). Den VPen wurden Rucksack und Headtracker aufgesetzt und der Versuch startete an Station A. Es wurden keine Probedurchgänge gemacht.

Auch bei diesem Versuch gab es 3 Versuchsbedingungen, die unter den VPen randomisiert wurden. Aufgabe der VPen war es, zwischen den beiden Stationen A und B hin und her zu laufen bis sie das Signal zum Stoppen bekamen. Die Datenmessungen wurden jeweils gestartet, sobald die VPen ihre Startposition an Station A erreicht hatten und unterbrochen, wenn ein Laufblock beendet war. Bei den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ wurden 6 Laufblöcke, mit insgesamt 24 Wegstrecken, durchgeführt. Bei jedem Laufblock änderten sich die gelaufenen Strecken zwischen den beiden Stationen im Bereich zwischen 3-5 Strecken.

In der Kontrollbedingung wurden nur 2 Laufblöcke absolviert. Jeder dieser beiden Laufblöcke beinhaltete 5 Wegstrecken, so dass in der Kontrollbedingung insgesamt 10 Strecken gelaufen wurden.

Solange die VPen zwischen den beiden Stationen hin und her liefen, wurden ihnen Töne vorgespielt. Hörten sie den Ton von links, drückten sie die linke Maustaste und hörten sie den Ton von rechts, drückten sie entsprechend die rechte Maustaste. Sofort ertönte der nächste Ton, dessen Richtung bestimmt werden musste. Die VPen liefen pro Laufblock zwischen 3 und 5 mal zwischen den Stationen hin und her, bevor sie von der Versuchsleiterin zum Stoppen aufgefordert wurden. Daraufhin drückten die VPen das Mausexplorer und hörten „Ende des Trials“. Sie gingen zurück zu Station A bzw. blieben an Station A stehen.

Dies war der Ablauf der Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“. In der Kontrollbedingung wurde den VPen pro Laufstrecke nur 1 Ton vorgespielt, dessen Richtung sie

lokalisieren mussten. Insgesamt waren also 10 Töne in der Kontrollbedingung zu hören.

An Station A wurde, wie in den Versuchen 1 und 2, vor jedem Laufblock eine Karteikarte zur Ablenkung bearbeitet. Die VPen suchten von den abgebildeten Figuren die beiden zusammen gehörenden Figuren und gaben an, ob sie sich für die linke oder rechte Figur entschieden hatten. Entsprechend drückten sie die linke oder rechte Maustaste. Diese Antwort diente zum Starten des Programms, das die Töne abspielte. Sobald die VPen die rechte bzw. linke Maustaste (entsprechend ihrer zuvor gegebenen Antwort) gedrückt hatten, hörten sie einen Ton.

In der Kontrollbedingung gab es, wie schon in Versuch 2, an beiden Stationen Karteikarten, die bearbeitet werden mussten. An Station A lagen 3 Karten und an Station B 2 Karten. Nachdem die VPen in der Kontrollbedingung die zusammengehörenden Figuren gefunden hatten, drückten sie die linke oder rechte Maustaste, entsprechend der Seite, auf der sich die passende Figur befand. Gleich nach dem Tastendruck wurde ihnen ein Ton vorgespielt und sie mussten durch Tastendruck angeben, von wo er kam. Anschließend ertönte kein neuer Ton. An der nächsten Station wurde die nächste Karteikarte bearbeitet und ein neuer Ton musste lokalisiert werden.

Am Ende des Versuchs bekamen die VPen einen kurzen Fragebogen mit der Bitte ihn auszufüllen (Anhang D.4). Nachdem der Fragebogen beantwortet war, wurden die VPen noch gebeten, den Corsi-Block-Test zu machen.

5.2.4. Auswertung

Die Laufzeiten und Laufgeschwindigkeiten wurden über die gleiche Teilstrecke wie in den beiden vorigen Versuchen bestimmt. Die Auswertung der Laufdaten und Mausklicks der VPen sowie die statistischen Auswertungen erfolgten mit *MATLAB*[®] (Version 7.10.0.499 (R2010a)). Die Laufzeiten und Laufgeschwindigkeiten wurden mit dem Lilliefors-Test auf Normalverteilung geprüft. Es ergab sich eine Normalverteilung der Daten, so dass für die weitere Auswertung parametrische Tests angewandt wurden. Alle VPen absolvierten jede Versuchsbedingung, dabei zeigten sich zum Teil deutliche Unterschiede in den Laufgeschwindigkeiten der VPen. Um nur die Varianz bezüglich der Laufgeschwindigkeit zwischen den Bedingungen und nicht zwischen den VPen zu berücksichtigen, wurde das Experiment als Within-Subject Design angelegt und mit einer One-Way Within-Subject ANOVA statistisch analysiert. Ergab sich bei den Daten eine Signifikanz wurde als Post-hoc Test ein Holm-Sidak Multiple t-Test durchgeführt.

5.3. Material und Methoden 3b: Corsi-Block-Test

5.3.1. Versuchspersonen

Der Corsi-Block-Test wurde von allen VPen, die am Versuch 3a teilnahmen, gemacht.

5.3.2. Versuchsaufbau - Versuchsdurchführung - Auswertung

Der Versuch wurde wie in den Abschnitten 4.3.2, 4.3.3 und 4.3.4 beschrieben durchgeführt.

5.4. Ergebnisse 3a: Lokomotion und Dual Task

5.4.1. Lokomotion

In diesem Versuch wurden 20 VPen gemessen. Zunächst wurde auch bei diesem Versuch die Laufzeit der VPen analysiert. Auch bei diesen VPen gab es beträchtliche Unterschiede in ihren Laufzeiten. Auffällig waren z.B.: die VPen 6, 9, 10 und 11, sie benötigten zum Teil mehr als doppelt so lange für die Strecke zwischen den beiden Stationen in den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ wie die anderen VPen. So wies VP 11 bei „Leicht“ eine Laufzeit von 9,80 s (SD: $\pm 1,88$) und bei „Schwer“ eine Laufzeit von 9,46 s (SD: $\pm 1,13$) auf. Die schnellste VP in diesen Bedingungen war VP 8 mit Laufzeiten von 3,54 s (SD: $\pm 0,19$) in der „Leicht“- bzw. 3,47 s (SD: $\pm 0,13$) in der „Schwer“-Bedingung. Bei fast allen VPen ist jedoch zu erkennen, dass die Laufzeiten von der „Kontrolle“, über „Leicht“ hin zu „Schwer“ zunehmen. Bei 4 VPen (VP 7, 8, 17 und 19) ist fast kein Unterschied in den Laufzeiten der einzelnen Bedingungen vorhanden (Abbildung 5.2 oben).

Im Schnitt benötigten die VPen für eine Wegstrecke in der Kontrollbedingung 4,04 s (SD: $\pm 0,48$). In der Bedingung „Leicht“ stieg die Laufzeit über eine halbe Sekunde auf 4,77 s (SD: $\pm 1,42$) an und erhöhte sich in der Bedingung „Schwer“ noch mal etwas auf 5,03 s (SD: $\pm 1,49$). Das Ergebnis einer One-Way Within-Subject ANOVA war signifikant ($F(2,38) = 11,66$; $p < 0,001$). Bei einem anschließend durchgeführten Post-hoc Test kam heraus, dass sich die Zeiten von „Kontrolle“ und „Leicht“ mit einem $p < 0,01$ unterscheiden, die Zeiten von „Kontrolle“ und „Schwer“ ergaben ein $p < 0,001$. Als Ergebnis des Vergleichs „Leicht“ und „Schwer“ mit dem Holm-Sidak Multiple t-Test resultierte ein $p = 0,22$, somit unterscheiden sich diese beiden Bedingungen nicht signifikant (Abbildung 5.2 unten).

5: Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente

Aus den Laufzeiten wurden wieder die Laufgeschwindigkeiten berechnet, mit denen die VPen in den Versuchsbedingungen liefen (Abbildung 5.3 oben). Die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit in der Kontrollbedingung lag bei 3,64 km/h (SD: $\pm 0,41$). Sie lag damit ca. 0,4 km/h über der Geschwindigkeit in der Bedingung „Leicht“, in der die VPen eine Geschwindigkeit von 3,21 km/h (SD: $\pm 0,67$) aufwiesen (Abbildung 5.3 unten). Die Laufgeschwindigkeit sank in der Bedingung „Schwer“ noch etwas weiter ab und betrug im Mittel 3,06 km/h (SD: $\pm 0,69$). Bei der One-Way Within-Subject ANOVA ($F(2,38) = 20,8$; $p < 0,001$) war nicht nur das Ergebnis zwischen „Kontrolle“ und „Schwer“ signifikant mit einem $p < 0,001$, sondern auch der Vergleich zwischen „Kontrolle“ und „Leicht“ hatte ein $p < 0,001$. Der Vergleich zwischen „Leicht“ und „Schwer“ war auch bei den Laufgeschwindigkeiten nicht signifikant ($p = 0,10$).

Nachdem die Laufgeschwindigkeiten gemittelt über die Bedingungen analysiert wurden, wurden sie noch in jeder Bedingung für die 6 Laufblöcke einzeln betrachtet (Abbildung 5.4). Wie auch in Versuch 2 wurden in der Kontrollbedingung wieder nur 2 Laufblöcke durchgeführt, wobei jeder dieser Laufblöcke 5 Wegstrecken zwischen den beiden Stationen enthielt. Bei den 6 Laufblöcken in den beiden anderen Bedingungen variierten die Laufstrecken zwischen 3 und 5. Pro Bedingung waren es aber insgesamt 24 Wegstrecken.

Beim Betrachten der Laufgeschwindigkeiten in der Kontrollbedingung fällt auf, dass die Geschwindigkeit im zweiten Laufblock höher ist als im ersten Laufblock, sie beträgt 3,77 km/h (SD: $\pm 0,41$) im Vergleich zu 3,51 km/h (SD: $\pm 0,42$). Eine One-Way Within-Subject ANOVA resultierte in einem $p < 0,001$ ($F(1,19) = 9,64$; $p < 0,001$). Die Laufgeschwindigkeiten in der Bedingung „Leicht“ verändern sich nur gering, die niedrigste Laufgeschwindigkeit besitzt Laufblock 1 mit 3,11 km/h (SD: $\pm 0,64$) und die höchste hat Laufblock 5 mit 3,26 km/h (SD: $\pm 0,68$). Eine One-Way Within-Subject ANOVA über die Laufblöcke in der „Leicht“-Bedingung ergab einen signifikanten Unterschied ($F(5,95) = 2,39$; $p < 0,05$). Ein anschließender Multipler t-Test belegte, dass die Signifikanz zwischen den Laufblöcken 1 und 5 besteht. Alle anderen Laufblöcke weisen keine Signifikanzen auf. Am konstantesten sind die Zeiten in der Bedingung „Schwer“. Laufblock 1 hat auch hier die geringste Geschwindigkeit mit 3,00 km/h (SD: $\pm 0,63$), die höchste Geschwindigkeit trat in Laufblock 3 mit 3,09 km/h (SD: $\pm 0,74$) auf. Die Laufblöcke 4, 5 und 6 hatten alle eine Geschwindigkeit von 3,08 km/h. Eine One-Way Within-Subject ANOVA ergab in dieser Bedingung keinen signifikanten Unterschied in den Laufblöcken ($F(5,95) = 0,88$; $p = 0,50$).

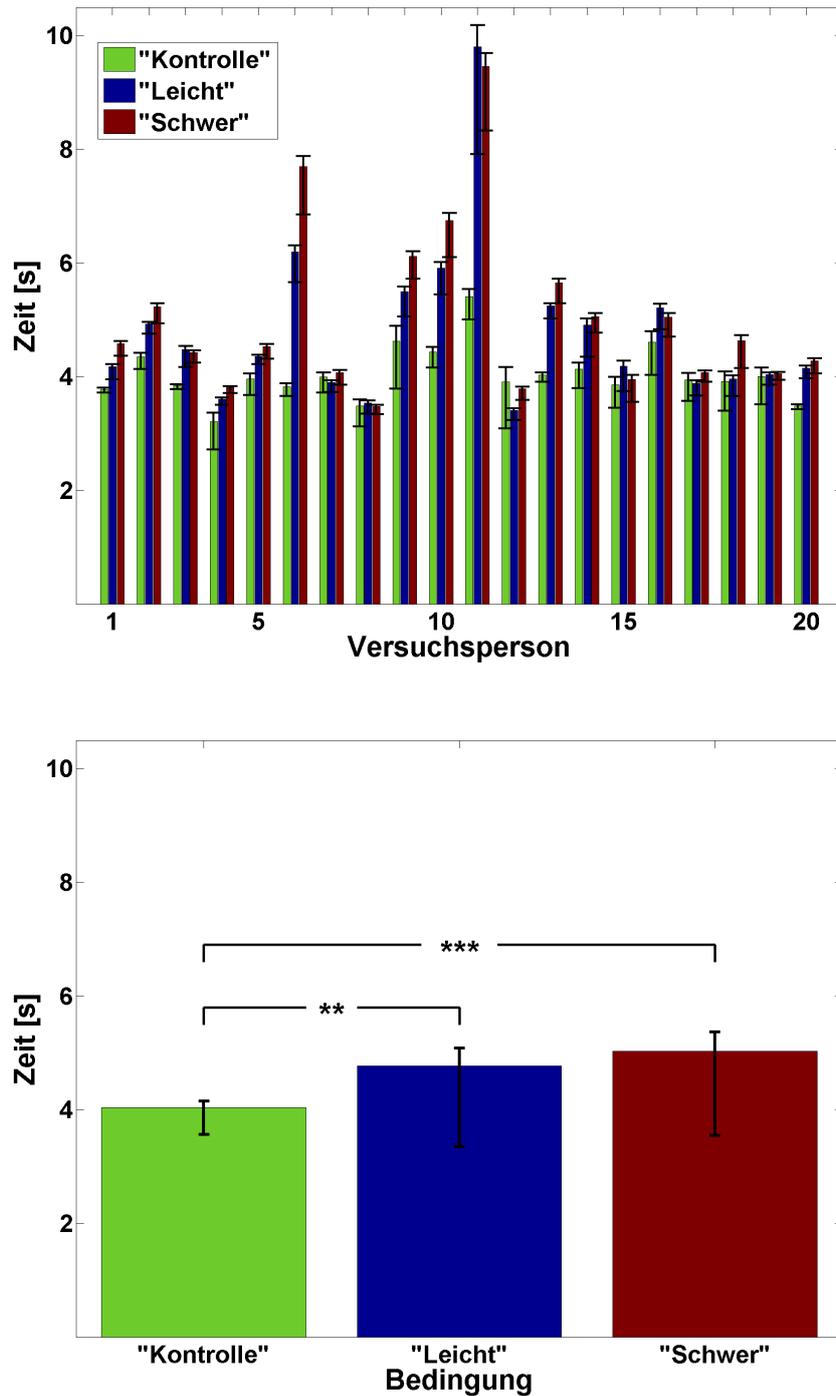


Abbildung 5.2.: Gemittelte Laufzeiten aller Bedingungen. Oben: Aufgetragen sind die gemittelten Laufzeiten jeder Versuchsperson, die sie für die 4m lange Teilstrecke bei den 3 verschiedenen Bedingungen benötigte. Auf der x-Achse sind die VPen aufgetragen und auf der y-Achse die Zeit in Sekunden. Unten: Die Laufzeiten gemittelt über alle VPen. Die benötigte Zeit pro Strecke nimmt unter den Bedingungen zu. Die Laufzeit in der Kontrollbedingung unterscheidet sich signifikant von den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“. Auf der x-Achse sind die Versuchsbedingungen aufgetragen, auf der y-Achse die Zeit in Sekunden. $n = 20$.

5: Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente

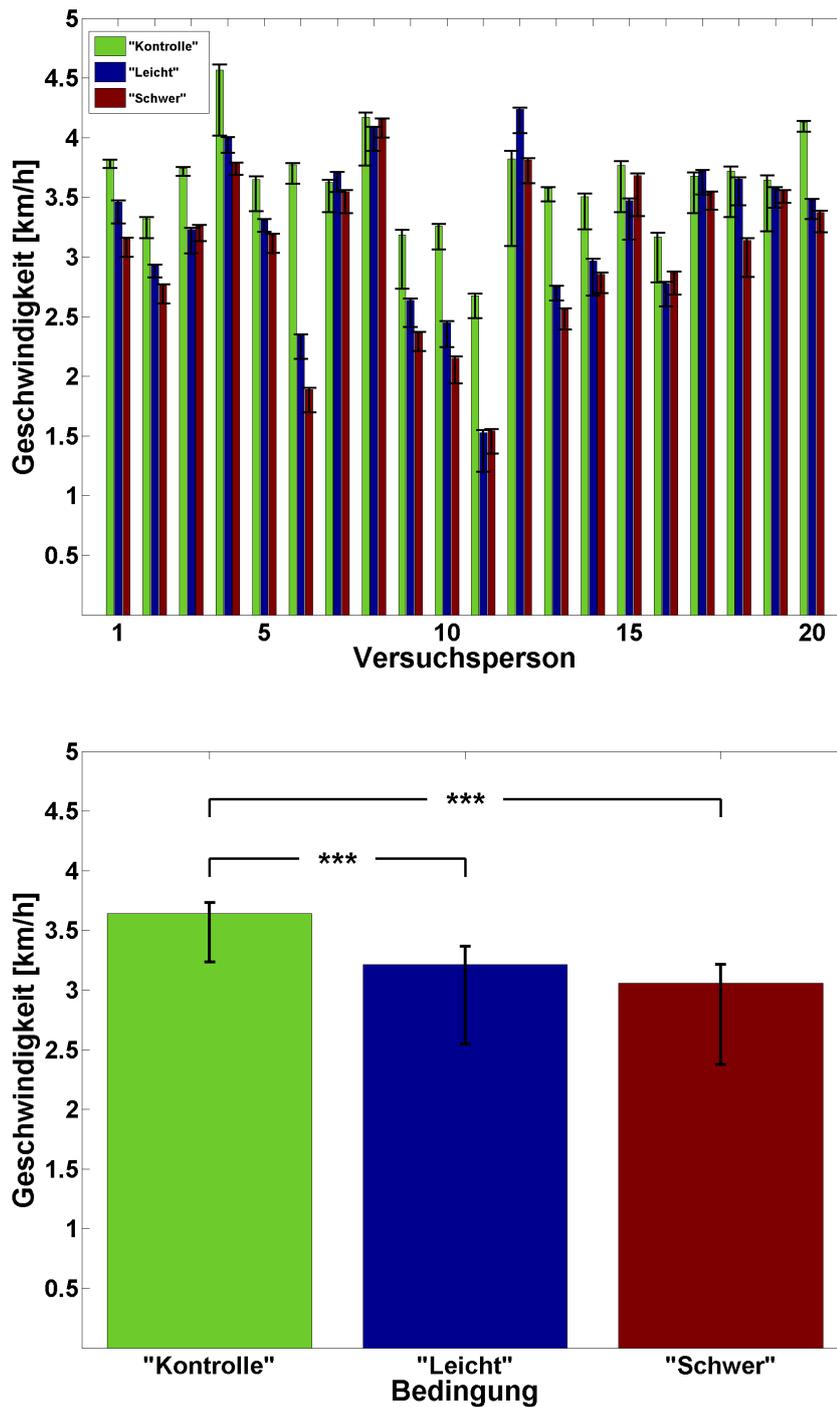


Abbildung 5.3.: Gemittelte Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen. Oben: Abgebildet sind die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten jeder Versuchsperson bei den einzelnen Bedingungen. Auf den Achsen sind die Versuchspersonen und die Laufgeschwindigkeiten in km/h angegeben. Unten: Die Laufgeschwindigkeiten gemittelt über alle VPen. Die Laufgeschwindigkeiten nehmen zwischen den einzelnen Versuchsbedingungen ab. Die Laufgeschwindigkeit in der Kontrollbedingung ist signifikant verschieden zu den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“. Auf der x-Achse sind die Versuchsbedingungen aufgetragen, auf der y-Achse die Geschwindigkeit in km/h. $n = 20$.

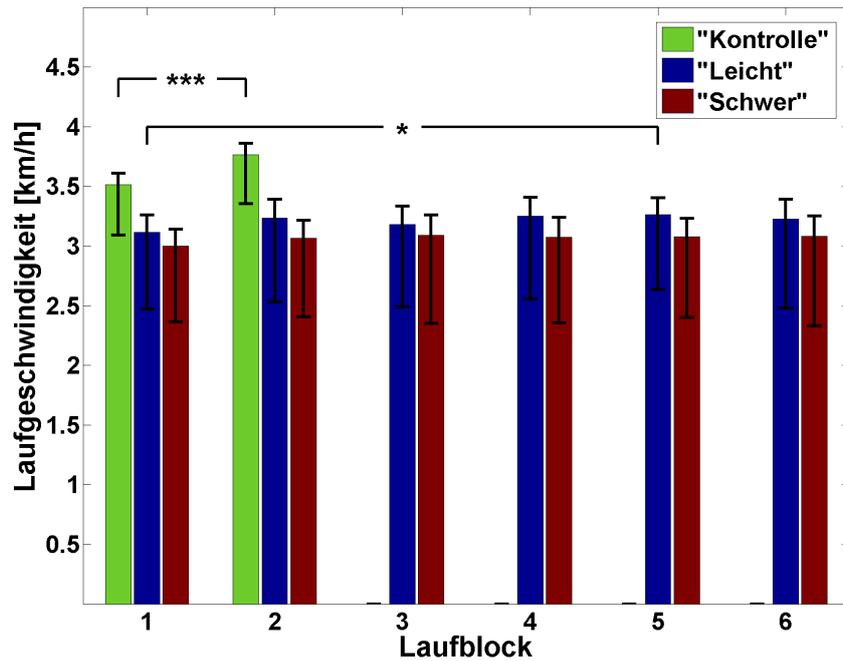


Abbildung 5.4.: Gemittelte Laufgeschwindigkeiten über alle VPen pro Laufblock und Versuchsbedingung. Die beiden Laufblöcke in der Kontrollbedingung unterscheiden sich signifikant. In der „Leicht“-Bedingung sind die Laufblöcke 1 und 5 signifikant verschieden. Auf der x-Achse sind die 6 Laufblöcke aufgetragen, auf der y-Achse die gemittelte Geschwindigkeit in km/h über alle VPen. Bei allen Laufblöcken nimmt die Geschwindigkeit von „Kontrolle“ zu „Schwer“ ab. $n = 20$.

Außerdem wurde untersucht, ob es eine Korrelation der Laufgeschwindigkeiten in den einzelnen Bedingungen gibt. Dazu wurden die gemittelten Laufgeschwindigkeiten der VPen jeweils gegen die Laufgeschwindigkeiten der beiden anderen Bedingungen aufgetragen (Abbildung 5.5). Für den Vergleich zwischen „Kontrolle“ und „Leicht“ ergab sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,62$. Das geringste Bestimmtheitsmaß mit $R^2 = 0,54$ wies der Vergleich zwischen „Kontrolle“ und „Schwer“ auf. Sehr stark korrelierten dagegen die Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ miteinander, hier ergab sich $R^2 = 0,92$.

5: Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente

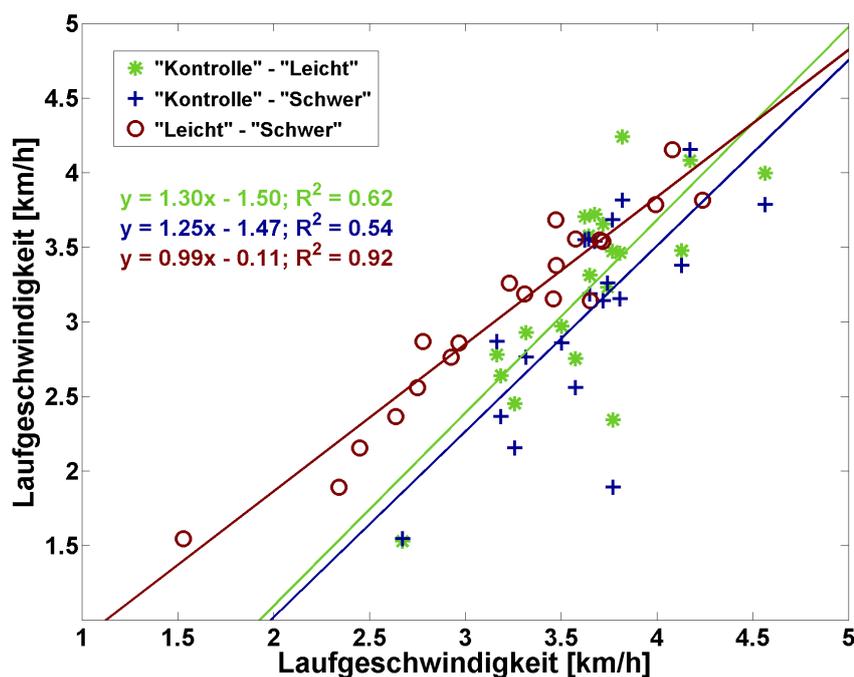


Abbildung 5.5.: Korrelation der Laufgeschwindigkeiten aller Bedingungen. Die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten der VPen einer Versuchsbedingung sind gegen die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten der VPen in einer anderen Bedingung aufgetragen. Korreliert wurden die Bedingungen „Kontrolle“ und „Leicht“, „Kontrolle“ und „Schwer“ sowie „Leicht“ und „Schwer“. Die Vergleiche mit der „Kontrolle“ korrelieren leicht, es ergab sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,62$ bzw. $R^2 = 0,54$. Die Korrelation zwischen den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ ergab sogar ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,92$. Auf den Achsen wurde jeweils die Geschwindigkeit in km/h aufgetragen. $n = 20$.

5.4.2. Dual Task

Bei diesem Versuch wurden den VPen Töne vorgespielt während sie von einer Station zur anderen liefen. Die VPen gaben ihre Antwort wieder per Mausklick, welche von einem Programm gespeichert wurden. Da die Speicherung bei 2 VPen nicht fehlerfrei funktionierte, wurden ihre Daten nicht ausgewertet.

Die restlichen VPen klickten im Mittel 121,67 mal (SD: $\pm 41,93$) in der Bedingung „Leicht“ und 105,89 mal (SD: $\pm 49,51$) in der Bedingung „Schwer“. Die beiden Bedingungen wurden mit einem gepaarten t-Test miteinander verglichen, dabei resultierte ein $p < 0,05$ (t-Test: $t(17) = 2,61$; $p < 0,05$; SD: 25,65). Von den 121,67 Klicks in der Bedingung „Leicht“ wurden 115,83 (SD: $\pm 41,00$) richtig gemacht, in der Bedingung „Schwer“ waren es 80,67 (SD: $\pm 46,63$) von 105,89. Beim Vergleich dieser beiden Werte ergab sich ein $p < 0,001$ (t-Test: $t(17) = 5,78$; $p < 0,001$; SD: 25,82). Genau wie in Versuch 2 wurden den VPen auch bei diesem Versuch in der Kontrollbedingung pro Laufblock 5 Töne, also 1 pro Wegstrecke, vorgespielt. Von diesen

10 Tönen wurden durchschnittlich 8 (SD: $\pm 2,58$) richtig geklickt. In Abbildung 5.6 sind die prozentualen Anteile der richtigen Klicks in jeder Bedingung dargestellt. Die „Kontrolle“ wurde aufgrund der anderen Aufgabenstellung von den beiden anderen Bedingungen durch einen Strich abgetrennt. Vergleicht man die Prozentwerte der einzelnen VPen, so sieht man, dass eigentlich alle VPen deutlich über 50% der Klicks richtig gemacht haben. Lediglich die VPen 15 und 16 erreichten in der „Kontrolle“ bzw. bei „Schwer“ nur den 50%-Wert, so dass diese Antworten auf Zufall beruhen. In der Kontrollbedingung wurde von VP 16 kein Ton richtig geklickt.

In der Kontrollbedingung wurden 89,58% (SD: $\pm 13,22$) der Klicks richtig gemacht, in der „Leicht“-Bedingung waren es 95,30% (SD: $\pm 6,89$) und in „Schwer“ 74,75% (SD: $\pm 12,09$). Eine One-Way Within-Subject ANOVA über die Daten ergab eine Signifikanz mit $p < 0,001$ ($F(2,34) = 13,01$; $p < 0,001$). Als Post-hoc Test wurde wieder ein Holm-Sidak Multiple t-Test durchgeführt. Er ergab für den Vergleich zwischen „Kontrolle“ und „Leicht“ sowie „Kontrolle“ und „Schwer“ jeweils ein $p < 0,05$. Der Vergleich der Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ ergab ein $p < 0,001$.

Nachdem die Anzahl und Genauigkeit der Klicks ausgewertet war, wurden die Klicks weiter analysiert. Es wurde untersucht wie häufig in der Sekunde die VPen die Maustaste drückten um eine Antwort zu geben. Bei dieser Überprüfung wurde die „Kontrolle“ nicht berücksichtigt, da die VPen ja nur einmal klicken mussten.

Alle VPen klickten in der Bedingung „Leicht“ öfter als in der Bedingung „Schwer“ (Abbildung 5.7 oben). Die einzige Ausnahme ist VP 8, die bei „Schwer“ 0,88 mal pro Sekunde (SD: $\pm 0,04$) klickte, bei „Leicht“ waren es dagegen 0,84 Klicks (SD: $\pm 0,07$) in der Sekunde. Auffallend war auch das Klickverhalten von VP 18 und VP 5. VP 18 klickte in der „Leicht“-Bedingung mit 1,6 (SD: $\pm 0,14$) Klicks pro Sekunde am häufigsten aller VPen, in der Bedingung „Schwer“ tätigte sie aber nur 0,75 (SD: $\pm 0,24$) Klicks, was aber noch über dem Durchschnitt aller VPen lag. VP 5 machte bei „Leicht“ 1,06 (SD: $\pm 0,05$) Klicks pro Sekunde, bei „Schwer“ aber nur 0,17 (SD: $\pm 0,23$) Klicks, dieser Wert war der niedrigste bei allen VPen.

In der Bedingung „Leicht“ wurden durchschnittlich 1,00 (SD: $\pm 0,64$) Klicks in der Sekunde getätigt und in der Bedingung „Schwer“ 0,65 (SD: $\pm 13,22$) (Abbildung 5.7 Unten). In einem gepaarten t-Test resultierte dieser Vergleich in einem $p < 0,001$ ($t(17) = 5,86$; $p < 0,001$; SD: 0,25).

5: Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente

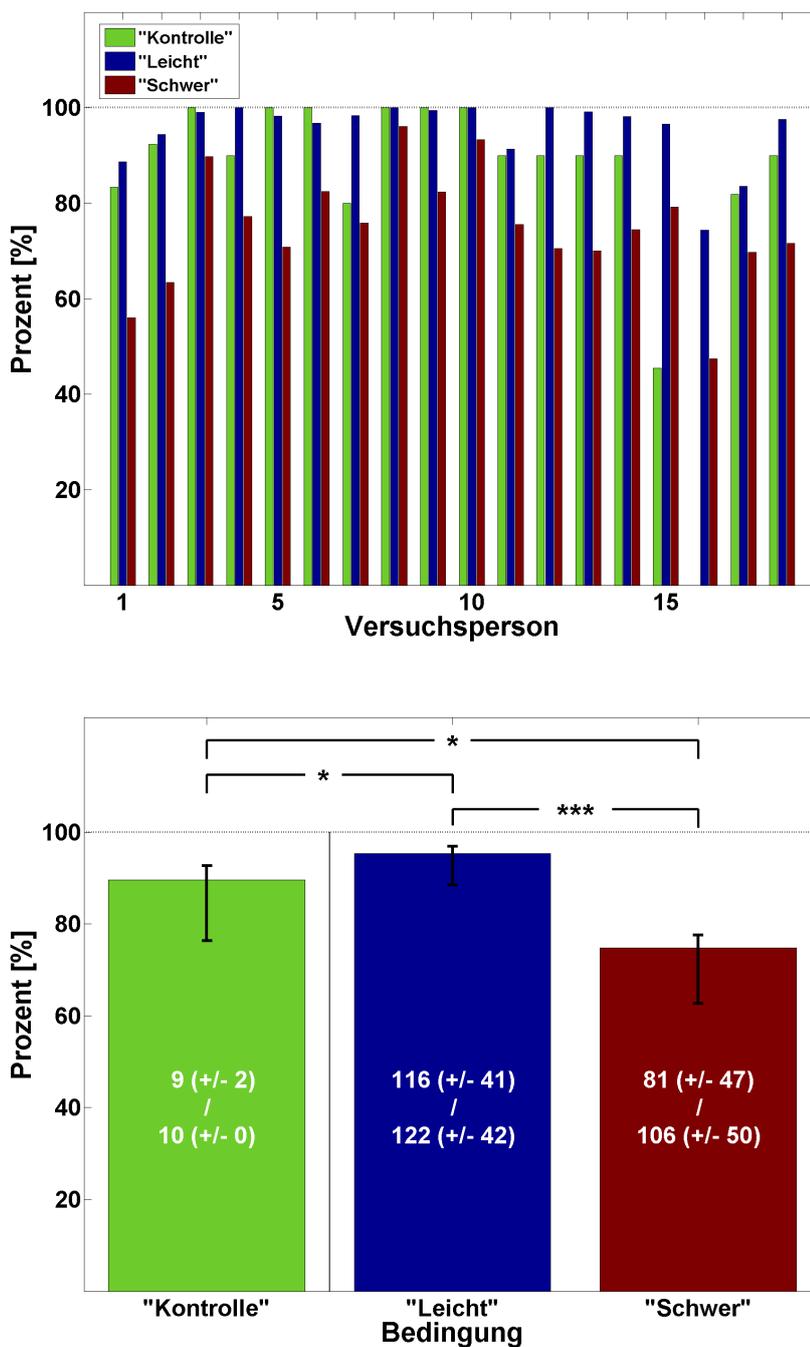


Abbildung 5.6.: Prozentualer Anteil der richtigen Klicks in jeder Bedingung. Oben: Prozentualer Anteil der richtigen Klicks jeder VP. Die VPen sind auf der x-Achse aufgetragen, die Prozente auf der y-Achse. Unten: Prozentualer Anteil gemittelt über alle VPen. Die erste Zahl in den Balken gibt die richtigen Klicks an. Die zweite Zahl gibt die Gesamtzahl an Klicks an. In Klammern ist die Standardabweichung angegeben. Die angegebenen Zahlenwerte wurden gerundet. Alle Bedingungen unterscheiden sich signifikant voneinander. Auf der x-Achse sind die Bedingungen angegeben, auf der y-Achse die Prozente. Die „Kontrolle“ wurde mit der Linie von den beiden anderen Bedingungen getrennt, da bei diesem Versuchsteil nur einmal geklickt werden musste. $n = 18$.

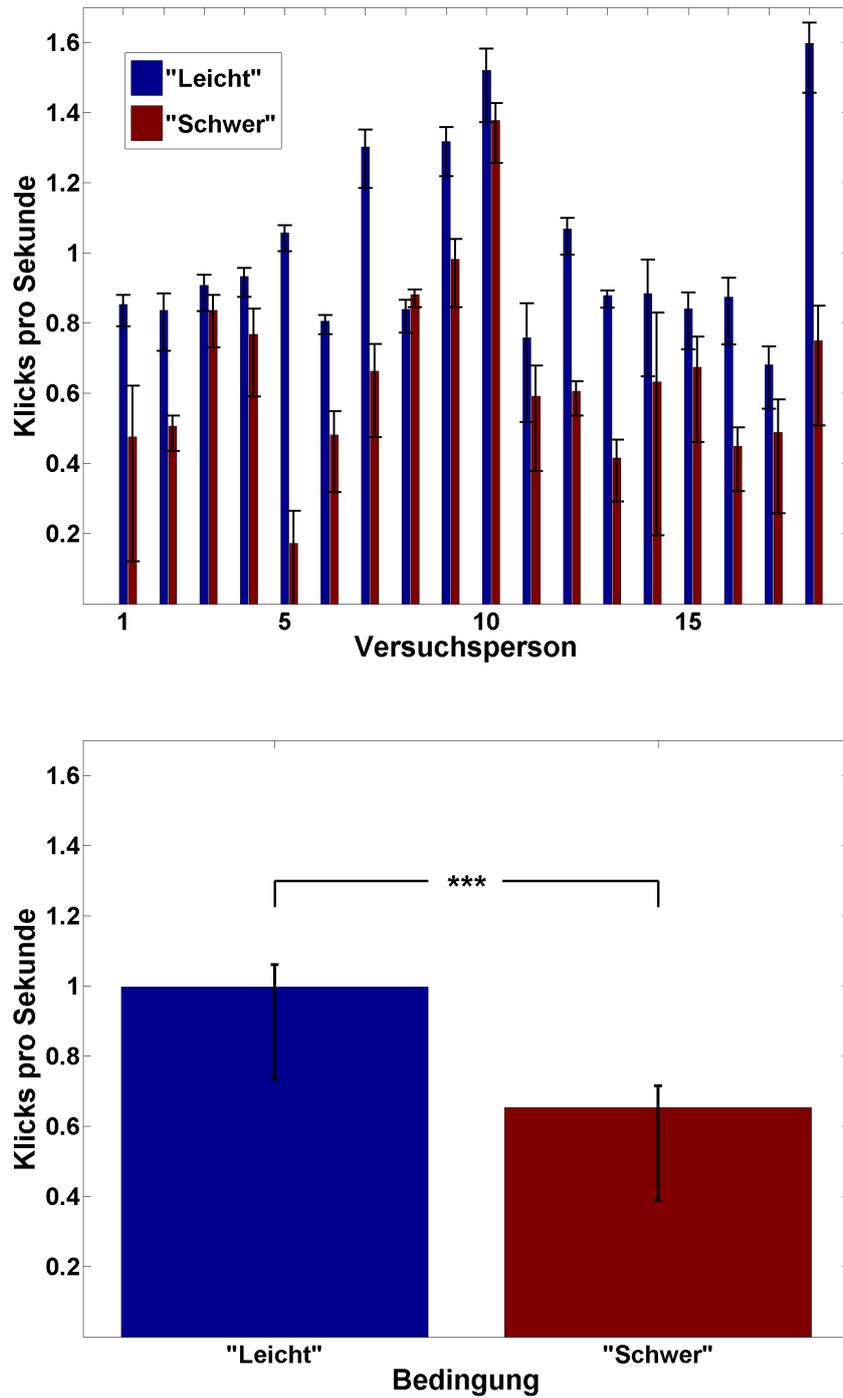


Abbildung 5.7.: Klicks pro Sekunde. Oben: Abgebildet ist die durchschnittliche Anzahl an Klicks, die jede Versuchsperson pro Sekunde in den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ getätigt hat. Die Versuchspersonen sind auf der x-Achse aufgetragen, die Klicks pro Sekunde auf der y-Achse. Unten: Durchschnittliche Anzahl an Klicks pro Sekunde gemittelt über alle VPen. Die beiden Bedingungen unterscheiden sich signifikant. Auf der x-Achse ist die Bedingung dargestellt, auf der y-Achse die gemittelte Anzahl an Klicks pro Sekunde. $n = 18$.

5: Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente

Zuletzt wurde das Klickverhalten in den einzelnen Laufblöcken betrachtet. Um festzustellen, ob die VPen in einem späteren Laufblock öfter klickten als zu Beginn, wurde die gemittelte Anzahl an Klicks aus Laufblock 1 von den anderen 5 Laufblöcken abgezogen und die Ergebnisse in Abbildung 5.8 dargestellt. In der Bedingung „Leicht“ stieg die Anzahl an normierten Klicks in Laufblock 2 und 3 auf 0,052 (SD: $\pm 0,15$) bzw. 0,11 (SD: $\pm 0,23$) Klicks an. Dieser Wert blieb aber auch bei den Laufblöcken 4 und 6 nahezu unverändert, beide Laufblöcke hatten eine normierte Anzahl an Klicks von 0,12 (SD: $\pm 0,05$). In Laufblock 5 fielen die normierten Klicks auf 0,06 (SD: $\pm 0,24$) Klicks pro Sekunde ab.

Ähnlich wie in „Leicht“ konnte auch in „Schwer“ kein kontinuierlicher Anstieg an Klicks festgestellt werden (Abbildung 5.8 unten). In Laufblock 2 gab es praktisch keine Änderung zu Laufblock 1 und in Laufblock 3 nahmen die normierten Klicks sogar gegenüber Laufblock 1 ab (-0,02 (SD: $\pm 0,24$)). Die höchste Zunahme wies Laufblock 4 auf, hier betrug die Klickanzahl 0,12 (SD: $\pm 0,64$). Dieser Wert fiel in den Blöcken 5 und 6 wieder auf 0,05 (SD: $\pm 0,30$ bzw. 0,63) ab.

Die Analyse der Klicks jeder VP in den Laufblöcken zeigte bei 3 VPen in der „Leicht“-Bedingung eine tendenzielle Zunahme der Klicks mit den Laufblöcken. In der Bedingung „Schwer“ trat bei keiner VP eine kontinuierliche Zunahme auf (Anhang D.2).

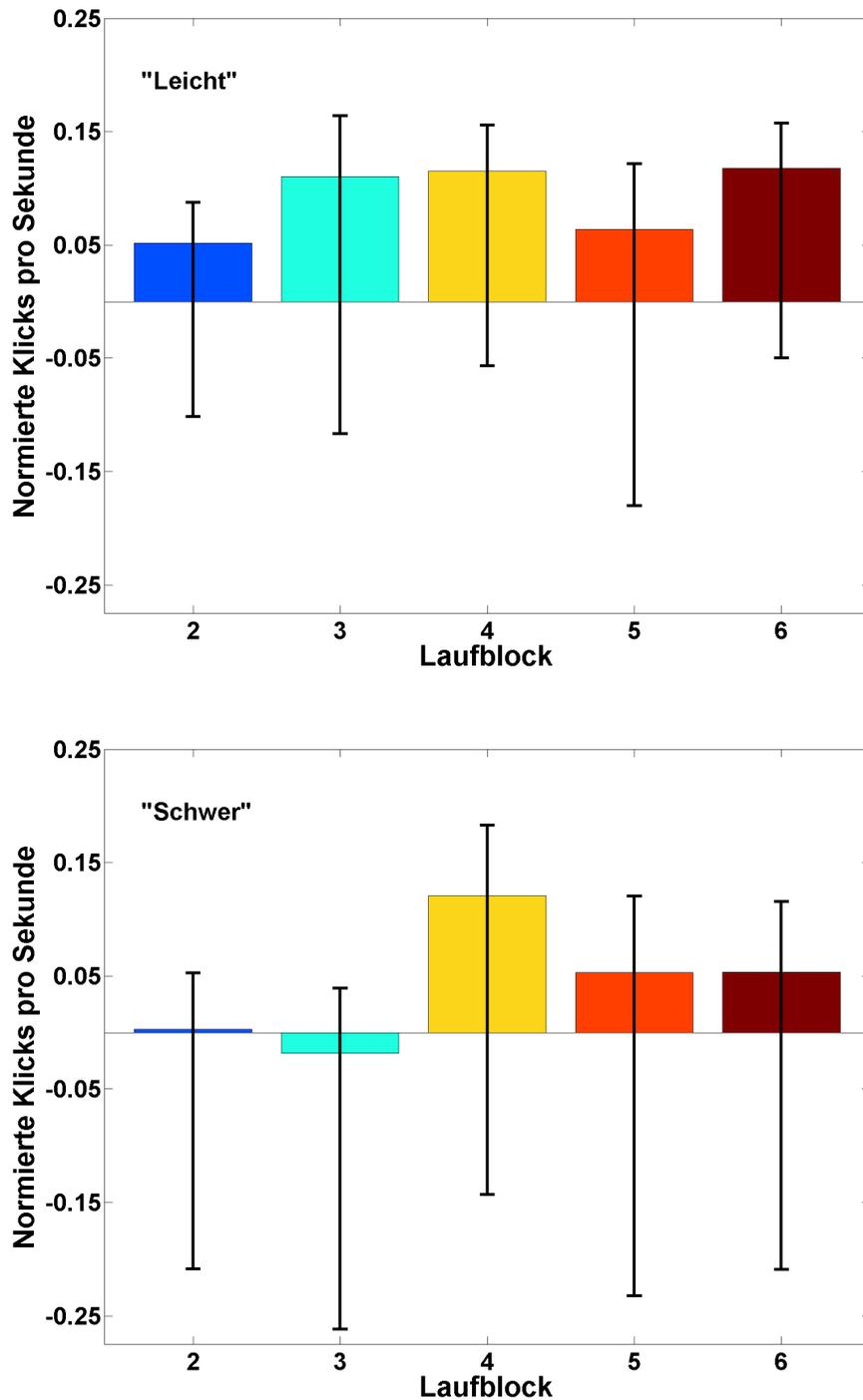


Abbildung 5.8.: Normierte Anzahl an Klicks pro Sekunde für die Laufblöcke 2-6. Von der Anzahl an Klicks im jeweiligen Laufblock wurde die Anzahl an Klicks aus Laufblock 1 abgezogen. Oben: Normierte Klicks in der Bedingung „Leicht“. Unten: Normierte Klicks in der Bedingung „Schwer“. Auf der x-Achse sind jeweils die Laufblöcke aufgetragen, auf der y-Achse die normierte Anzahl an Klicks pro Sekunde. $n = 18$.

5.4.3. Fragebogen

Nach dem Versuch bekamen die VPen einen Fragebogen zum Ausfüllen (Anhang D.4). Je nach Frage konnten die Fragen mit Zahlen von 1-7 (1 entspricht „sehr leicht“), „Ja“ bzw. „Nein“ oder in Stichworten beantwortet werden. An dieser Stelle sollen zwei der Fragen näher betrachtet werden:

„Wie schwierig fandest du das Experiment?“

„Spielst du ein Musikinstrument?“

70% der VPen antworteten auf „Wie schwierig fandest du das Experiment?“ mit „3“, „4“ oder „5“. Der Versuch wurde also als nicht zu schwer angesehen. Der Median aller Antworten lag bei „4“, er ist in der letzten Zeile von Tabelle 5.1 angegeben. In der Tabelle sind auch die restlichen Antworten in Prozent dargestellt. Diese Frage wurde von keiner VP mit „sehr schwer“ beantwortet.

Tabelle 5.1.: Auswertung Fragebogen zu Versuch 3: Bewertung der Schwierigkeit

Bewertung	Versuch insgesamt
1	5%
2	15%
3	20%
4	30%
5	20%
5,5	5%
6	5%
7	-
Median	4

Von den 20 VPen die am Versuch teilnahmen spielten 10 ein Musikinstrument. Es wurde untersucht, ob diese VPen die Richtung der Töne möglicherweise zuverlässiger zuordnen konnten als VPen, die kein Instrument spielten. Um dies vergleichen zu können, wurden die Fehler aus den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ addiert und gegen die Antwort „Ja“ bzw. „Nein“ aufgetragen (Abbildung 5.9). In diese Auswertung flossen nur die Ergebnisse von 18 VPen ein, da bei 2 VPen die getätigten Mausklicks nicht gespeichert werden konnten. Beide VPen spielten kein Musikinstrument. In der Abbildung sind nur 16 Sterne zu sehen, da bei der Antwort „Nein“ die Fehler 23 und 25 zweimal vorkamen.

VPen, die ein Musikinstrument spielten, machten zusammen 272 Fehler, durchschnittlich ergaben sich 27,2 Fehler (SD: $\pm 16,53$) pro VP. Die Gesamtfehlerzahl bei den VPen, die kein Instrument spielten, betrug 287 und lag mit 35,88 (SD: $\pm 29,60$) im Mittel über der Fehlerzahl der anderen Gruppe. Ein ungepaarter t-Test über die

beiden Gruppen ergab allerdings keinen signifikanten Unterschied zwischen den Werten ($t(17) = -0,79$; $p = 0,44$; $SD: 23,17$).

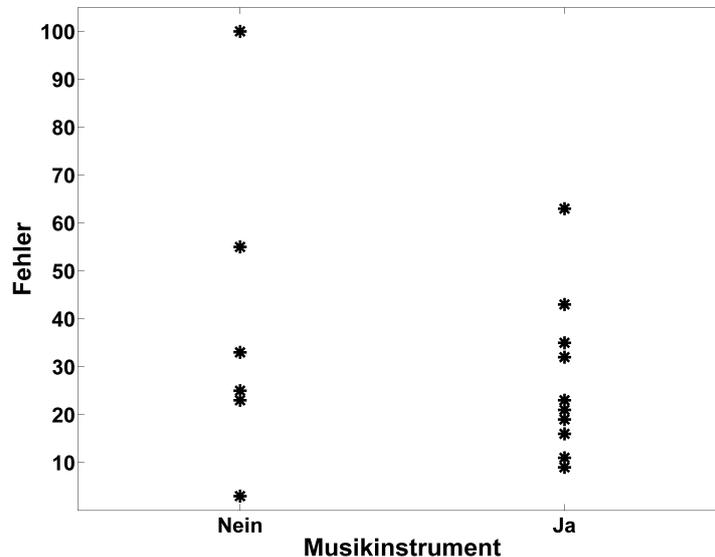


Abbildung 5.9.: Vergleich Fehleranzahl mit Spielen eines Instrumentes. Die Gesamtfehlerzahl in den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ jeder VP wurde gegen ihre Antwort auf die Frage nach einem Musikinstrument aufgetragen. In der Abbildung sind keine 18 Ergebnisse zu sehen, da manche Fehlerzahlen pro Bedingung öfters vorkamen. $n = 18$.

5.5. Ergebnisse 3b: Corsi-Block-Test

5.5.1. Corsi-Block-Test

Nachdem die VPen den Laufversuch absolviert hatten, mussten sie noch einen Corsi-Block-Test machen. Die Ergebnisse, die die VPen dabei erzielten, lagen im Bereich von 4,67 bis 7,33 (Abbildung 5.10). Der Median der Daten lag bei 5,67. Am häufigsten kam die Gedächtnisspanne 5 vor, sie wurde von 6 VPen erreicht. Eine Gedächtnisspanne von 5 bedeutet, dass die VPen sich 5 gezeigte Kreise in der richtigen Reihenfolge merken konnten.

5: Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente

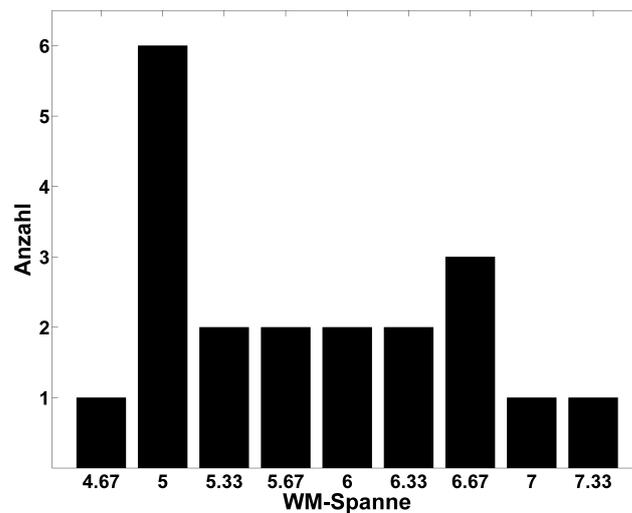


Abbildung 5.10.: Ergebnisse des Corsi-Block-Tests. Auf der x-Achse sind die Gedächtnisspannen der VPen aufgetragen. Auf der y-Achse ist die Häufigkeit der einzelnen Gedächtnisspannen aufgetragen. $n = 20$.

Anschließend wurde überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den Gedächtnisspannen und den Laufgeschwindigkeiten der VPen besteht. Dazu wurde die erreichte Gedächtnisspanne gegen die gemittelte Laufgeschwindigkeit der VP in jeder Bedingung aufgetragen. Das Ergebnis ist in Abbildung 5.11 aufgeführt. Für keine Bedingung konnte ein Zusammenhang zwischen Gedächtnisspanne und Laufgeschwindigkeit nachgewiesen werden.

Das Ergebnis des Corsi-Block-Tests wurde nicht nur mit der Laufgeschwindigkeit, sondern auch mit der Fehleranzahl und der Gesamtanzahl an Klicks der VPen verglichen. Auch hier fiel das Resultat negativ aus und es konnte kein Zusammenhang gefunden werden. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse nicht zusätzlich abgebildet.

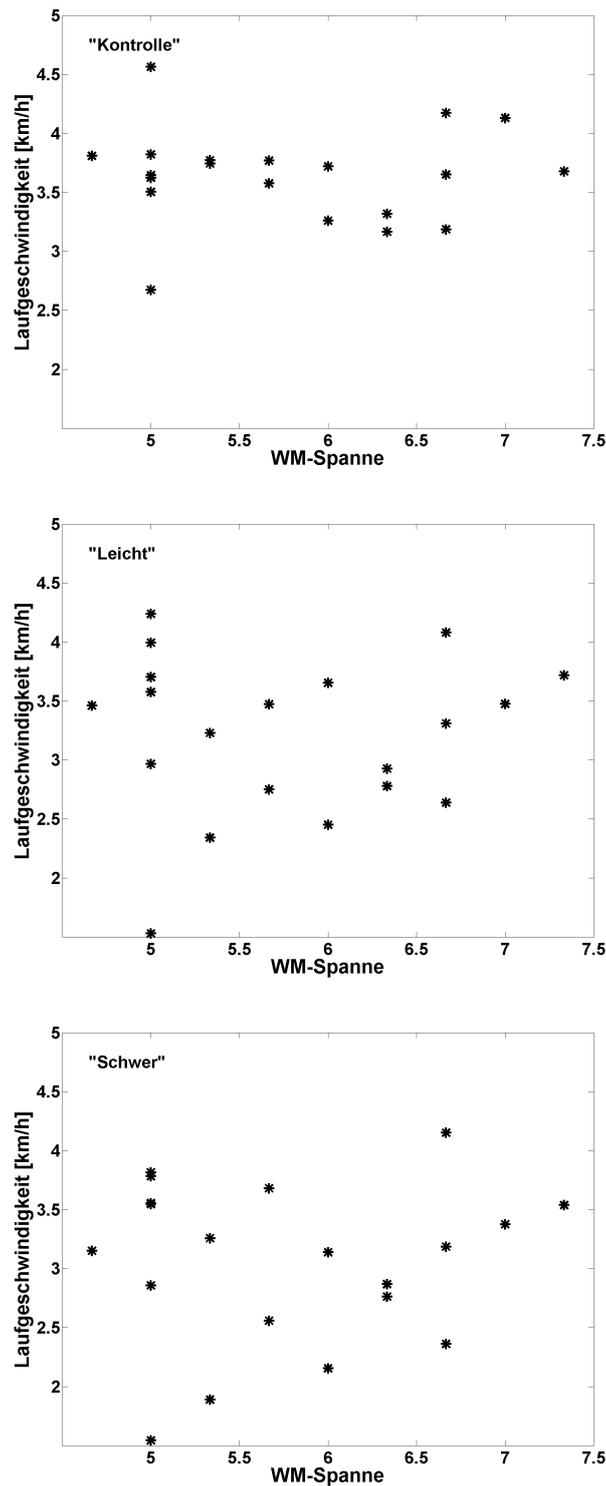


Abbildung 5.11.: Korrelation zwischen Gedächtnisspanne und Laufgeschwindigkeit in der jeweiligen Bedingung. Aufgetragen wurden die Gedächtnisspannen der VPen auf der x-Achse gegen ihre Laufgeschwindigkeiten auf der y-Achse. Bei keiner Bedingung wurde eine Korrelation festgestellt („Kontrolle“: $R^2 = 0,0001$; „Leicht“: $R^2 = 0,003$; „Schwer“: $R^2 = 0,007$). $n = 20$.

5.6. Diskussion

5.6.1. Diskussion 3a: Lokomotion und Dual Task

Das Lokalisieren der Richtung, aus der die vorgespielten Töne kamen, beanspruchte die räumliche Komponente des Arbeitsgedächtnisses.

Wie schon bei den beiden vorigen Versuchen, gab es auch bei diesem Versuch zum Teil beträchtliche Unterschiede in den individuellen Laufzeiten. Die Kontrollbedingung weist bis auf wenige Ausnahmen die geringsten Laufzeiten der 3 Versuchsbedingungen auf, gefolgt von den Laufzeiten in der „Leicht“-Bedingung. Die Laufgeschwindigkeiten verringerten sich in den Bedingungen von „Kontrolle“ über „Leicht“ zu „Schwer“. Das statistische Ergebnis war dasselbe wie beim Vergleich der Laufzeiten, es gab nur einen signifikanten Unterschied zwischen „Kontrolle“ und den anderen Bedingungen.

Weder in „Leicht“ noch in „Schwer“ trat eine kontinuierliche Änderung der Laufgeschwindigkeit auf, die durch einen Lerneffekt zustande gekommen sein könnte. In der „Kontrolle“ erhöhte sich die Geschwindigkeit zwar im zweiten Laufblock, allerdings ist aufgrund der Versuchsdurchführung nicht davon auszugehen, dass diese durch einen Lerneffekt zustande kam, da die VPen in der Teilstrecke, die zur Berechnung der Laufgeschwindigkeiten verwendet wurde, keine weitere Aufgabe während des Laufens ausführten.

Die Laufgeschwindigkeiten der einzelnen Versuchsbedingungen wurden miteinander korreliert, dabei ergab der Vergleich von „Leicht“ und „Schwer“ das höchste Bestimmtheitsmaß. Diese Ergebnisse zeigen, dass mit Zunahme der kognitiven Anforderungen an die VPen, die Korrelation der Laufgeschwindigkeit zur normalen Laufgeschwindigkeit der VPen sinkt. Dies konnte bereits in den Versuchen von Hardiess et al. (in Revision), Odoj (2010), Woollacott & Shumway-Cook (2002) und Beauchet et al. (2005) gezeigt werden. Die Laufgeschwindigkeiten in den beiden Bedingungen, in denen ein Dual Task bearbeitet werden musste, zeigen dagegen eine sehr hohe Korrelation, dies legt nahe, dass bei den beiden Bedingungen ähnliche Prozesse im Arbeitsgedächtnis stattfinden.

Beim Vergleich der Klicks, die von den VPen in jeder Bedingung getätigt wurden, wird deutlich, dass in der „Schwer“-Bedingung deutlich weniger geklickt wurde als in der „Leicht“-Bedingung. Die Werte unterscheiden sich signifikant voneinander. Neben der geringeren Anzahl an Klicks traten in „Schwer“ signifikant mehr Fehler im Schnitt auf, als in „Leicht“, dies spricht dafür, dass die Aufgabe in „Schwer“ für die VPen schwieriger zu lösen war.

In der Kontrollbedingung wurden durchschnittlich 90% der Klicks richtig gemacht, in der „Leicht“-Bedingung waren es sogar 95% und in „Schwer“ nur 75%. Alle Bedingungen unterscheiden sich signifikant voneinander. Die Zahlen zeigen,

dass es in der „Schwer“-Bedingung deutlich schwieriger war die Richtung der Töne korrekt zuzuordnen, dies ist aufgrund der gewählten Winkel zwischen 5° und 15° auch nicht verwunderlich. Zwar können Menschen die Richtung eines Tones bereits ab $2-3^\circ$ richtig zuordnen (Carr & MacLeod, 2010), allerdings traten während des Laufens noch Störgeräusche auf, die die Lokalisation erschwerten.

Interessant ist der Vergleich der korrekten Klicks in der „Kontrolle“ und in „Leicht“. In beiden Bedingungen wurden die gleichen Töne verwendet, so dass man erwarten würde, dass die Prozentzahlen nicht so stark voneinander abweichen. Eine Erklärung für den geringeren Wert in der „Kontrolle“ könnte sein, dass in dieser Bedingung nur ein Ton vorgespielt wurde und sich die VPen nach dem Loslaufen von der Station noch nicht richtig auf die Töne konzentrierten und es somit zu mehr Fehlern kam. Um diese These zu testen, müsste man noch überprüfen, ob die ersten Klicks in der „Leicht“-Bedingung ebenso eine höhere Fehlerquote gegenüber den restlichen Klicks jedes Laufblocks aufweisen.

Trotz allem waren die Versuchsbedingungen nicht zu schwer gewählt, das bestätigen die Prozentzahlen und die VPen im Fragebogen. Sie beurteilten den Versuch durchschnittlich mit einer „4“, was einer mittleren Versuchsschwierigkeit entspricht.

Die Ergebnisse der VPen wurden auch getrennt für alle Laufblöcke untersucht, um feststellen zu können, ob es einen Lerneffekt in einer Bedingung gab. Keine Bedingung deutete einen Lerneffekt gemittelt über die VPen an, der sich in der Zunahme der Laufgeschwindigkeit in den Laufblöcken gezeigt hätte.

Nach dem Versuch sollten die VPen angeben, ob sie ein Musikinstrument spielen. Hinter dieser Frage steckte die Überlegung, dass es für diese VPen leichter sein könnte, einen Ton zu lokalisieren. Die VPen, die kein Instrument spielten, machten im Schnitt 36 Fehler und wiesen damit eine höhere Fehlerzahl auf, als die VPen, die ein Instrument spielten (30 Fehler). Der Unterschied zwischen den beiden Werten erwies sich aber nicht als signifikant, so dass nicht davon auszugehen ist, dass VPen, die ein Instrument spielen einen Vorteil bei diesem Versuch hatten.

Für die Berechnung der Richtungswinkel, aus denen die Töne kamen, wurde ein durchschnittlicher Kopfdurchmesser von 17,5 cm angenommen. Mit diesem Wert wurde die Zeitauflösung berechnet, mit der der zweite Ton abgespielt werden musste, um den entsprechenden Winkel zu erhalten. Der Wert von 17,5 cm wurde aus den Kopfdurchmessern von 50 Studenten aus einem tierphysiologischen Praktikum ermittelt, da kein genauer Wert in der Literatur dazu gefunden wurde. Allerdings führen schon geringe Änderungen des Kopfdurchmessers zu teilweise erheblichen Änderungen im Winkel, einige Beispiele sind in Tabelle 5.2 dargestellt.

Tabelle 5.2.: Änderung des Richtungswinkels mit Änderung des Kopfdurchmessers

Kopfdurchmesser	15 cm	17,5 cm	20 cm
Winkel	$5,7^\circ$	5°	$4,3^\circ$
	$17,5^\circ$	15°	13°
	42°	35°	30°
	60°	50°	42°

In Tabelle 5.2 sieht man, dass eine Verkleinerung des Kopfdurchmessers von 2,5 cm zu einer Vergrößerung des Winkels von 10° führt. Somit ist es für diese VP vermeintlich einfacher den gleichen Ton zu lokalisieren. Trotz der zum Teil beträchtlichen Änderung im Winkel, überschneiden sich die Winkel zwischen den Bedingungen „Leicht“ und „Schwer“ nicht, so dass für jede VP leichte und schwere Winkel zu unterscheiden waren. Idealerweise hätte aber vor jedem Versuch der Kopfdurchmesser der VP gemessen werden müssen und mit diesem individuellen Wert die Töne erstellt und anschließend abgespielt werden müssen, um für jede VP den gleichen Winkel zu erhalten.

Dennoch konnte in diesem dritten Versuch gezeigt werden, dass sich die Laufgeschwindigkeiten verringern, wenn die VPen einen Dual Task machen müssen. Im Vergleich zur Kontrollbedingung, in der die reine Laufgeschwindigkeit gemessen wurde, sank die Geschwindigkeit bei den beiden Dual Tasks deutlich ab. Es konnte auch gezeigt werden, dass die Geschwindigkeit unterschiedlich stark durch den Dual Task beeinflusst wird und sie in der schwierigeren Bedingungen stärker abnimmt. Die Laufgeschwindigkeiten sind in „Leicht“ höher als in „Schwer“, konnten aber nicht als statistisch verschieden nachgewiesen werden.

5.6.2. Diskussion 3b: Corsi-Block-Test

Auch bei diesem Versuch mussten die VPen als Vergleichstest zwischen den VPen einen Corsi-Block-Test machen. Die Gedächtnisspannen, die von den VPen erreicht wurden, reichten von 4,67 bis 7,33. Wie bei Versuch 2 lag auch bei diesem Versuch der Median bei 5,67. Die Ergebnisse liegen in dem von Kemps et al. (2000) und Cowan (2000) angegebenen Gedächtnisbereich.

Genau wie in Versuch 2, nutzten auch die meisten dieser VPen den Mauscursor zum Markieren der Startposition der gezeigten Kreisreihenfolge, um sich den Versuch etwas zu erleichtern. Das heißt, dass auch diese gemessenen Gedächtnisspannen eventuell nicht die exakten Gedächtnisspannen wiedergeben. Die Messungen der beiden Corsi-Block-Tests fanden über den gleichen Zeitraum statt, deshalb wurde die Änderung in der Anzeige des Mausursors nicht vorgenommen.

Auch bei diesem Versuch wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen im Corsi-Block-Test und den Daten bezüglich Laufgeschwindigkeit und Fehleranzahl der VPen gab. Auch bei diesen VPen kann man keine Aussage über ihre Leistung im Dual Task anhand der Ergebnisse aus dem Corsi-Block-Test treffen, da kein Zusammenhang zwischen den Daten festgestellt werden konnte.

6. Allgemeine Diskussion

Ziel dieser Diplomarbeit war zu zeigen, dass Laufen kein automatisch ablaufender Prozess ist, sondern kognitiven Einflüssen unterliegt und dass die Laufgeschwindigkeit deshalb durch verschiedene kognitive Aufgaben unterschiedlich stark beeinflusst werden kann.

In den 3 Versuchen, die im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführt wurden, wurde in jedem Versuch eine andere Komponente des Arbeitsgedächtnisses durch einen Dual Task beansprucht. Es wurde gemessen, welchen Einfluss unterschiedliche Schwierigkeitsgrade des jeweiligen Dual Tasks auf die Laufgeschwindigkeit haben. Dabei konnte bei jedem Versuch gezeigt werden, dass sich die Laufgeschwindigkeit verringert, wenn die Schwierigkeit im Dual Task erhöht wird. In einigen anderen Arbeiten konnte bereits ein „trade-off“ zwischen Arbeitsgedächtnislastung und Laufgeschwindigkeit gezeigt werden, z.B. bei Hardiess et al. (in Revision), Woolacott & Shumway-Cook (2002) sowie Odoj (2010).

Betrachtet man die Laufgeschwindigkeiten der Kontrollbedingungen aus den Versuchen, so sieht man, dass diese bei Belastung der zentralen Exekutive im ersten Versuch bei 3,22 km/h liegt. Im zweiten Versuch, als die visuelle Komponente des Arbeitsgedächtnisses beansprucht wurde, lag die Geschwindigkeit in der Kontrollbedingung sogar bei 3,68 km/h und beim dritten Versuch mit Belastung der räumlichen Komponente bei 3,64 km/h. Die beiden Geschwindigkeiten aus den Versuchen 2 und 3 sind nahezu identisch, die Geschwindigkeit aus Versuch 1 ist etwas geringer. Das könnte daran liegen, dass in diesem Versuch nicht die reine Laufgeschwindigkeit gemessen wurde, sondern die Geschwindigkeit bei einem sehr einfachen Dual Task, das Abziehen von Zahlen in „2er“-Schritten. Auch wenn alle VPen bestätigten, dass diese Aufgabe „automatisch“ und ohne rechnen durchzuführen war, wurden dennoch kognitive Prozesse beansprucht.

Sollte die Hypothese zutreffen, dass so genannte „templates“ für das Rückwärtszählen in „2er“-Schritten vorhanden sind, müssen diese „templates“ dennoch aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden und dieser Vorgang benötigt einen kleinen Teil der zur Verfügung stehenden Ressourcen, auch wenn die VPen von einem automatischen Prozess sprachen. Möglicherweise kann dadurch die etwas geringere Laufgeschwindigkeit erklärt werden. Eine andere Erklärung wären die Unterschiede der individuellen Laufgeschwindigkeiten. Die 3 Versuche wurden von verschiedenen VPen absolviert und im Vergleich der individuellen Laufgeschwindigkeiten in den einzelnen Versuchen gab es zum Teil erhebliche Unterschiede. Eventuell laufen die VPen aus Versuch 1 allgemein langsamer als die VPen aus den Versuchen 2 und 3 und dies ist der eigentliche Grund für die Unterschiede in der Geschwindigkeit

und nicht das Abrufen der „templates“. Um feststellen zu können, welche der beiden Annahmen der Grund für die niedrigere Laufgeschwindigkeit in Versuch 1 ist, hätten alle 3 Versuche von den selben VPen durchgeführt werden müssen, dann wäre der Effekt der individuellen Unterschiede nicht so stark vorhanden gewesen, auch wenn in der Auswertung dieser Effekt durch eine Within-Subject Analyse verringert wurde.

Vergleicht man die Laufgeschwindigkeiten bei den Dual Tasks, so fällt auf, dass der Unterschied der beiden Geschwindigkeiten in Versuch 3 relativ zueinander etwas größer ist als bei Versuch 2. In Versuch 3 betragen die Geschwindigkeiten bei „Leicht“ und „Schwer“ 3,21 km/h bzw. 3,06 km/h. In Versuch 2 sind es 2,90 km/h in „Leicht“ und 2,82 km/h in „Schwer“.

Betrachtet man neben den Laufgeschwindigkeiten noch die prozentualen Anteile, mit der die jeweilige Aufgabe richtig ausgeführt wurde, sieht man, dass der Unterschied in Versuch 3 größer ist. Die „leichte“ Bedingung wurde mit 95,30% richtig gemacht, in der „schweren“ Bedingung waren es dagegen nur 74,75%, die beiden Bedingungen unterscheiden sich also um ca. 20%. In Versuch 2 betrug der Unterschied zwischen den beiden Bedingungen knapp 5% („Leicht“: 90,37%, „Schwer“: 85,73%). Diese Prozentangaben zeigen, dass die beiden Bedingungen in Versuch 3 im Vergleich zu den Bedingungen in Versuch 2 relativ schwerer zueinander sind. Dies spiegelt sich neben den Prozentzahlen auch in den Laufgeschwindigkeiten wieder, die sich stärker voneinander unterscheiden als in Versuch 2.

Die Laufgeschwindigkeiten in Versuch 1 unterscheiden sich in der „3er“- und „7er“-Bedingung mit durchschnittlich 3,12 km/h und 3,01 km/h voneinander. Dieser Unterschied liegt zwischen den beiden aus den Versuchen 2 und 3, allerdings weist Versuch 1 im Vergleich der prozentual richtigen Antworten nur einen Unterschied von 2% auf („3er“: 96,9%, „7er“: 94,8%). In den Versuchen 2 und 3 trugen die VPen einen Laptop auf dem Rücken und mussten ihre Antworten per Mausclick geben, dies könnte die Laufgeschwindigkeiten anders beeinflussen als in Versuch 1, der ohne Laptop durchgeführt wurde, deshalb wurden in diesem Fall nur die Versuche 2 und 3 verglichen.

Ein Vergleich der Korrelationen der Laufgeschwindigkeiten in den 3 Versuchen zeigt, dass die Bestimmtheitsmaße in Versuch 1 am wenigsten voneinander abweichen. Die Bestimmtheitsmaße lagen alle zwischen $R^2 = 0,80$ und $R^2 = 0,89$. Bei den Versuchen 2 und 3 wiesen die Korrelationen der Laufgeschwindigkeiten der „Leicht“- und „Schwer“-Bedingungen mit $R^2 = 0,89$ bzw. $R^2 = 0,92$ ebenfalls sehr hohe Werte auf.

In Versuch 2 lagen die Vergleiche zwischen „Kontrolle“ und „Leicht“ bei $R^2 = 0,63$ sowie zwischen „Kontrolle“ und „Schwer“ bei $R^2 = 0,60$. In Versuch 3 lagen die Vergleiche bei $R^2 = 0,62$ zwischen „Kontrolle“ und „Leicht“ bzw. $R^2 = 0,54$ zwischen „Kontrolle“ und „Schwer“. Die etwas niedrigeren Werte in Versuch 3 im Vergleich zu Versuch 2, könnten durch den etwas schwierigeren dritten Versuch erklärt werden. So wurden in Versuch 3 in der „Schwer“-Bedingung 75% richtig gemacht, in Versuch 2 waren es dagegen 82%.

In der „Leicht“-Bedingung wurden in Versuch 3 95% richtig gemacht und in Versuch 2 90%. In den Bestimmtheitsmaßen ergaben sich mit $R^2 = 0,62$ bzw. $R^2 = 0,63$

ähnliche Werte.

Die Werte aus der Kontrollbedingung der Versuche 2 und 3 haben ähnliche Werte wie die Bestimmtheitsmaße aus Versuch 1.

Neben der Laufgeschwindigkeit kann z.B. auch die Gangstabilität durch einen Dual Task beeinflusst werden, dies wurde unter anderem von Beauchet et al. (2005) nachgewiesen. Die Auswirkung auf die Gangstabilität wurde in dieser Diplomarbeit nicht genauer untersucht. Zwar wurde beobachtet, dass manche VPen auf einer sehr geraden Strecke zwischen den Stationen liefen und andere verstärkt in Schlangenlinien. In Abbildung 6.1 sind 2 Extrembeispiele gezeigt. Die Schlangenlinie könnte durch den Dual Task zustande kommen, aber es könnte auch daran liegen, dass manche VPen sehr bedacht darauf waren, nicht von der vorgegebenen Markierung abzuweichen. Andere VPen beachteten die Markierung zwar, aber versuchten nicht auf ihr zu laufen.

Die Positionsbestimmung wurde mit einem Headtracker durchgeführt, dies macht Rückschlüsse auf das Schwanken beim Laufen und eine eventuell dadurch größere zurückgelegte Strecke ungenau. Ein leichtes Bewegen des Kopfes, das z.B. auch durch Niesen verursacht werden kann, führt schon zu einer vermeintlich größeren Wegstrecke, obwohl die VP eigentlich normal lief. In den gespeicherten Daten ist deshalb nicht genau zu sagen, wodurch eventuelle Abweichungen von einer geraden Strecke verursacht wurden. Aus diesem Grund wurden diese Daten nicht weiter analysiert. Um den Einfluss auf die Gangstabilität zu überprüfen, müssten andere technische Mittel eingesetzt werden.

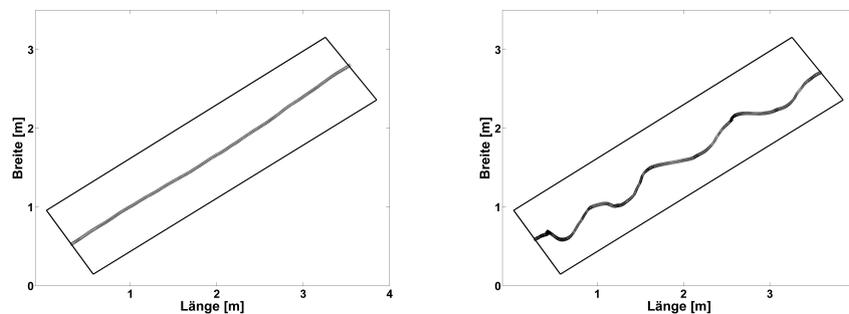


Abbildung 6.1.: Trajektorien von 2 VPen. Links: Trajektorie einer VP, die sehr genau auf der Markierung blieb. Rechts: Trajektorie einer VP, die die Markierung nicht so stark beachtete.

In den Versuchen 2 und 3 wurden die Gedächtnisspannen der VPen ermittelt, dazu mussten die VPen einen Corsi-Block-Test machen. Die Gedächtnisspannen, die in beiden Versuchen erreicht wurden, weichen nicht sehr stark voneinander ab. Insgesamt lagen die Ergebnisse in einem Bereich zwischen 4,33 und 7,33. Diese Werte liegen alle in dem von Cowan (2000) beschriebenen Bereich von 4 ± 1 und Kemps et al. (2000) beschriebenen Bereich von 7 Gedächtniseinheiten. Es gab keine VP, die einen überdurchschnittlich hohen Wert erreichte, auch wenn 2 VPen im Corsi Task bis zur vorletzten Stufe mit 9 gezeigten Kreisen gelangten. Die Musteranordnung und Kreisreihenfolge wurde jeweils randomisiert ausgewählt. Bei manchen

Musteranordnungen war es teilweise einfacher, sich die Reihenfolge zu merken. So kam es z.B. bei Muster 5 im Anhang E vor, dass die Kreise nacheinander in der obersten Reihe von rechts nach links gezeigt wurden. Die Reihenfolge dieser 3 Kreise kann man sich sehr viel einfacher merken, indem man einen „chunk“ bildet (Gobet et al., 2001), als 3 Kreise, die in verschiedenen Ecken des Musters gezeigt werden. Da es schon genügte, wenn man einmal die Reihenfolge in einer Versuchsbedingung richtig hatte, konnte man durchaus eine höhere Stufe erreichen, wenn eine „einfachere“ Reihenfolge der Kreise gezeigt wurde. Um solche vermeintlichen Vorteile nicht zu stark zu bewerten, wurde als Gedächtnisspanne nicht die Zahl der Kreise aus der erreichten Versuchsbedingung verwendet, sondern es flossen alle Durchgänge mit in die Auswertung ein. Übernommen wurde diese Auswertungsmethode von Lépine et al. (2005). Anders als bei Lépine et al. (2005) wurde allerdings auf die Stufen, bei denen 1 bzw. 2 Kreise gezeigt werden, ausgelassen, da davon ausgegangen wurde, dass diese von allen VPen richtig gemacht werden. Leider war es nicht möglich, die Gedächtnisspannen mit der Laufgeschwindigkeit in Zusammenhang zu bringen.

In dieser Diplomarbeit konnte gezeigt werden, dass Lokomotion einem kognitiven Einfluss unterliegt. Dies konnte durch die Interferenz mit Dual Tasks, die unterschiedliche Komponenten des Arbeitsgedächtnisses belasteten, belegt werden. Alle 3 getesteten Domänen des Arbeitsgedächtnisses erwiesen sich dabei als fast gleich wirksam.

Es gibt noch weitere Faktoren, wie z.B. „spatial updating“ und Hindernisvermeidung, die wahrscheinlich beim Laufen eine Rolle spielen und zusätzlich um die Ressourcen konkurrieren. Diese Faktoren wurden in dieser Diplomarbeit nicht berücksichtigt. Um eine bessere Vorstellung davon zu bekommen, welche Faktoren welchen Einfluss auf die Lokomotion ausüben, müssen weitere Experimente durchgeführt werden.

A. Allgemeines

A.1. Allgemeine Probandeninformation

Der Titel für das Experiment wurde für jeden Versuch entsprechend abgeändert.

Probandeninformation zum Experiment und Einverständniserklärung zur Teilnahme

Experiment: Untersuchung von Arithmetik und Arbeitsgedächtnis
Name des Versuchsleiters: Andrea Röser

Sie werden heute an einem psychophysischen Experiment zur Funktion des Arbeitsgedächtnisses beim Menschen teilnehmen. Ihre Laufbewegungen werden während des Experimentes mit Hilfe von Tracking-Geräten registriert. Das Registrieren der Bewegungen durch entsprechende Tracking-Geräte ist nicht invasiv, kann nicht zu Schäden führen und hat keine Nebenwirkungen.

Ihre persönlichen, während dieser Studie erhobenen, Daten werden im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen - in anonymisierter Form - publiziert und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert.

Die Teilnahme erfolgt freiwillig und kann zu jedem Zeitpunkt ohne Angaben von Gründen abgebrochen werden.

Name der Versuchsperson (in Druckbuchstaben): _____

Ich erkläre mich bereit, an dem o.g. Experiment teilzunehmen.
Ich habe den Text der Probandeninformation und dieser Einverständniserklärung gelesen und verstanden. Aufgetretene Fragen wurden mir verständlich und vollständig beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, Fragen zu stellen und mich für oder gegen eine Teilnahme zu entscheiden.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine persönlichen, während dieser Studie erhobenen, Daten im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen - in anonymisierter Form - publiziert und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert werden.

Versuchsperson

Datum

Unterschrift

B. Versuch 1: Interferenz mit der zentralen Exekutive

B.1. Versuchsanleitung

Versuchsanleitung

Danke für die Teilnahme an diesem Versuch!

Deine Aufgabe besteht darin, zwischen zwei ca. 6m entfernten Stationen (A und B) hin- und herzulaufen und an Station A einfache Matheaufgaben (nur Addition und Subtraktion) zu lösen. Die Matheaufgaben befinden sich verdeckt auf einem Stapel. Nach Erreichen der Station musst du die jeweilige Aufgabe lösen und das Ergebnis der Versuchsleiterin mitteilen.

Als weitere Aufgabe sollst du beim Laufen zwischen den Stationen A und B in 2er-, 3er- bzw. 7er-Schritten laut Rückwärtszählen. Du zählst so lange rückwärts, bis du von der Versuchsleiterin das Signal zum Stoppen bekommst. Das Rückwärtszählen beginnst du mit der Zahl, die du als Ergebnis errechnet hast. Die Schrittgröße (2, 3 oder 7) wird dir bei jedem Versuchsdurchgang von der Versuchsleiterin genannt.

Wichtig ist, dass du **LAUT** und **ZÜGIG** rückwärts zählst.

Dein letztes Rückwärtszähl-Ergebnis notierst du an Station A auf dem bereit liegenden Zettel. Anschließend drehst du die oberste Karte auf dem Stapel um und berechnest die nächste Matheaufgabe. Nachdem du dein Ergebnis laut genannt hast, läufst du wieder zwischen den Stationen hin und her und zählst dabei laut rückwärts usw.

Während eines Versuchsdurchganges berechnest du 6 Matheaufgaben und zählst 6mal rückwärts. Jeder Versuchsdurchgang beginnt und endet an Station A.

Während des gesamten Experimentes werden 3 Versuchsdurchgänge durchgeführt, je einer für die 2er-, 3er- und 7er-Subtraktion. Zwischen den 3 Versuchsdurchgängen gibt es jeweils eine kurze Pause, während der du an Station A wartest.

Alle Matheaufgaben sollen **so zügig und korrekt** wie möglich berechnet werden.

Während des Versuches trägst du einen Tracking-Helm. Dieser ermöglicht es uns, mittels Infrarotkameras deine Bewegungen zu messen.

Viel Spaß und Erfolg beim Experiment.

B.2. Rechnungen

2er:

$271 \quad 140 + 120 + 11 = ?$

$143 \quad 150 - 77 + 70 = ?$

$255 \quad 358 - 50 - 53 = ?$

$169 \quad 90 + 90 - 11 = ?$

$347 \quad 235 + 145 - 33 = ?$

$201 \quad 101 + 49 + 51 = ?$

$153 \quad 60 + 51 + 42 = ?$

$329 \quad 419 - 35 - 55 = ?$

$115 \quad 300 - 305 + 120 = ?$

$287 \quad 401 - 40 - 74 = ?$

$339 \quad 340 - 29 + 28 = ?$

$367 \quad 293 + 60 + 14 = ?$

3er:

$161 \quad 50 + 24 + 87 = ?$

$241 \quad 136 + 136 - 31 = ?$

$181 \quad 66 + 30 + 85 = ?$

$314 \quad 350 - 22 - 14 = ?$

$204 \quad 294 - 102 + 12 = ?$

$234 \quad 281 - 81 + 34 = ?$

$177 \quad 261 - 61 - 23 = ?$

$307 \quad 240 + 80 - 13 = ?$

$257 \quad 100 + 83 + 74 = ?$

$327 \quad 400 - 32 - 41 = ?$

$151 \quad 135 + 35 - 19 = ?$

$387 \quad 323 + 47 + 17 = ?$

7er:

$255 \quad 310 - 40 - 15 = ?$

$135 \quad 60 + 64 + 11 = ?$

$279 \quad 153 + 127 - 1 = ?$

$389 \quad 434 - 34 - 11 = ?$

$162 \quad 200 - 60 + 22 = ?$

$312 \quad 200 + 43 + 69 = ?$

$242 \quad 403 - 133 - 28 = ?$

$323 \quad 400 - 110 + 33 = ?$

$193 \quad 140 + 70 - 17 = ?$

$203 \quad 110 + 70 + 23 = ?$

$349 \quad 318 + 42 - 11 = ?$

$125 \quad 200 - 35 - 40 = ?$

B.3. Fragebogen

Fragebogen

- Bitte kreise die Zahl ein, die am ehesten deiner Antwort entspricht -

- Hat dir das Experiment Spaß gemacht?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel
- Warst du motiviert?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel
- Wie schwierig fandest du das Experiment?
sehr leicht 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr schwer
- Wie schwierig fandest du das Rückwärtszählen in 7er-Schritten im Vergleich zu den 2er-Schritten?
sehr leicht 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr schwer
- Wie schwierig fandest du das Rückwärtszählen in 3er-Schritten im Vergleich zu den 2er-Schritten?
sehr leicht 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr schwer

C. Versuch 2: Interferenz mit der visuellen Komponente

C.1. Versuchsanleitung

Versuchsanleitung

Danke für die Teilnahme an diesem Versuch!

Deine Aufgabe besteht darin, zwischen zwei ca. 6m entfernten Stationen (A und B) hin- und herzulaufen und an Station A die dargestellte Uhrzeit zu nennen. Die Uhrzeiten befinden sich verdeckt auf einem Stapel. Nach Erreichen der Station musst du die jeweilige Uhrzeit erkennen und die Zeit der Versuchsleiterin mitteilen.

Als weitere Aufgabe sollst du beim Laufen zwischen den Stationen A und B die Stellung der Uhrzeiger beurteilen. Befinden sich beide Zeiger der genannten Uhrzeit auf der **gleichen** Hälfte der Uhr, drückst du die **linke** Maustaste. Befinden sich die beiden Zeiger **nicht** auf der gleichen Hälfte, drückst du die **rechte** Maustaste.

Nachdem du eine Maustaste gedrückt hast, bekommst du eine neue Uhrzeit genannt. Du musst wiederum die Stellung der Zeiger beurteilen und die entsprechende Maustaste (gleiche Hälfte = links; andere Hälfte = rechts) drücken.

Du beurteilst so lange die Stellung der Uhrzeiger, bis du von der Versuchsleiterin das Signal zum Stoppen bekommst. Die Uhrzeit, die du an Station A genannt hast, dient als Startuhrzeit und du drückst je nach Zeigerstellung die entsprechende Maustaste.

Wichtig ist, dass du die Zeigerstellungen **ZÜGIG** beurteilst.

Nachdem du das **Stoppsignal** von der Versuchsleiterin bekommen hast, drückst du das **Mausrad** und gehst zurück zu Station A.

Anschließend drehst du die oberste Karte auf dem Stapel um und benennst die nächste Uhrzeit. Nachdem du die Zeit laut genannt hast, läufst du wieder zwischen den Stationen hin und her und drückst für jede genannte Uhrzeit eine Maustaste.

Während eines Versuchsdurchganges benennst du 6 Uhrzeiten und läufst 6mal zwischen den Stationen hin und her. Jeder Versuchsdurchgang beginnt an Station A.

Während des gesamten Experimentes werden 2 Versuchsdurchgänge durchgeführt. Zwischen den 2 Versuchsdurchgängen gibt es eine kurze Pause, während der du an Station A wartest.

Alle Uhrzeiten sollen **so zügig und korrekt** wie möglich beurteilt werden.

Während des Versuches trägst du einen Tracking-Helm. Dieser ermöglicht es uns, mittels Infrarotkameras deine Bewegungen zu messen. Außerdem trägst du einen Rucksack. An diesem ist ein Laptop befestigt ist, mittels welchem die Tastendrucke erfasst werden.

Viel Spaß und Erfolg beim Experiment.

C.2. Klicks pro Sekunde

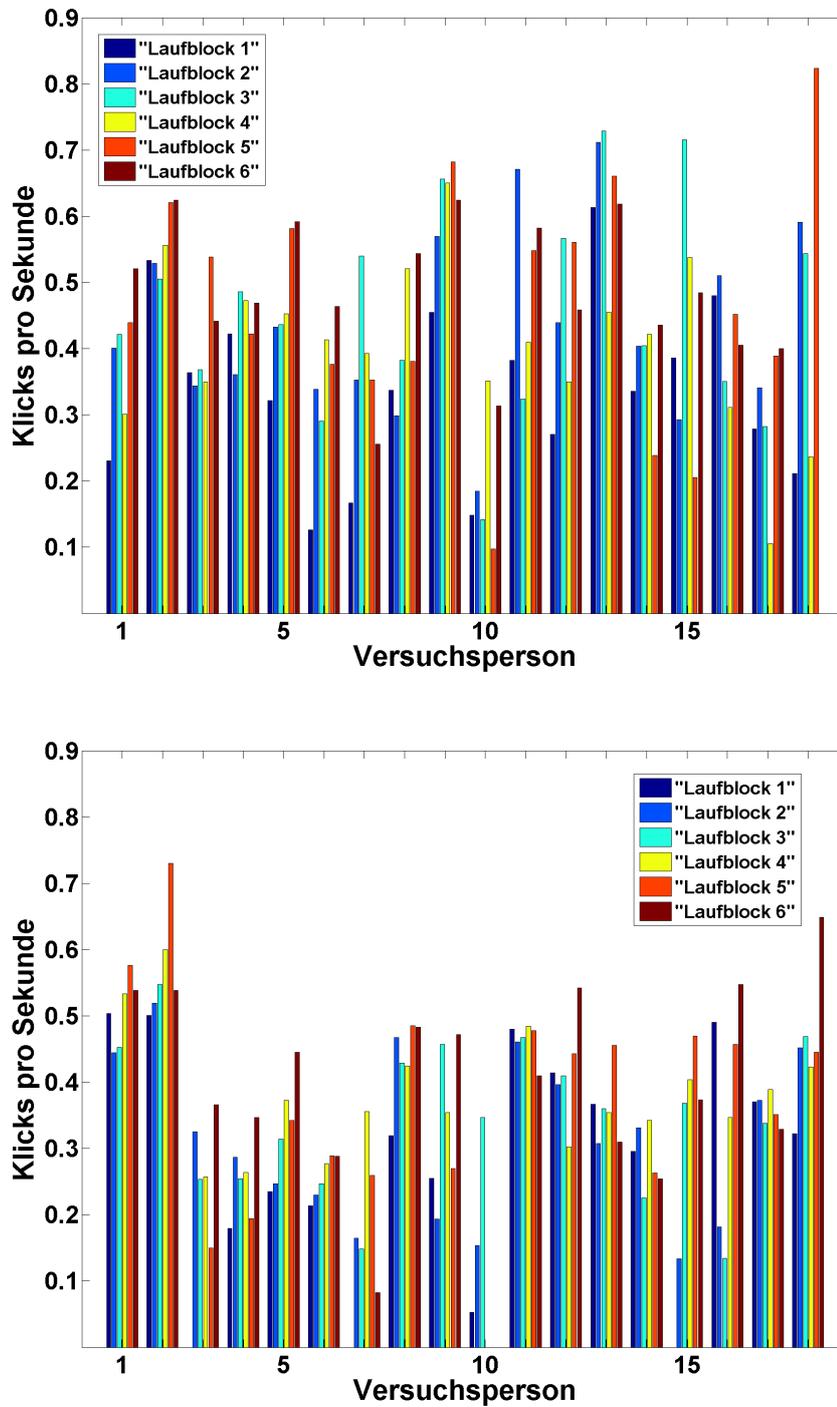


Abbildung C.1.: Klicks pro Sekunde pro VP in Versuch 2.

C.3. Gedrehte und gespiegelte Uhren

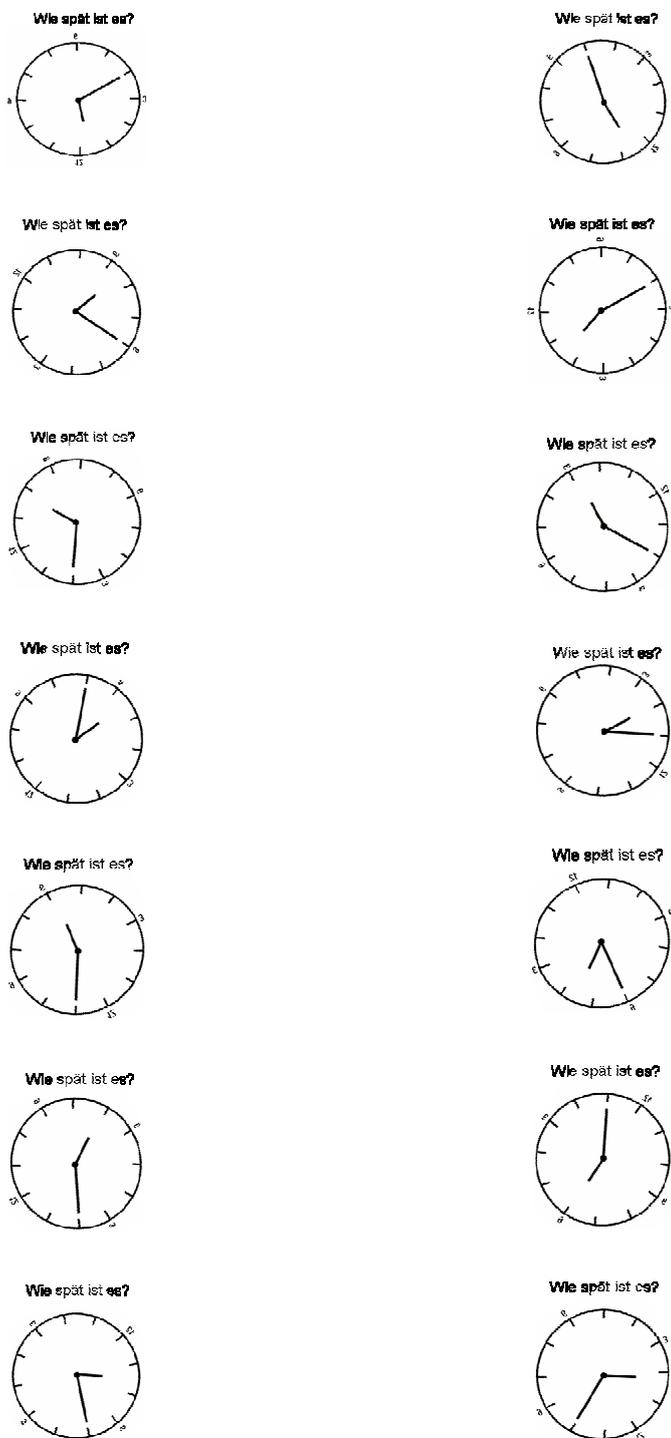


Abbildung C.2.: Die verwendeten gedrehten und gespiegelten Uhren.

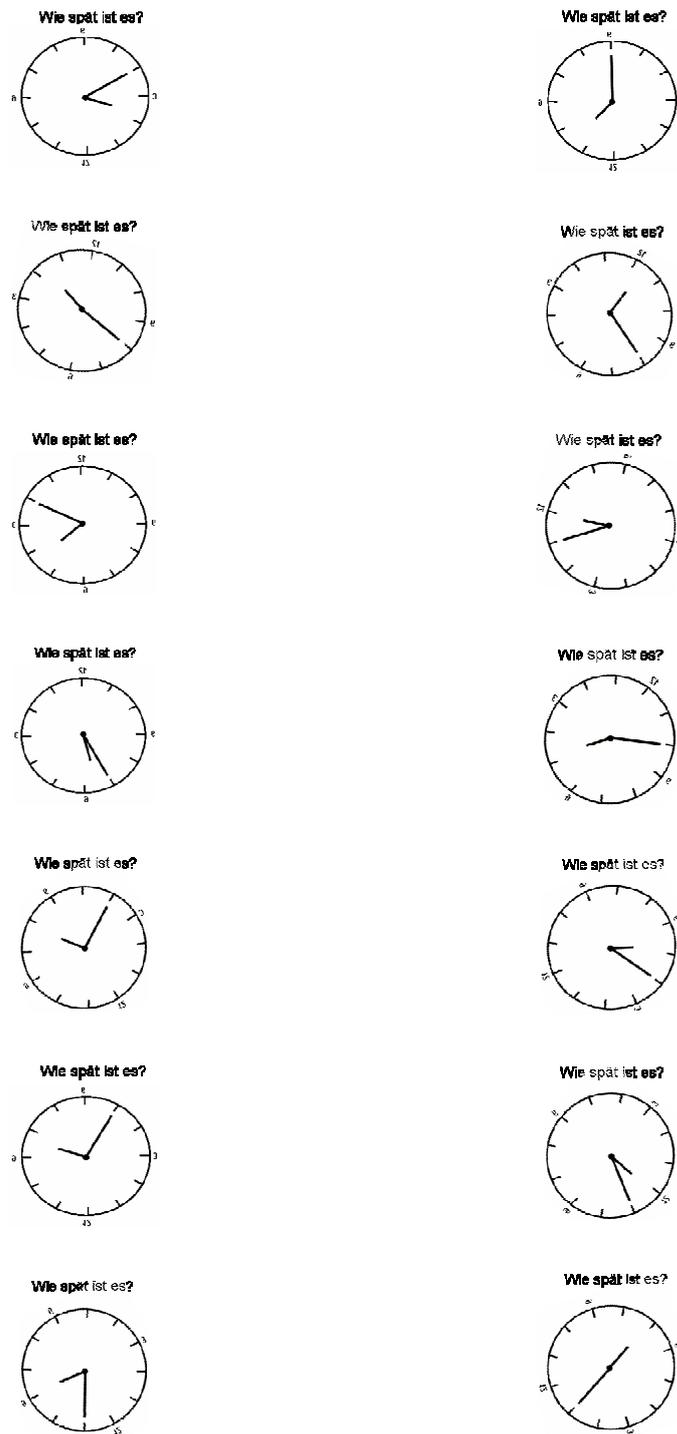


Abbildung C.3.: Die verwendeten gedrehten und gespiegelten Uhren.

C.4. Normale Uhren

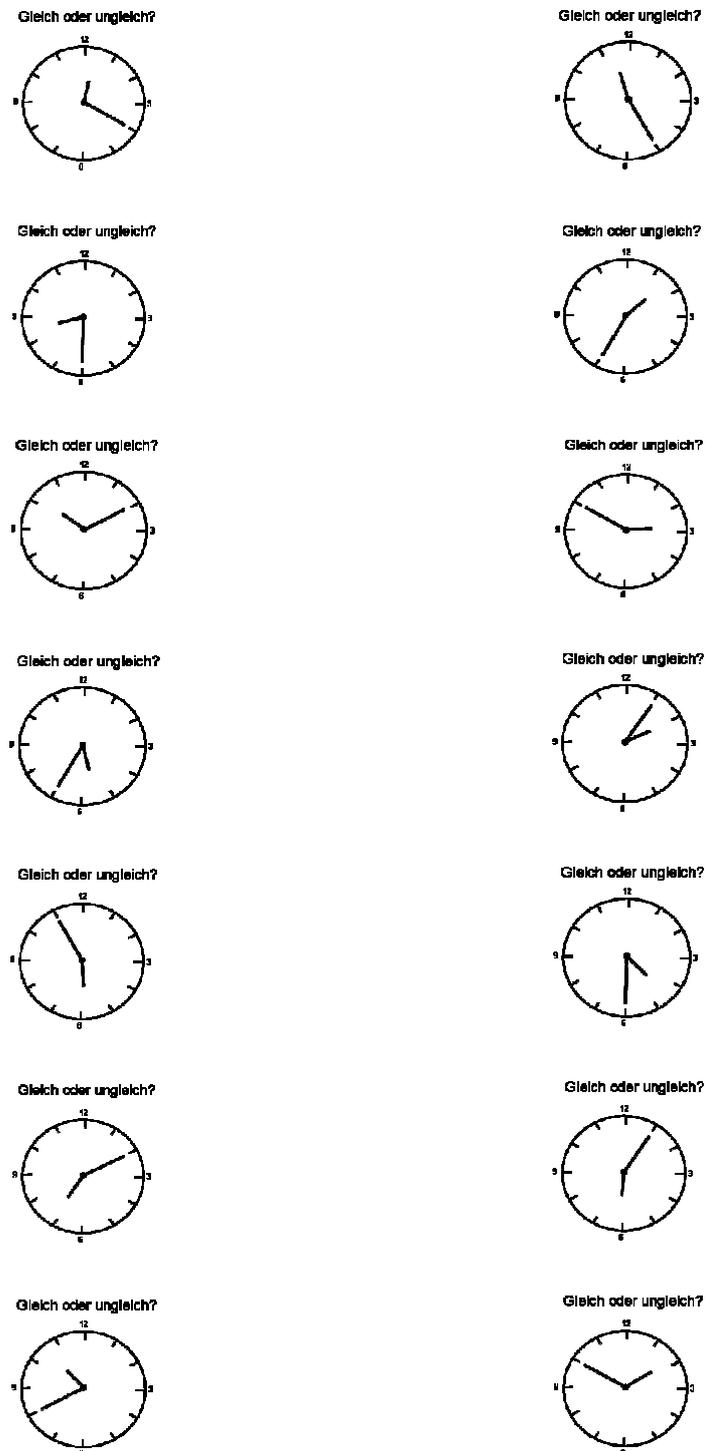


Abbildung C.4.: Die verwendeten normalen Uhren.

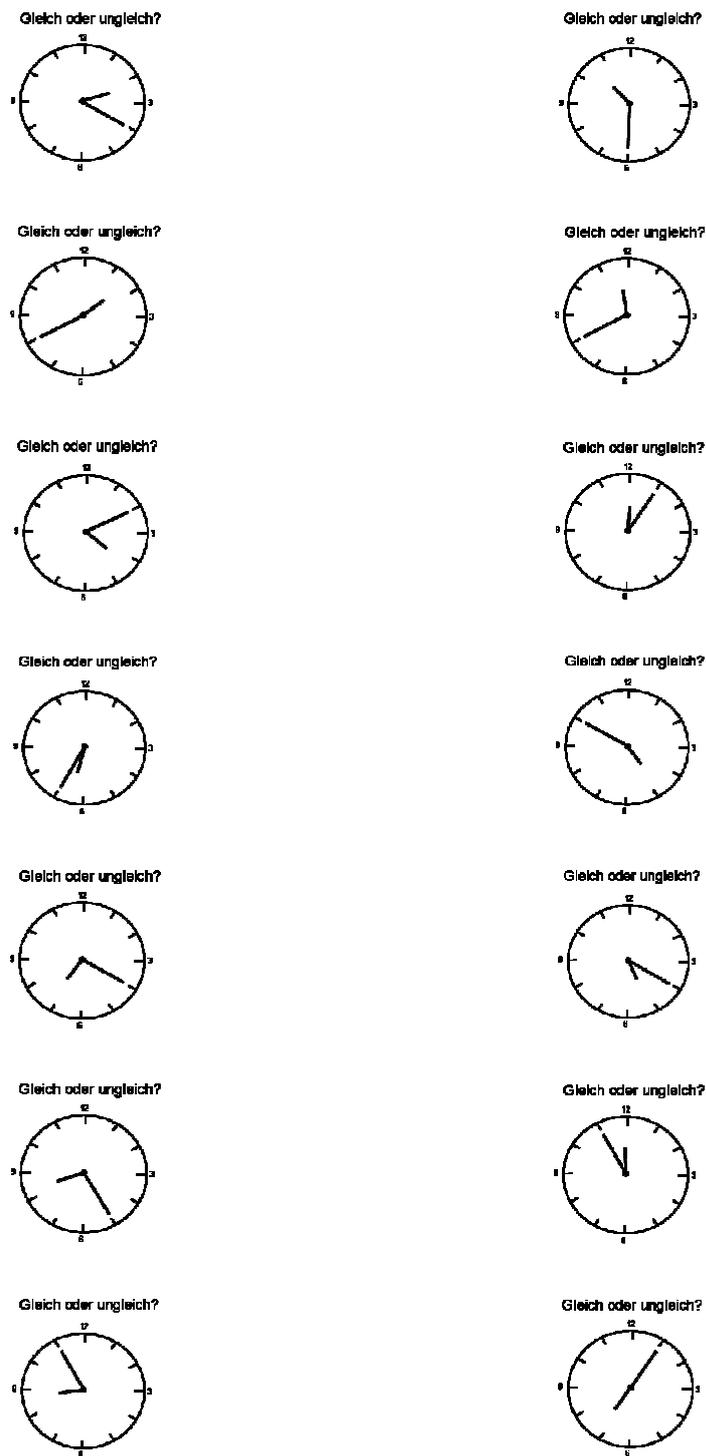


Abbildung C.5.: Die verwendeten normalen Uhren.

C.5. Uhrzeiten

„Leicht“

12:00	01:40	04:25	06:05	07:50	10:30
12:05	01:50	04:30	06:10	07:55	10:35
12:10	01:55	04:35	06:20	08:00	10:40
12:20	02:00	04:40	06:25	08:05	10:50
12:25	02:05	04:50	06:30	08:10	10:55
12:30	02:10	04:55	06:35	08:20	11:00
12:35	02:20	05:00	06:40	08:25	11:05
12:40	02:25	05:05	06:50	08:30	11:10
12:50	02:30	05:10	06:55	08:35	11:20
12:55	02:35	05:20	07:00	08:40	11:25
01:00	02:40	05:25	07:05	08:50	11:30
01:05	02:50	05:30	07:10	08:55	11:35
01:10	02:55	05:35	07:20	10:00	11:40
01:20	04:00	05:40	07:25	10:05	11:50
01:25	04:05	05:50	07:30	10:10	11:55
01:30	04:10	05:55	07:35	10:20	
01:35	04:20	06:00	07:40	10:25	

„Schwer“

12:03	01:39	04:23	06:02	07:47	10:32
12:09	01:52	04:27	06:09	07:52	10:39
12:12	01:56	04:36	06:13	08:03	10:43
12:24	02:01	04:39	06:23	08:08	10:47
12:27	02:09	04:51	06:29	08:12	10:54
12:31	02:13	04:57	06:34	08:17	11:03
12:36	02:17	05:02	06:42	08:21	11:06
12:42	02:26	05:07	06:47	08:34	11:14
12:48	02:33	05:14	06:51	08:38	11:21
12:58	02:28	05:18	07:04	08:44	11:28
01:03	02:43	05:21	07:07	08:51	11:33
01:07	02:46	05:29	07:11	08:59	11:39
01:12	02:54	05:33	07:19	10:01	11:46
01:18	04:01	05:36	07:23	10:06	11:53
01:24	04:08	05:44	07:34	10:12	11:57
01:29	04:14	05:53	07:36	10:23	
01:32	04:18	05:59	07:41	10:28	

C.6. Fragebogen

Fragebogen

- Bitte kreise die Zahl ein, die am ehesten deiner Antwort entspricht -

- Hat dir das Experiment Spaß gemacht?

sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel

- Warst du motiviert?

sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel

- Wie schwierig fandest du das Experiment?

sehr leicht 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr schwer

- Benutzt du eine analoge Armbanduhr?

Ja

Nein

- Gab es Uhrzeiten, die du dir schneller und einfacher vorstellen konntest? Wenn ja, welche?

- Wie hast du dir die Zeigerstellung während des Versuches klar gemacht? (z.B. Vorstellen einer Uhr, ...)

D. Versuch 3: Interferenz mit der räumlichen Komponente

D.1. Versuchsanleitung

Versuchsanleitung

Danke für die Teilnahme an diesem Versuch!

Deine Aufgabe besteht darin, zwischen zwei ca. 6m entfernten Stationen (A und B) hin- und herzulaufen und an Station A die dargestellten Figuren zu vergleichen. Die Figuren befinden sich verdeckt auf einem Stapel. Nach Erreichen der Station A musst du die jeweiligen Figuren beurteilen und dein Ergebnis der Versuchsleiterin mitteilen.

Als weitere Aufgabe sollst du beim Laufen zwischen den Stationen A und B die Richtung erkennen, aus der vorgespielte Töne kommen. Kommt der Ton von der **linken Seite**, drückst du die **linke** Maustaste.

Kommt der Ton von der **rechten Seite**, drückst du die **rechte** Maustaste.

Nachdem du eine Maustaste gedrückt hast, bekommst du einen neuen Ton vorgespielt. Du musst wiederum die Richtung beurteilen und die entsprechende Maustaste (von links = links; von rechts = rechts) drücken.

Du läufst so lange zwischen den Stationen hin und her und beurteilst die Richtung der Töne, bis du von der Versuchsleiterin das Signal zum Stoppen bekommst.

Die Seite, die du an Station A genannt hast, dient als Startrichtung und du drückst je nach Seite die entsprechende Maustaste.

Wichtig ist, dass du die Richtungen, aus denen der Ton kommt, **ZÜGIG** beurteilst.

Nachdem du das **Stoppsignal** von der Versuchsleiterin bekommen hast, drückst du das **Mausrad** und gehst zurück zu Station A.

Anschließend drehst du die oberste Karte auf dem Stapel um und beurteilst die nächsten Figuren. Nachdem du deine Antwort laut genannt hast, läufst du wieder zwischen den Stationen hin und her und drückst für jeden gehörten Ton eine Maustaste.

Während eines Versuchsdurchganges vergleichst du 6 Figurenpaare und läufst 6mal zwischen den Stationen hin und her. Jeder Versuchsdurchgang beginnt an Station A.

Während des gesamten Experimentes werden 3 Versuchsdurchgänge durchgeführt. Zwischen den 3 Versuchsdurchgängen gibt es eine kurze Pause, während der du an Station A wartest.

Alle Richtungen sollen **so zügig und korrekt** wie möglich beurteilt werden.

Während des Versuches trägst du einen Tracking-Helm. Dieser ermöglicht es uns, mittels Infrarotkameras deine Bewegungen zu messen. Außerdem trägst du einen Rucksack. An diesem ist ein Laptop befestigt ist, mittels welchem die Tastendrücke erfasst werden.

Viel Spaß und Erfolg beim Experiment.

D.2. Klicks pro Sekunde

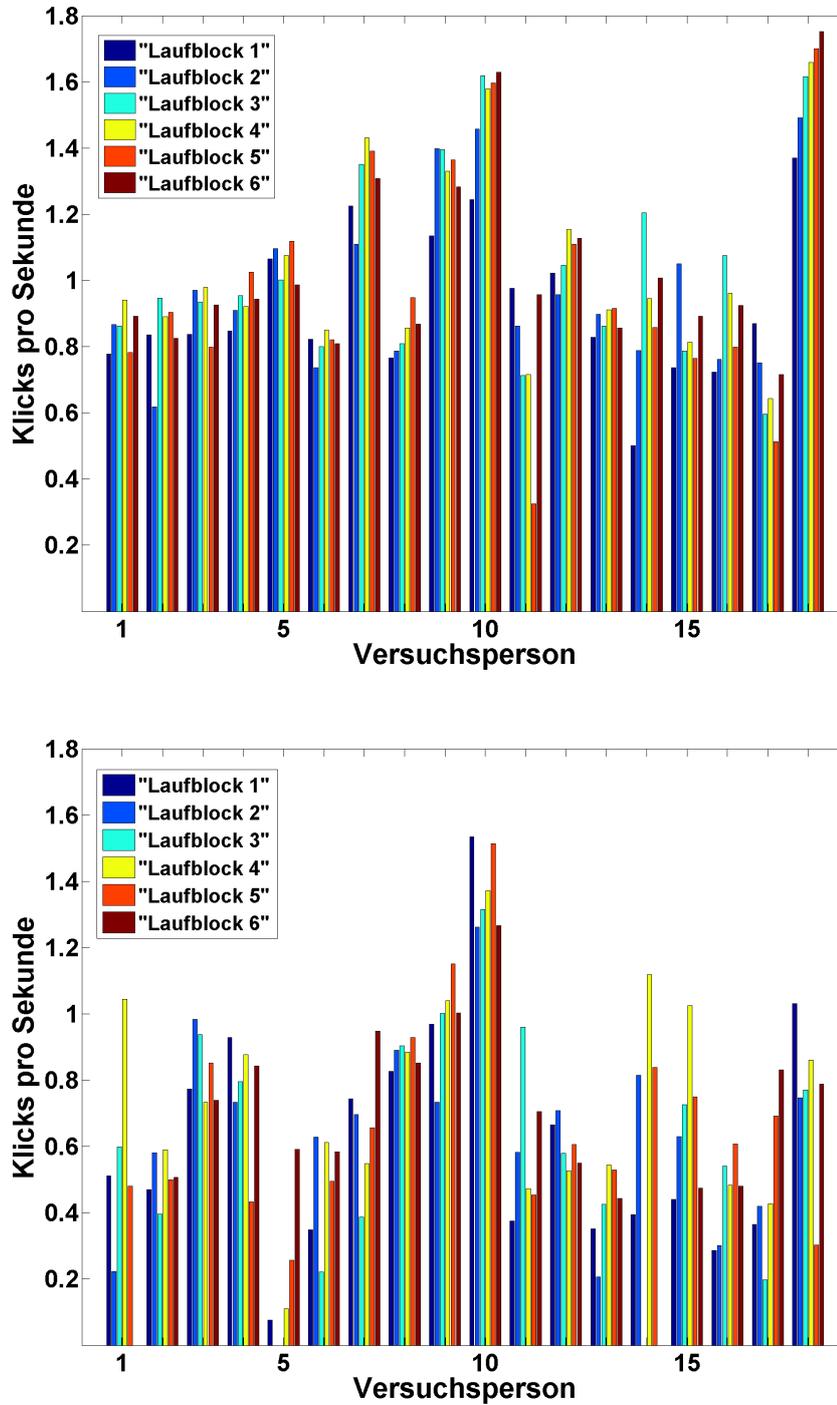


Abbildung D.1.: Klicks pro Sekunde pro VP in Versuch 3.

D.3. Figuren

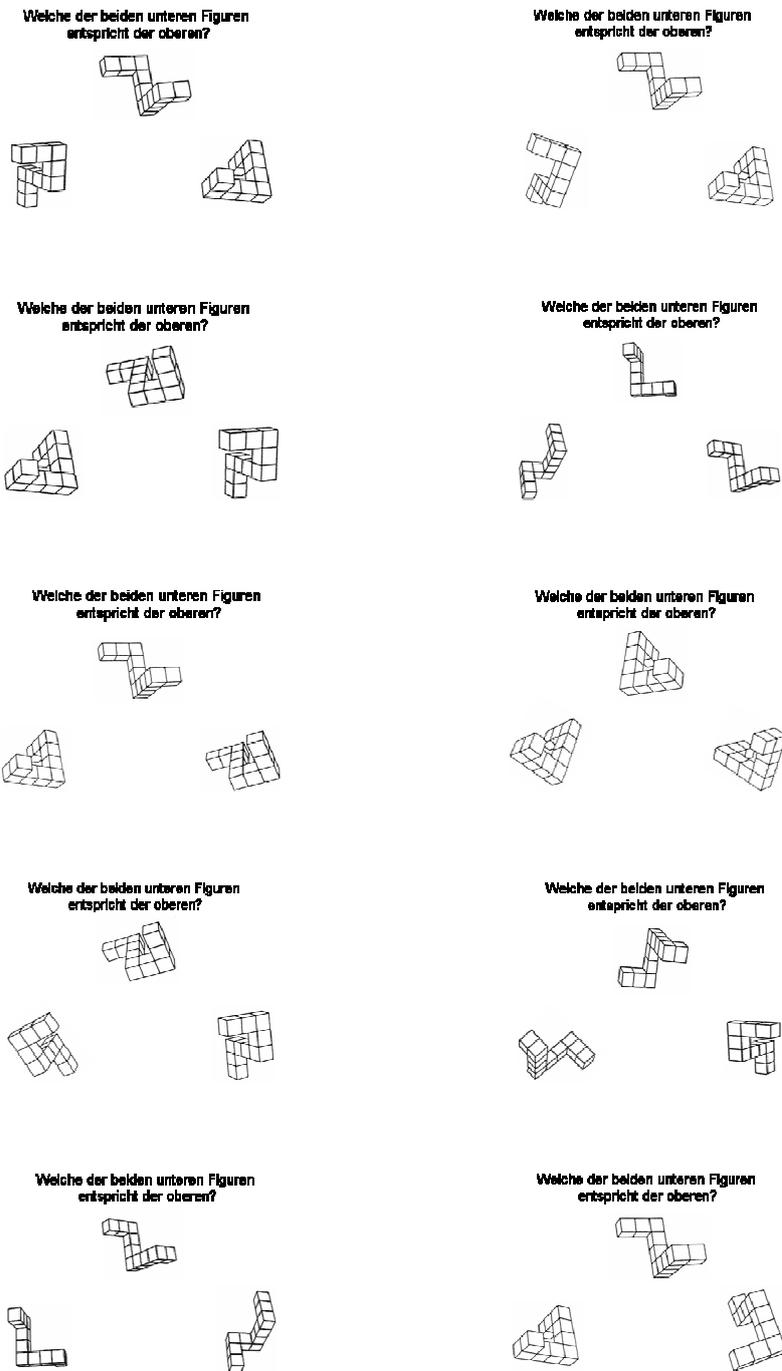


Abbildung D.2.: Die verwendeten Figuren.

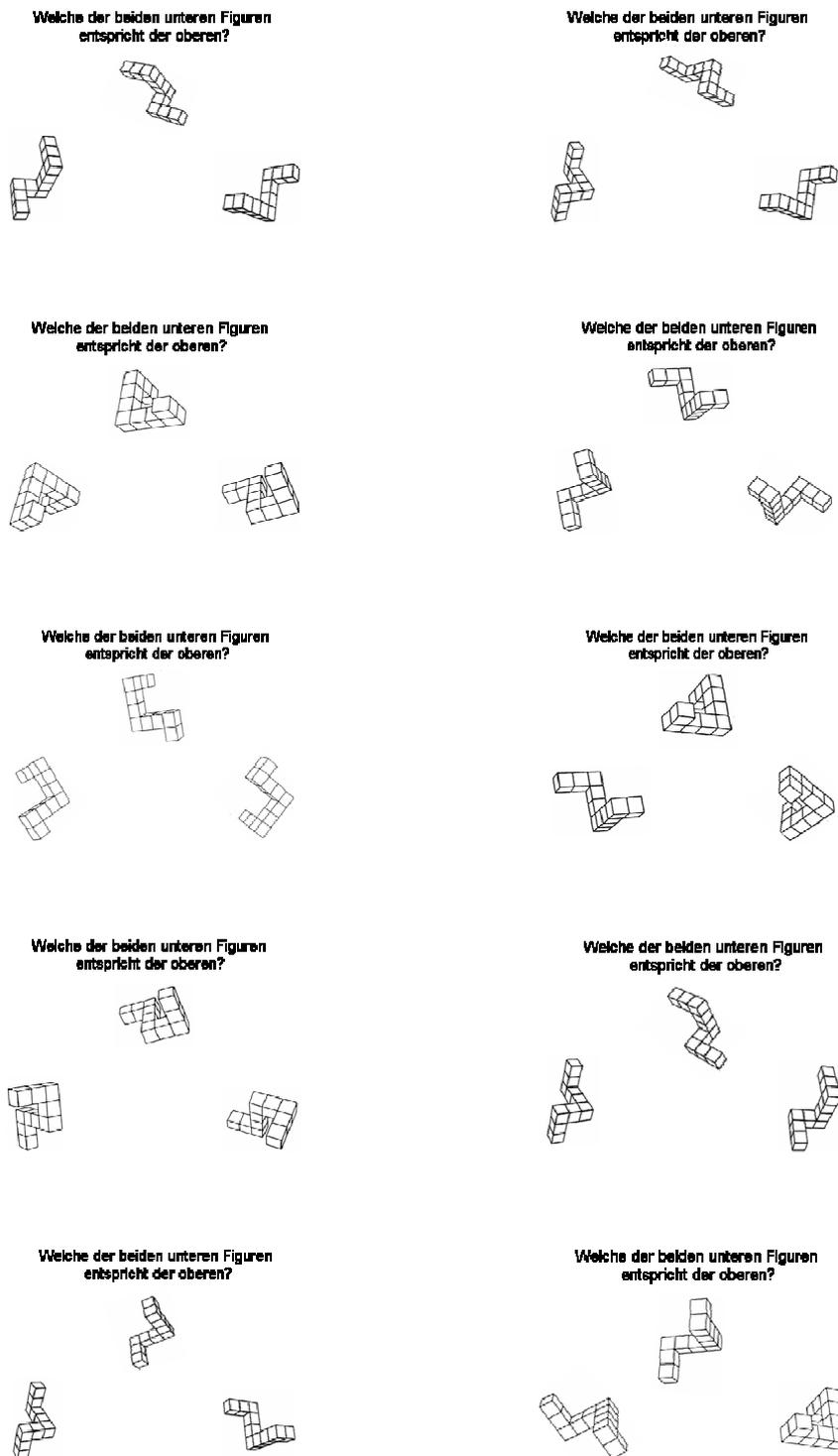


Abbildung D.3.: Die verwendeten Figuren.

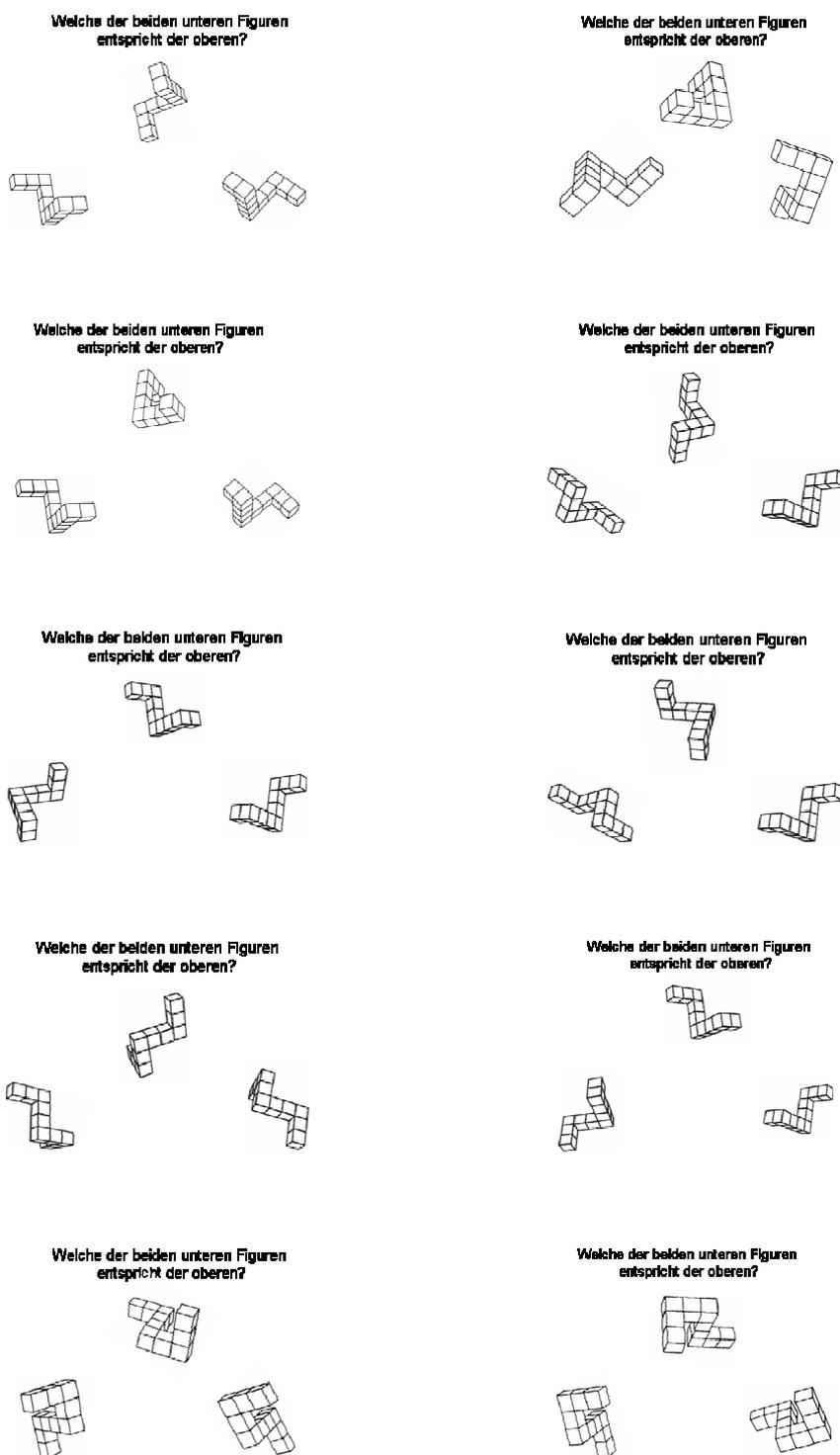


Abbildung D.4.: Die verwendeten Figuren.

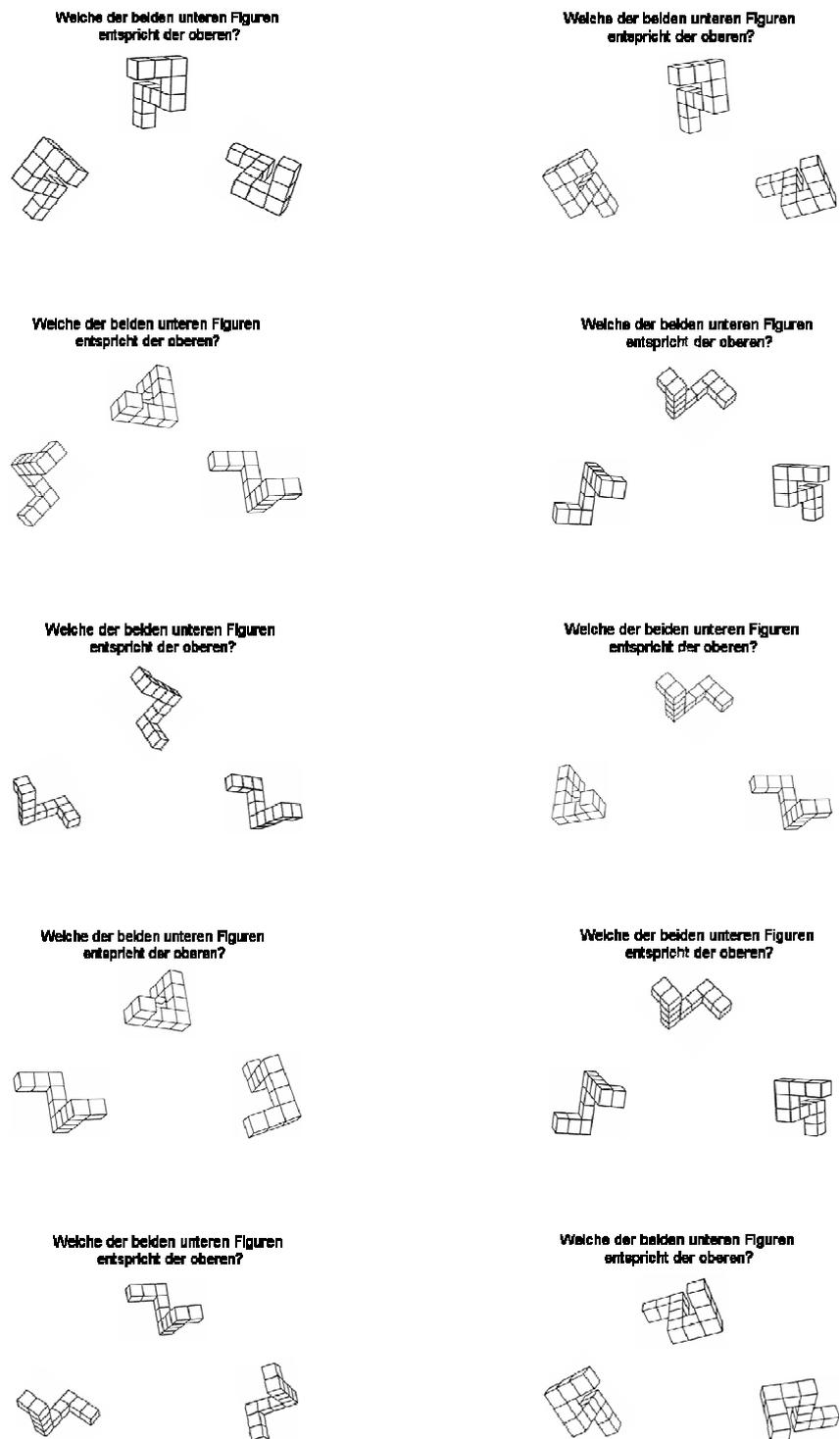


Abbildung D.5.: Die verwendeten Figuren.

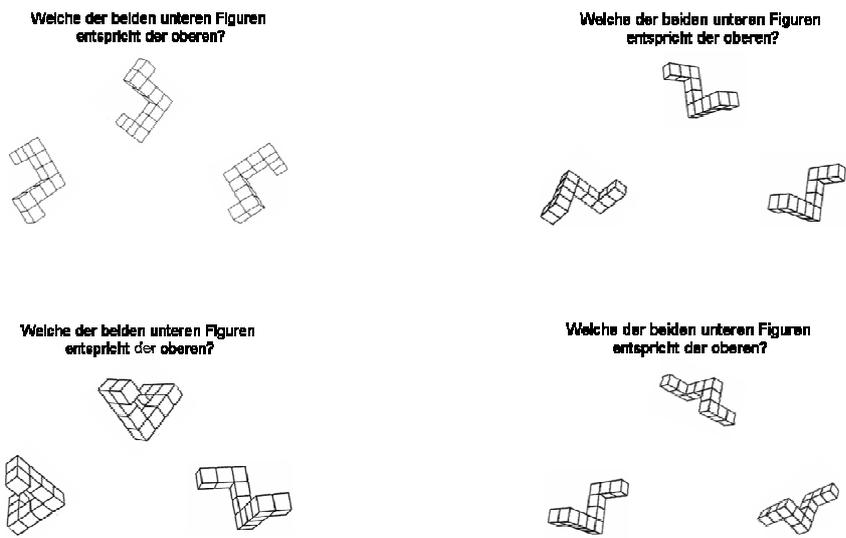


Abbildung D.6.: Die verwendeten Figuren.

D.4. Fragebogen

Fragebogen

- Bitte kreise die Zahl ein, die am ehesten deiner Antwort entspricht -

- Hat dir das Experiment Spaß gemacht?

sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel

- Warst du motiviert?

sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel

- Wie schwierig fandest du das Experiment?

sehr leicht 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr schwer

- Gab es Richtungen aus denen die Töne kamen, die du einfacher/schneller zuordnen konntest? Aus welcher Richtung kamen die Töne?

- Hörst du oft mit einem MP3-Player/iPod... Musik ?

E. Corsi-Block-Test

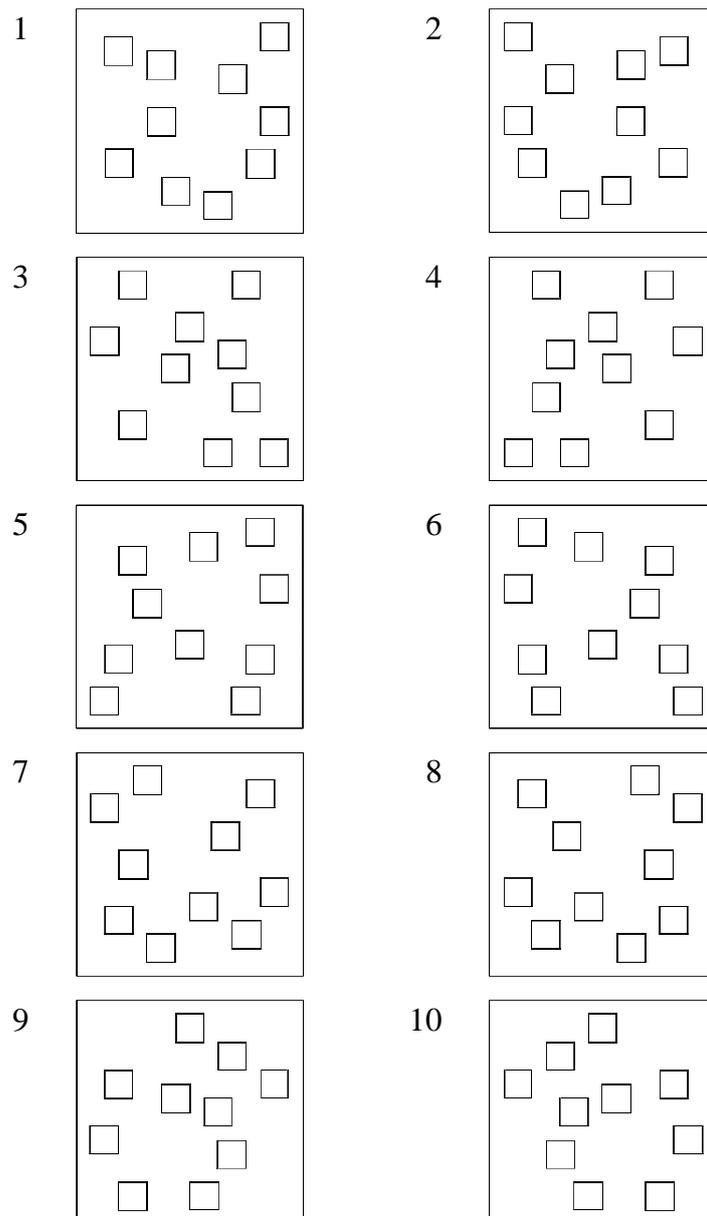


Abbildung E.1.: Die 10 verwendeten Musteranordnungen.

Literaturverzeichnis

- [1] Al-Yahya, E., Dawes, H., Collet, J., Howells, K. Izadi, H., Wade, D. T., Cockburn, J. (2009): Gait adaptations to simultaneous cognitive and mechanical constraints. *Experimental Brain Research* 199, 39-48.
- [2] Atkinson, R. C., Shiffrin, R. M. (1968): Human memory: A proposed system and its control processes. In Spence, K. W. (Ed.): *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* 2, 89-195. New York: Academic Press.
- [3] Baddeley, A. D., Hitch, G. J. (1974): Working memory. In: *Recent advances in learning and motivation* 8, 47-90. New York: Academic Press.
- [4] Baddeley, A. D. (1986): *Working memory*. Oxford: Clarendon Press.
- [5] Baddeley, A. D. (1992): Working memory: The interface between memory and cognition. *Journal of Cognitive Neuroscience* 4(3), 281-288.
- [6] Baddeley, A. D. (2000): The episodic buffer: A new component for working memory? *Trends in Cognitive Sciences* 4, 417-423.
- [7] Baddeley, A. D., Repovš, G. (2006): The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience* 139, 5-21.
- [8] Ballard, D. H., Hayhoe, M. M., Pelz, J. B. (1995): Memory representation in natural tasks. *Journal of Cognitive Neuroscience* 7(1), 66-80.
- [9] Barrouillet, P., Camos, V. (2007): The time-based resource-sharing model of working memory. In Osaka, N., Logie, R. H., D'Esposito, M. (Eds.): *The cognitive neuroscience of working memory*, 59-80. Oxford: University Press.
- [10] Beauchet, O., Dubost, V., Aminian, K., Gonthier, R., Kressig, R. W. (2005): Dual-task-related gait changes in the elderly: Does the type of cognitive task matter? *Journal of Motro Behavior* 37(4), 259-264.
- [11] Carr, C. E., MacLeod, K. M. (2010): Microseconds Matter. *PLoS Biology* 8(6), 1-3.

- [12] Cowan, N. (1999): An embedded-processes model of working memory. In Miyake, A., Shah, P. (Eds.): *Models of working memory. Mechanisms of active maintenance and executive control*, 62-101. Cambridge: Cambridge University Press.
- [13] Cowan, N. (2000): The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences* 24, 87-185.
- [14] Cowan, N. (2008): What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in Brain Research* 169, 323-338.
- [15] DeStefano, D., LeFevre, J.-A. (2004): The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology* 16(3), 353-386.
- [16] Droll, J. A., Hayhoe, M. M. (2007): Trade-offs between gaze and working memory use. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 33(6), 1352-1365.
- [17] Gobet, F. (1998): Expert memory: a comparison of four theories. *Cognition* 66, 115-152.
- [18] Gobet, F., Simon, H. A. (2000): Five seconds or sixty? Presentation time in expert memory. *Cognitive Science* 24 (4), 651-682.
- [19] Gobet, F., Lane, P. C. R., Croker, S., Cheng, P. C-H., Jones, G., Oliver, I., Pine, J. M. (2001): Chunking mechanisms in human learning. *Trends in Cognitive Sciences* 5(6), 236-243.
- [20] Hardiess, G., Basten, K., Mallot, H.A. (in Revision): Trade-off modulation is driven by locomotion costs and demands on working memory in a large copying paradigm. *PLoS ONE*.
- [21] Kemps, E., De Rammelaere, S., Desmet, T. (2000): The development of working memory: Exploring the complementarity of two models. *Journal of Experimental Child Psychology* 77, 89-109.
- [22] Kerr, B., Condon, S. M., McDonald, L. A. (1985): Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *Journal of Experimental Psychology* 11, 617-622.
- [23] Klauer, K.C., Zhao, Z. (2004): Double dissociations in visual and spatial short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: General* 133(3), 355-381.
- [24] Lépine, R., Barrouillet, P., Camos, V. (2005): What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? *Psychonomic Bulletin & Review* 12(1): 165-170.

- [25] Lövdén, M., Schaefer, S., Pohlmeier, A., Lindenberger, U. (2008): Walking variability and working-memory load in aging: A dual-process account relating cognitive control to motor control performance. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences* 63B(3), 121-128.
- [26] McAfoose, J., Baune, B. T. (2009): Exploring visual-spatial working memory: A critical review of concepts and models. *Neuropsychological Review* 19, 130-142.
- [27] Meilinger, T., Knauff, M., Bühlhoff, H. H. (2008): Working memory in wayfinding - A dual task experiment in a virtual city. *Cognitive Science* 32, 755-770.
- [28] Miller, G. A. (1956): The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review* 63, 81-97.
- [29] Odoj, B. (2010): Ressourcenverteilung zwischen Aufgaben-abhängigem Arbeitsgedächtnis und Bewegung. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaften, Universität Tübingen.
- [30] Shepard, R., Metzler, J. (1971): Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* 171, 701-703.
- [31] Simon, H. A. (1974): How big is a chunk? *Science* 183, 482-488.
- [32] Srygley, J. M., Mirelman, A., Herman, T., Giladi, N., Hausdorff, J. M. (2009): When does walking alter thinking? Age and task associated findings. *Brain Research* 1253, 92-99.
- [33] Stoet, G., Snyder, L. H. (2009): Neural correlates of executive control functions in the monkey. *Trends in Cognitive Sciences* 13(5), 228-234.
- [34] Vogel, E. K., Woodman, G. F., Luck, S. J. (2001): *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 27(1), 92-114.
- [35] Woollacott, M., Shumway-Cook, A. (2002): Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait and Posture* 16, 1-14.
- [36] Yogev, G., Giladi, N., Peretz, C., Springer, S., Simon, E. S., Hausdorff, J. M. (2005): Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson's disease: Which aspects of gait are attention demanding? *European Journal of Neuroscience* 22, 1248-1256.
- [37] Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., Giladi, N. (2008): The role of executive function and attention in gait. *Movement Disorders* 3, 329-342.

F. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen ganz herzlich bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit auf irgendeine Art beigetragen haben.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Hanspeter Mallot für die Möglichkeit meine Diplomarbeit an seinem Lehrstuhl zu schreiben und für die Übernahme des Erstgutachtens.

Ein besonderer Dank geht an meinen Betreuer Dr. Gregor Hardieß, der mir die ganz Zeit über mit Rat und Tat zur Seite stand und durch seine Anregungen vor allem in der letzten Phase noch einmal eine sehr große Hilfe war.

Bedanken möchte ich mich auch bei Prof. Dr. Peter Pilz für die Übernahme des Zweitgutachtens und die Tipps zur Erzeugung der Töne für mein drittes Experiment.

Ganz besonders möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für die sehr freundliche und angenehme Arbeitsatmosphäre und die tolle Zeit an und abseits der Uni bedanken.

Sabrina und Wolfgang, bei euch beiden möchte ich mich für die schöne und sehr lustige gemeinsame Zeit im Büro bedanken.

Und Wolfgang danke für die Tipps und Hilfe bei der Matlab-Programmierung, ohne dich hätte mich das einige Stunden und Nerven mehr gekostet.

Der größte Dank geht an meine Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben und mich während des gesamten Studiums ebenso wie mein Bruder immer unterstützt haben. Danke für eure Rücksichtnahme, als ich auf die Prüfungen gelernt hab. Ich weiß, dass es für euch manchmal ziemlich nervig und nicht einfach war.

VIELEN DANK!!!