

Aus dem Fachbereich Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

betreut am  
Zentrum für Gesundheitswissenschaften  
Institut für Medizinische Psychologie  
Direktor: Prof. Dr. Jochen Kaiser

**Zum Einfluss von Tonhöhenwahrnehmungspräferenz auf verbales Lernen  
unter Bewegung**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

vorgelegt von  
Camilla Diefenbach

aus Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, 2021

Dekan:	Prof. Dr. Stefan Zeuzem
Referentin:	Priv.-Doz., Dr. phil. Maren Schmidt-Kassow
Korreferent/in:	Prof. Dr. Christine M. Freitag
Tag der mündlichen Prüfung:	22.12.2021

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1. Einleitung.....	1
1.1. Stand der Forschung .....	3
1.1.1. Bewegung und Gedächtnis.....	3
1.1.2. Simultane Bewegung und Gedächtnis .....	7
1.1.3. Fixe versus selbst-initiierte Reizpräsentation.....	10
1.1.4. Tonhöhenwahrnehmungspräferenz und ihre Rolle in der Sprachverarbeitung .....	16
1.2. Hypothesen.....	20
2. Material und Methodik.....	23
2.1. Studienaufbau .....	23
2.2. Versuchspersonen .....	24
2.3. Präexperimentelle Sitzung.....	26
2.3.1. Tonhöhenwahrnehmungspräferenz.....	27
2.4. Stimuli.....	28
2.5. Ablauf der Lerneinheiten.....	30
2.5.1. Bedingung der fixen Stimuluspräsentation.....	31
2.5.2. Bedingung der selbst-initiierten Stimuluspräsentation .....	31
2.5.3. Vokabeltest .....	32
2.6. Datenerfassung.....	33

2.7.	Datenauswertung.....	33
2.7.1.	Vokabeltests.....	34
2.7.2.	Motorische Performanz.....	35
2.7.3.	Pitch Index (Tonhöhenwahrnehmungspräferenz) .....	36
3.	Ergebnisse .....	37
3.1.	Vokabeltest Performanz .....	37
3.1.1.	Deskriptive Statistik.....	37
3.1.2.	Inferenzstatistik.....	38
3.2.	Motorische Performanz.....	39
3.2.1.	Deskriptive Statistik.....	39
3.2.2.	Inferenzstatistik.....	40
3.3.	Pitch Index.....	40
3.3.1.	Deskriptive Statistik.....	40
3.3.2.	Inferenzstatistik.....	44
3.4.	Einfluss weiterer Variablen .....	45
4.	Diskussion .....	46
4.1.	Performanz in Abhängigkeit der Lernbedingung .....	47
4.1.1.	Bessere Performanz in der selbst-initiierten im Vergleich zur fixen Bedingung.....	48
4.1.2.	Langzeitgedächtnis versus Wahrnehmung .....	53
4.2.	Performanz in Abhängigkeit der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz.....	54
4.2.1.	Kortikale Verarbeitung.....	55
4.3.	Einfluss der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz auf die motorische Synchronisation .....	57
4.3.1.	Synchronisation in der Sprachverarbeitung.....	58

4.4.	Resumée.....	60
4.5.	Stärken und Limitationen der Studie.....	61
4.6.	Fazit und Ausblick.....	63
5.	Zusammenfassung.....	66
6.	Conclusions.....	68
7.	Literaturverzeichnis.....	70
	References.....	70
8.	Anhang.....	80
8.1.	Informationsblatt zur Forschungsarbeit.....	81
8.2.	Stammdatenblatt.....	85
8.3.	Fragebogen zur Sportlichen Belastbarkeit.....	86
8.4.	Fragebogen zur präexperimentellen Sitzung.....	88
8.5.	Pseudovokabeltest .....	89
8.6.	Stimmungsfragebogen .....	90
8.7.	Wortliste B.....	91
8.8.	Wortliste C .....	92
9.	Schriftliche Erklärung.....	93

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Mittlere Anzahl erinnerter Textausschnitte nach 35 Minuten Ruhepause mit Standardabweichung.....	6
Abbildung 2. Coronare MRT-Ansicht des Gyrus temporalis superior .....	17
Abbildung 3. Illustration von Tonpaaren mit fehlendem Grundton. ....	18
Abbildung 4. (A) Rekonstruktion des auditorischen Kortex. OT-hörer*innen zeigen einen dominanten rechten, GT-hörer*innen einen dominanten linken HG. (B) Auswahl der Musikinstrumente abhängig von der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz für 1203 Musiker*innen und 170 Nichtmusiker*innen (Mittelwert).....	20
Abbildung 5. Durchführung des Hörtests.....	28
Abbildung 6. Ablauf der präexperimentellen Sitzung .....	28
Abbildung 7. Ablauf der Lerneinheit.....	31
Abbildung 8. Fahrradfahren.....	31
Abbildung 9. Durchführung des Online-Vokabeltests.....	32
Abbildung 10. Performanz Tag 1 .....	38
Abbildung 11. Performanz Tag 2 .....	39
Abbildung 12. <i>Inter-Beat-Deviation</i> in der fixen Bedingung.....	40
Abbildung 13. Histogramm zur Verteilung des Pitch Index in der Testgruppe .....	41
Abbildung 14. Korrelation des Pitch Index und <i>diff</i> .....	43
Abbildung 15 Vergessen (in <i>diff</i> , d.h. über alle Bedingungen), abgetragen nach Pitchgruppe .....	43
Abbildung 16. Vergessen innerhalb der Lernbedingungen abgetragen nach Pitchgruppen.....	44
Abbildung 17. Darstellung des <i>Internal-Forward-Model</i> . ....	49
Abbildung 18. Individuelle Ausprägung der HG-Morphologie, wobei blau dem linken und rot dem rechten HG entspricht.....	56

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1. Deskriptive Daten der Performanz an Tag 1 und Tag 2.....	37
Tabelle 2. Vergessen in den jeweiligen Bedingungen .....	37
Tabelle 3. <i>Inter-Beat-Deviation</i> in der fixen Bedingung.....	39
Tabelle 4. Vergessen der HPIs und LPIs im Überblick.....	42

## Abkürzungsverzeichnis

€	Euro
BDNF	Brain-Derived Neurotrophic Factor
BMI	Body-Mass-Index
Bzw.	Beziehungsweise
DAT	Dynamic Attending Theory
dB	Dezibel
d.h.	das heißt
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorrelierte Potentiale
Fix	fixe Bedingung
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
GT	Grundton
HG	Heschl Gyrus
HPI	High Pitch Index
Hz	Hertz
IBD	Inter-Beat-Deviation
Kg	Kilogramm
LPI	Low Pitch Index
M	Mean; Mittelwert
MEG	Magnetoenzephalographie
Min.	Minuten
ms	Millisekunden
OT	Oberton
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PI	Pitch Index
RPM	revolutions per minute
SD	Standard deviation; <i>Standardabweichung</i>



Self	Selbst-initiierte Bedingung
SOA	simultaneous onset asynchrony
STG	superior temporal gyrus; <i>Gyrus superior temporalis</i>
u.a.	unter anderem
Vok.	Vokabel/n
VP	Versuchspersonen
WHO	World Health Organisation
ZNS	Zentrales Nervensystem
z.B.	zum Beispiel

Anmerkung:

Zur Gleichstellung der Geschlechter wurde in der vorliegenden Forschungsarbeit im gesamten Text der Asterisk (Gendersternchen) genutzt.

## 1. Einleitung

Bereits Nietzsche schrieb: „Wir hören Musik mit unseren Muskeln“<sup>1</sup>, worauf Oliver Sacks 2008 mit seinem Buch *Der einarmige Pianist: Über Musik und das Gehirn* Bezug nimmt: „Wir schlagen den Takt zur Musik, unwillkürlich, selbst wenn wir nicht bewusst auf sie achten (...)“<sup>2</sup>. Akustischer Input und motorische Aktivität stimmen sich demnach aufeinander ab, da sowohl Sprache als auch Musik ein Rhythmus inhärent ist.<sup>3</sup> Dies bildet die Grundlage für die Abstimmung von Gehörtem und Bewegung: der sogenannten auditorisch-motorischen Synchronisation.<sup>4</sup> Die vorliegende Forschungsarbeit möchte mehr Licht auf diese Zusammenhänge werfen.

Im Rahmen des Projektes „Der Einfluss von synchroner sportlicher Aktivität auf neuronale Plastizität und das Erlernen einer Fremdsprache“ wurde mit mehreren aufeinanderfolgenden Experimenten gezeigt, dass simultane Bewegung einen positiven Einfluss auf das verbale Langzeitgedächtnis hat.

Darauf aufbauend entstand eine zweite Experimentreihe mit dem Ziel, die Mechanismen, welche für den positiven Effekt von simultaner Bewegung auf Aufmerksamkeitsprozesse und das Langzeitgedächtnis verantwortlich sein könnten, zu verstehen.

Die in dieser Arbeit vorgestellte Studie ist Teil letzteren Projektes und soll untersuchen, inwiefern sich auditorisch-motorische Synchronisation während des akustischen Erwerbs einer Fremdsprache auf das Langzeitgedächtnis auswirkt. Hierfür ist ein Experiment konzipiert worden, welches zwei unterschiedliche Bewegungskombinationen während des akustischen Erlernens der polnischen Sprache beinhaltet. Dies bedeutet, dass die Versuchspersonen an zwei verschiedenen Tagen zwei unterschiedliche Bewegungsbedingungen durchführen, während sie deutsch-polnische Vokabelpaare anhören: An einem Tag werden ihnen die Vokabelpaare in einem zeitlich fixen Abstand von zwei Sekunden vorgespielt, und an einem anderen Tag lösen sie die Vokabelpräsentation durch die eigene Bewegung selbst aus. Da die motorische Aktivität

## Einleitung

in dieser Studie darin besteht, auf einem Ergometer Fahrrad zu fahren, entspricht die Bewegung dem In-die-Pedale-treten der Versuchspersonen. Die Lernbedingungen unter Bewegung setzen sich demnach aus einer zeitlich fixen, vorgegebenen Vokabelpräsentation und einer selbst-initiierten, zeitlich variablen Vokabelpräsentation zusammen.

Neben der Kopplung von Spracherwerb und motorischer Aktivität untersucht diese Studie den Zusammenhang zwischen der auditorisch-motorischen Synchronisation und der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz. Je nach Tonhöhenwahrnehmungspräferenz bestehen Unterschiede in der Verarbeitung akustischer Ereignisse, die später näher beschrieben werden. Deshalb wird untersucht, ob verschiedene Bewegungsbedingungen, in Verbindung mit unterschiedlichen Tonhöhenwahrnehmungspräferenzen, einen Einfluss auf das Erlernen fremdsprachlicher Vokabeln haben. Dazu wird die Tonhöhenwahrnehmungspräferenz der teilnehmenden Versuchspersonen mittels eines Tests ermittelt.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich wie folgt: Begonnen wird mit einer Einführung in den aktuellen Forschungsstand. Es wird auf die bereits gewonnenen Erkenntnisse zum Unterschied von Bewegung versus Ruhebedingungen auf das Gedächtnis und speziell auf den Einfluss simultaner Bewegung auf das Langzeitgedächtnis, unter anderem beim Erwerb fremdsprachlicher Vokabeln, eingegangen. Hierbei wird das Phänomen der auditorisch-motorischen Synchronisation erläutert und dessen Relevanz in Bezug auf das Forschungsprojekt erklärt. In diesem Zusammenhang wird das Bestehen verschiedener Tonhöhenwahrnehmungspräferenzen sowie deren Rolle bei der Kopplung von Bewegung mit auditorischen Lernprozessen erläutert. Das Kapitel schließt mit den darauf aufbauenden Hypothesen.

Im zweiten Kapitel folgt die Darstellung der angewendeten Methodik und der verwendeten Materialien für die Studie. Die Ergebnisse des Experimentes werden im dritten Kapitel präsentiert sowie im darauffolgenden vierten Kapitel diskutiert. Eine Zusammenfassung des Forschungsprojektes auf Deutsch und auf Englisch schließt die Schrift ab.

### 1.1. Stand der Forschung

**Ausblick.** Es ist inzwischen nachgewiesen, dass das Langzeitgedächtnis in der Entschlüsselung akustischer Reize, wie Töne und Silben, von simultaner körperlicher Bewegung profitiert.<sup>5</sup> Diese Entschlüsselung, auch Enkodierungsvorgang genannt, bezeichnet die Übersetzung von beispielsweise akustischen Informationen in einen neuronalen Code.<sup>6</sup> Das Gehirn bereitet sich also auf die Verarbeitung und langfristige Speicherung von Gedächtnisinhalten vor.<sup>6</sup> Das heißt, Bewegung, die parallel zu einem Lernprozess stattfindet, führt zu einer verbesserten Erinnerung. Gemäß dem aktuellen Forschungsstand führt simultane Bewegung beim Enkodieren fremdsprachlicher Vokabeln zu einem verbesserten Abruf von Gedächtnisinhalten.<sup>7,8</sup> Dies gilt sowohl für moderate als auch für niedrige Bewegungsintensität.<sup>7</sup>

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird anhand von Studien dargelegt, dass simultane Bewegung während des akustischen Erlernens einer Fremdsprache bessere Vokabeltestergebnisse herbeiführt als das Lernen unter Ruhebedingungen.<sup>8</sup> Zudem scheint der Rhythmus, in welchem die akustischen Lerninhalte wiedergegeben werden, eine Rolle zu spielen. Den Grund hierfür sehen Studien in einer Synchronisation von Bewegung und akustischem Reiz.<sup>5</sup> Die Möglichkeit, Bewegung und den regelmäßigen akustischen Reiz synchronisieren zu können, führt dazu, dass dem Reiz mehr Aufmerksamkeit zugeteilt wird.<sup>5</sup> Aufmerksamkeit wiederum ist essenzieller Bestandteil für den Enkodierungsprozess.<sup>3</sup>

#### 1.1.1. Bewegung und Gedächtnis

Viele von uns haben in Lernphasen des Studiums Kommiliton\*innen dabei beobachten können, wie diese in der Bibliothek zwischen den Regalen auf und ab gelaufen sind, um sich den Lernstoff einzuprägen, oder es sogar selbst als lernfördernd empfunden, beim Auswendiglernen umherzugehen. Ob zwischen Bewegung und Gedächtnisleistungen ein Zusammenhang besteht, wird seit gut zwei Jahrzehnten intensiv erforscht.

## Einleitung

Aus einer Metaanalyse von Brisswaller et al. geht hervor, dass motorische Aktivität moderater Intensität unter anderem über ein erhöhtes Erregungsniveau des Zentralen Nervensystems (ZNS) zu verbesserten kognitiven Leistungen führt, unabhängig von dem individuellen Fitnesslevel.<sup>9</sup> Tomporowski veröffentlichte etwa zeitgleich eine Metaanalyse von 43 Studien zum Einfluss motorischer Aktivität unmittelbar vor oder während der Durchführung kognitiver Leistungen mit dem Ergebnis, dass körperliche Aktivität im Vergleich zu Ruhebedingungen einen deutlichen Vorteil für die Verarbeitung von Informationen aufweist.<sup>10</sup> Coles & Tomporowski haben schließlich spezifisch die Auswirkungen motorischer Aktivität auf das Langzeitgedächtnis untersucht:<sup>11</sup> Dazu sind 18 Versuchspersonen unter drei Versuchsbedingungen zu ihrem Langzeitgedächtnis geprüft worden.<sup>11</sup> Aus einer Wortliste sind nach 40-minütigem Fahrradfahren sowie nach zwei Kontrollbedingungen unter Ruhe Vokabeln gemerkt und anschließend nach 100 Sekunden wiedergegeben worden. Die höchste Erfolgsrate an erinnerten Vokabeln zeigt sich nach der körperlich aktiven Bedingung mit einer Verbesserung um 25 Prozent im Vergleich zu den Ruhebedingungen.<sup>11</sup> Laut den Autor\*innen führt das durch sportliche Aktivität erhöhte Erregungsniveau zu einer verbesserten Enkodierung von Information in das Langzeitgedächtnis.<sup>11</sup>

Salas et al. beschreiben in ihrer Studie ein ähnliches Vorgehen mit vergleichbaren Ergebnissen: Zwei Gruppen lernen nach einer Ruhebedingung beziehungsweise einer Bedingung mit zehn-minütigem Umherlaufen 30 Vokabeln.<sup>12</sup> Die 80 Student\*innen werden anschließend zu einer Selbsteinschätzung ihrer Lernleistung befragt sowie ihrem Erinnerungsvermögen getestet. Hier zeigt sich, dass die Bedingung unter dem Umherlaufen zu um 25 Prozent besseren Vokabeltestergebnissen führt, jedoch keine Auswirkung auf die Selbsteinschätzung der Lernleistung aufweist.<sup>12</sup> Lambourne & Tomporowski haben in einer weiteren Metaanalyse von insgesamt 60 Studien den Effekt akuter motorischer Aktivität (1) vor und während kognitiver Aufgaben, (2) vor und nach kognitiven Aufgaben oder (3) unter allen genannten Bedingungen untersucht.<sup>13</sup> Hier postulieren sie, dass akute und stark anstrengende motorische Aktivität einen positiven Einfluss auf kognitive Leistungen hat, wenn diese vorher erfolgt, während simultane motorische Aktivität sich negativ auswirkt.<sup>13</sup> Im Falle von moderater simultan

erfolgreicher Aktivität zeigt sich eine Verbesserung kognitiver Leistungen, während bei simultaner starker Anstrengung diese wieder abfallen.<sup>13</sup> Weiterhin ist Fahrradfahren, im Vergleich zum Laufen auf einem Laufband, von positiverem Effekt, da vermutlich weniger Koordination und Konzentration auf die Bewegungsausführung verwendet wird.<sup>13</sup> Insgesamt stellen sie fest, dass Bewegung vor einer kognitiven Aufgabe zu verbesserten Leistungen führt, sowohl hinsichtlich der Durchführung einfacher Aufgaben, als auch wenn es um das Abrufen von Gedächtnisinhalten geht.<sup>13</sup> Jedoch weisen sie auch darauf hin, dass die Art der Bewegung, die Intensität und die Form der kognitiven Aufgabe maßgeblich an dem Effekt auf das Langzeitgedächtnis beteiligt sind.<sup>13,14</sup> Die von ihnen untersuchten Studien geben zudem nur erste Hinweise auf diesen Effekt. Unter 1.1.2. werden Studien besprochen, die genau diesen Zusammenhang erforschen.

Auch Labban & Etnier erforschen einen Zusammenhang zwischen Bewegung und Langzeitgedächtnis.<sup>15</sup> Ihre Studie untersucht, inwiefern sich Bewegung moderater Intensität und moderater Dauer im Vergleich zu einer Ruhebedingung vor oder nach Gedächtnisaufgaben auswirkt. 48 Versuchspersonen werden dafür in drei Gruppen eingeteilt, wobei zwei Gruppen (1) vor oder (2) nach dem Anhören eines vorgelesenen Textausschnittes Fahrrad fahren, dessen Inhalt sie anschließend wiedergeben sollen. Eine Kontrollgruppe (3) durchläuft Gedächtnisaufgaben nur in Ruhe. Hier zeigt sich, dass Bewegung bessere Gedächtnisleistungen hervorruft im Vergleich zu der Bedingung unter Ruhe.<sup>15</sup> Insbesondere die Durchführung von moderater Bewegung vor der Gedächtnisaufgabe führt zu einer signifikanten Verbesserung des Erinnerungsvermögens im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen (siehe Abb.1).<sup>15</sup> Daraus schließen die Autor\*innen, dass Bewegung vor allem vor dem Enkodierungs- und Konsolidierungsprozess von Vorteil ist und nicht während des Konsolidierungsvorganges – dies wäre das Fahrradfahren nach dem Anhören aber vor dem Wiedergeben der Textausschnitte.<sup>15</sup> Weiterhin weisen sie auf die Intensität der Bewegung hin, nämlich dass moderate Intensität einen positiven Einfluss auf das Langzeitgedächtnis hat, während sich akute, anstrengende Bewegung negativ auswirkt.<sup>11,13,15</sup>

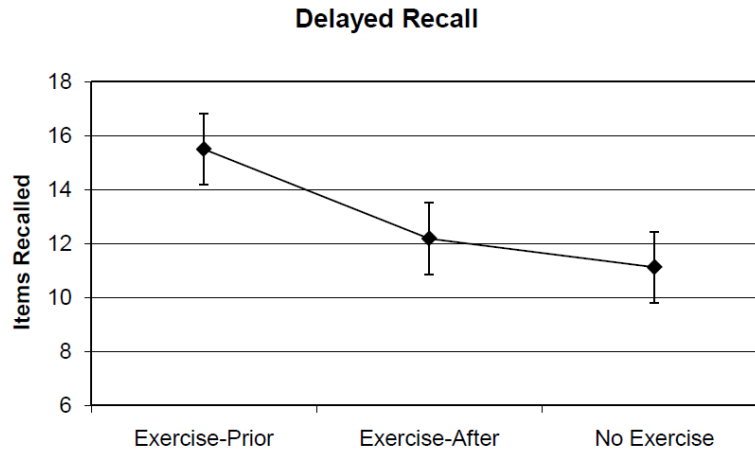


Abbildung 1. Mittlere Anzahl erinnerter Textausschnitte nach 35 Minuten Ruhepause mit Standardabweichung.  
Quelle: Labban JD, Etnier JL. 2011, p. 717

Die Annahme eines positiven Effektes von Bewegung auf das Langzeitgedächtnis kann anhand zwei weiterer Studien unterstützt werden.

McNerney & Radvansky untersuchen die Relevanz der zeitlichen Komponente von Bewegung auf das Langzeitgedächtnis.<sup>14</sup> In zwei Experimenten führen Versuchspersonen als Bewegung Sprints innerhalb von zwei Minuten aus. Zudem durchläuft eine Kontrollgruppe alle Bedingungen unter Ruhe. Experiment 1 untersucht die Auswirkung von Bewegung *vor* dem Erlernen und Abfragen von Gedächtnisinhalten. Experiment 2 dagegen lässt die Versuchspersonen erst lernen und *anschließend* Bewegung ausführen, bevor die Inhalte abgefragt werden. Das Erlernete wird einmal direkt im Anschluss an den Termin sowie eine Woche später erfragt. Die Autor\*innen zeigen in dieser Studie, dass Bewegung insgesamt einen positiven Einfluss auf das Langzeitgedächtnis hat, unabhängig davon, ob die Bewegung vor oder nach dem Erlernen der Inhalte erfolgt.<sup>14</sup> Daraus folgt, dass sich der fördernde Effekt motorischer Aktivität auf den Prozess der Informationskonsolidierung auswirkt – im Gegensatz zu der Studie von Labban & Etnier wird hier also kein Unterschied zwischen der Bewegungsausführung vor oder nach dem Erlernen festgestellt.<sup>14,15</sup>

Um spezifisch das verbale Langzeitgedächtnis zu untersuchen, haben Ludyga et al. 51 junge Erwachsene aus universitärem Umfeld in zwei Gruppen aufgeteilt und sie (1) nach moderatem Joggen sowie (2) nach einer Zeitspanne im Sitzen unter anderem

einem „Free-recall-Test“ unterzogen.<sup>16</sup> Hierbei werden 20 Nomen auf Deutsch und Englisch auf einem Bildschirm präsentiert, welche innerhalb von 100 Sekunden gelernt werden sollen. Zur Prüfung des Kurzzeitgedächtnisses werden die Vokabeln unmittelbar nach dem Einprägen schriftlich abgefragt und zur Prüfung des Langzeitgedächtnisses nach einer zwanzigminütigen Vorlesung zur Ablenkung. Versuchspersonen, welche der Gruppe des moderaten Joggens angehören, weisen eine erhöhte Anzahl an richtig erinnerten Vokabeln auf als Versuchspersonen aus der sitzenden Gruppe.<sup>16</sup> Daraus schließen die Autor\*innen, dass motorische Aktivität moderater Intensität sowohl das sprachliche Kurzzeit- als auch das Langzeitgedächtnis fördert.<sup>16</sup>

Zusammenfassend zeigen die vorgestellten Studien, dass Bewegung moderater Intensität vor der Durchführung einer Gedächtnisaufgabe, im Vergleich zu Ruhebedingungen, einen positiven Effekt auf das Langzeitgedächtnis hat. Im nächsten Kapitel wird der Einfluss simultaner Bewegung auf die Enkodieren erläutert.

### **1.1.2. Simultane Bewegung und Gedächtnis**

Auf die im vorherigen Kapitel beschriebenen Studien aufbauend zeigt die aktuelle Datenlage, dass vor allem auch simultane Bewegung während des Lernprozesses zu besseren Gedächtnisleistungen, z.B. gemessen anhand von Vokabeltestergebnissen, führt.<sup>17</sup> Da die vorliegende Forschungsarbeit ausschließlich Lernbedingungen während Bewegung untersucht, schildert dieses Unterkapitel die bisherigen Annahmen zum Vorteil simultaner Bewegung.

Schmidt-Kassow et al. haben untersucht, ob leichte bis moderate Bewegung auf einem Fahrradergometer während der Enkodierung von akustisch präsentierten Vokabeln den späteren Abruf des Gelernten fördert.<sup>7</sup> Im Vergleich ermitteln sie die Ergebnisse des Vokabellernens (1) nach bereits erfolgter, (2) bei simultaner leichter bis moderater Aktivität sowie (3) nach einer Ruhephase.<sup>7</sup>

Insgesamt werden 81 weibliche Probandinnen zwischen 19 und 29 Jahren für die Studie nach dem Zufallsprinzip den drei verschiedenen experimentellen Bedingungen zugeteilt. Es erfolgen zwei Sitzungen, in denen innerhalb von 30 Minuten jeweils zwei



## Einleitung

Mal 80 polnisch-deutsche, via Kopfhörer präsentierte Vokabelpaare gelernt werden. Je nach Gruppe bestehen folgende Lernbedingungen: (1) nach einer Ruhephase (RELAX), (2) nach Aktivität auf einem Fahrradergometer (POST) und (3) während der Aktivität auf einem Fahrradergometer (SIM).

Am Anfang der zweiten Sitzung, exakt 48 Stunden nach der ersten Sitzung, erfolgt der erste Vokabeltest. Der zweite Vokabeltest erfolgt weitere 48 Stunden nach dem ersten Test.

Die Autor\*innen stellen fest: Leichte bis moderate körperliche Aktivität, hier in Form von Fahrradfahren während des Lernens von Vokabeln, führt zu einer besseren Gedächtnisleistung im Vergleich zu der Ruhebedingung.<sup>7</sup> Auch andere Studien haben gezeigt, dass sportliche Betätigung Anteile des Gehirns aktiviert, welche für die Übersetzung externer Informationen in einen neuronalen Code zur Reizverarbeitung verantwortlich sind.<sup>13</sup> Hierbei dürfen das Ausmaß an körperlicher Anstrengung sowie die Komplexität der auszuführenden Bewegung jedoch einen gewissen Grad nicht überschreiten, damit für die Gedächtnisleistung notwendige Ressourcen nicht an falscher Stelle aufgebraucht werden.<sup>7,13</sup>

Zusätzlich wird ein Zusammenhang zwischen dem Bewegungsrhythmus, den die Probandinnen zu der Vokabelpräsentation über Kopfhörer entwickelten, und den damit einhergehenden besseren Gedächtnisleistungen vermutet.<sup>7,18</sup> Eine Kopplung der Bewegung durch das Fahrradfahren an den durch die Vokabelpräsentation vorgegebenen Takt könnte zu einer erhöhten Zuteilung von Aufmerksamkeit für akustische Reize führen.<sup>19</sup> Nach der *Dynamic Attending Theory (DAT)* von Large, Jones und Riess synchronisieren sich interne Schwingungen des Gehirns mit äußeren rhythmischen Reizen und lenken damit den Fokus auf diese Reize, sodass synchronisierte Verarbeitungsprozesse entstehen.<sup>3</sup> Die dadurch gelenkte Aufmerksamkeitszuteilung wiederum ist für Lern- und Erinnerungsprozesse essentiell.<sup>19,20</sup> Zudem werden zeitliche Vorhersagen für anschließend erwartete Reize generiert, welche dem Erlernen von Sprache als Grundlage dienen können.<sup>21,22</sup>

## Einleitung

Die Vokabelpaare werden den Probandinnen in einer konstanten Geschwindigkeit von 0,5 Hz dargeboten.<sup>7</sup> Hierbei erfolgt die Bewegung der Probandinnen bei einer mittleren Trittggeschwindigkeit von ca. 1 Hz synchron zu der rhythmischen Vokabelpräsentation. Dies resultiert in auditorisch-motorischer Synchronisation und könnte zu einer verbesserten Aufmerksamkeitszuteilung führen: Die Vorhersehbarkeit der eintreffenden Vokabeln fördert die Bereitstellung kognitiver Ressourcen für deren Verarbeitung.<sup>23</sup> Dem Gehirn wird dadurch die Möglichkeit geboten, die Vokabelpräsentation an einem vorgegebenen Zeitpunkt zu erwarten und sich dementsprechend auf den Reiz „vorzubereiten“.<sup>23</sup>

Eine weitere von Schmidt-Kassow et al. durchgeführte Studie bekräftigt die oben beschriebene Annahme, dass körperliche Aktivität die Enkodierung akustisch präsentierter fremdsprachlicher Vokabeln nicht allein durch physiologische Veränderungen, sondern zusätzlich durch Synchronisationsprozesse fördert.<sup>8</sup> Hier zeigt sich, dass eine simultane sportliche Betätigung sehr leichter Intensität, wie das Gehen auf einem Laufband, einen positiven Einfluss auf das Erlernen fremdsprachlicher Vokabeln sowie deren späteres Abrufen hat.<sup>8</sup> Insgesamt werden 17 weibliche und 14 männliche Versuchspersonen in einem Abstand von 72 Stunden und unter zwei Bedingungen getestet: (1) Beim sehr langsamen Gehen auf dem Laufband und (2) beim Sitzen in einem Sessel. Beide Bedingungen beinhalten das Erlernen 40 polnisch-deutscher Vokabelpaare, welche zwei Mal hintereinander über Kopfhörer abgespielt werden. Auch hier finden die Autor\*innen, dass simultane Bewegung zu einer verbesserten Performanz führt.<sup>8</sup> Nach der Bedingung des Gehens auf dem Laufband erzielen 63 Prozent der Versuchspersonen bessere Vokabeltest-Ergebnisse. Die Vokabeltests zur Überprüfung des Erlernen erfolgen unmittelbar nach der jeweiligen Lernsession sowie 24 Stunden später.

In den beschriebenen Studien konnten physiologische Marker keine Erklärung für den Effekt liefern, jedoch hat sich gezeigt, dass auch schon eine sehr niedrige Bewegungsintensität während des Enkodierungsvorganges, wie des Gehens auf einem Laufband, das verbale Langzeitgedächtnis fördert. Offen bleibt bisher die Frage, ob ein

Unterschied innerhalb der motorischen Bedingungen und der damit einhergehenden Synchronisation zu akustischen Reizen besteht. Darauf wird im folgenden Unterkapitel eingegangen.

### 1.1.3. Fixe versus selbst-initiierte Reizpräsentation

Wie bereits unter 1. angeschnitten, passt sich Bewegung an einen akustischen Input an, wenn dieser wiederholt eintritt. Hören wir z.B. Musik, kommt es häufig zu einem simultanen Kopfnicken oder Körperwippen im Takt des Gehörten.<sup>4</sup> Im Folgenden soll hergeleitet werden, welche Bedeutung diese auditorisch-motorische Synchronisation für den Zweitspracherwerb hat.

Zunächst wird zum besseren Verständnis der auditorisch-motorischen Synchronisation auf die beteiligten anatomischen Strukturen eingegangen. Nach der *Rhythm Perception Theory* von Todd & Lee wird über das Gleichgewichtssystem ein Abbild des Körpers in Bewegung während der rhythmischen Reizverarbeitung erstellt, um diesen Bewegungsvorgang von gleichzeitigen passiven Kopfbewegungen, welche die rhythmische Enkodierung beeinflussen könnten, abzugrenzen.<sup>5,24</sup> Zwei Pfeiler dieser Theorie sind, dass erstens Rhythmuswahrnehmung ein Akt des Gleichgewichtssystems ist und zweitens, dass die Rhythmuswahrnehmung orientierend dazu beiträgt, interne und externe Abbildungen der Körperposition im Raum zu generieren.<sup>24</sup> Dies ist relevant für das Verständnis der auditorisch-motorischen Synchronisation, welche durch die Zusammenarbeit zweier Systeme funktioniert. Eines besteht aus dem Gleichgewichtssystem und dem motorischen Kortex, das zur Wahrnehmung des Körpers während der motorischen Ausführung dient.<sup>25</sup> Diese motorische Ausführung synchronisiert sich zu akustischen Reizen.<sup>4,24</sup> Die akustischen Reize wiederum werden über das zweite System, den auditorischen Kortex, wahrgenommen.<sup>25</sup> Über die Kommunikation dieser Systeme erfolgt im Zusammenspiel die effizientere Verarbeitung so enkodierter Informationen.<sup>24</sup> Die aktive auditorisch-motorische Synchronisation bezeichnet demnach ein Zusammenspiel aus Vorhersagen und Rückmeldungen über wahrgenommene Reize zwischen dem motorischen und auditorischen System.<sup>19,26-28</sup>

Die Synchronisation der eigenen Bewegung zu einem akustischen Reiz erhöht die Aufmerksamkeit, welche auf diesen Reiz gelenkt wird.<sup>19</sup> Dies geschieht deshalb, weil nach der *Dynamic Attending Theory* Gehirnaktivität dazu neigt, sich mit regelmäßigen externen Reizen zu synchronisieren.<sup>3</sup> Durch diese Regelmäßigkeit ist deren Vorhersehbarkeit größer und dies wiederum erleichtert die Aufmerksamkeitszuteilung auf die Reize.<sup>18</sup> An der Rhythmuswahrnehmung sind neben dem auditorischen Kortex auch motorische Kortexareale mitbeteiligt,<sup>29</sup> sodass nach Schmidt-Kassow et al. die Synchronisation von Bewegung und akustischem Reiz Aufmerksamkeitsfördernd wirkt.<sup>19</sup>

Conradi et al. haben in einer EEG-Studie untersucht, ob dieser Effekt sowohl durch passive als auch durch aktive Synchronisation hervorgerufen wird.<sup>26</sup> Passive Synchronisation bezeichnet hierbei die Darbietung eines Reizes im selbst-initiierten Bewegungsrhythmus der Versuchspersonen, während aktive Synchronisation die (aktive) Anpassung des eigenen Bewegungsrhythmus an eine fixe Reizpräsentation beschreibt. Bei der passiven Bedingung gibt es demnach eine perfekte Übereinstimmung von Bewegung zu einem akustischen Reiz, da der Reiz durch die eigene Bewegung ausgelöst wird. Das heißt, die Reizpräsentation erfolgt immer als Folge der motorischen Planung. Bei der aktiven Synchronisation dagegen kann die Synchronisationsarbeit unterschiedlich ausfallen, je nach Genauigkeit der Durchführung und die motorische Planung passt sich der Reizpräsentation an.

In dem Versuch von Conradi et al. werden 20 Versuchspersonen Tonreihen präsentiert, unter welchen sie in der Tonhöhe abweichende Töne erkennen und zählen sollen.<sup>26</sup> Anhand der Anzahl richtiger Antworten sowie des Ausschlages der dazugehörigen P300-Welle im EEG wird gemessen, welcher Unterschied zwischen der aktiven und passiven Synchronisationsbedingung sowie unter Ruhe während der Aufgabendurchführung besteht. Die P300-Welle ist ein elektrophysiologischer Marker von Aufmerksamkeit.<sup>30</sup>

An dieser Stelle ist ein kurzer Exkurs zu den ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs) notwendig. Als ereigniskorrelierte Potentiale werden vom Gehirn erzeugte Wellen

bezeichnet, welche durch einen sensorischen Reiz oder ein psychisches Ereignis erzeugt und mittels eines EEGs abgeleitet werden können.<sup>31</sup> Es lassen sich unterschiedliche Komponenten bestimmen, die während der Verarbeitung sensorischer, speziell akustischer, Informationen entstehen und in unterschiedlichen Hirnarealen gebildet werden.<sup>31</sup> Die P300-Welle stellt die Aufmerksamkeitszuteilung auf unerwartete, seltene Ereignisse dar oder „eine Art Kategorisierung und Evaluation des dargebotenen Stimulusmaterials“.<sup>30</sup> N100, P200 und P300 entstehen während der Verarbeitung von sensorischen, speziell akustischen Informationen und werden in unterschiedlichen Hirnarealen gebildet, wobei P für positive und N für negative Ausschläge steht.<sup>31</sup> Sie stellen die Informationsverarbeitung eines sensorischen Reizes sowie einer eventuell daran gekoppelten motorischen Ausführung dar.<sup>31</sup> Die dabei angegebene Zahl bezeichnet die zeitliche Latenz in Millisekunden, nach welcher die Potentiale auftreten und messbar sind.<sup>32</sup> Relevant für diese Arbeit ist insbesondere die P300-Komponente als Darstellung der Aufmerksamkeitszuteilung.<sup>32</sup>

Das von Conradi et al.<sup>26</sup> durchgeführte Experiment beinhaltet die folgenden 5 Bedingungen:

- (1) Fixe Stimuluspräsentation im Sitzen
- (2) Zeitlich variable Stimuluspräsentation im Sitzen
- (3) Fixe Stimuluspräsentation beim Fahrradfahren (d.h. aktive Synchronisation)
- (4) Zeitlich variable Präsentation beim Fahrradfahren
- (5) Selbst-initiierte Stimuluspräsentation beim Fahrradfahren (d.h. passive Synchronisation)

Die Bewegung wird bei niedriger Intensität durchgeführt, also von den Versuchspersonen als nicht anstrengend wahrgenommen. In (5) wird die Präsentation der Sinustöne durch das Treten in die Pedale beim Durchkreuzen einer Lichtschranke ausgelöst. Hierbei ist die Geschwindigkeit allein durch die Versuchsperson vorgegeben.

Die elektrophysiologische Darstellung der Aufmerksamkeit mittels der P300-Welle zeigt sich ausgeprägter, wenn körperliche Aktivität und Rhythmus des akustisch

präsentierten Reizes zeitlich aufeinander abgestimmt sind.<sup>26</sup> Die Studie ergibt eine positive Korrelation zwischen dem Ausschlag der P300-Amplitude und der Bedingung der aktiven Synchronisation während der Synchronisationsleistung (Bedingung (3)). Die Bedingung der passiven Synchronisation (5) führt zwar zu einer fast perfekten Übereinstimmung der motorischen Aktivität mit dem präsentierten Ton, jedoch zu einer geringeren P300-Amplitude. Die zufällige Stimuluspräsentation (4) ermöglicht dagegen keine Synchronisation der motorischen Aktivität.

Wie angenommen, findet sich eine stärkere P300-Amplitude als Reaktion auf zeitlich rhythmischen im Vergleich zu zeitlich variablen Reizen. Dieser erhöhte Ausschlag verstärkt sich unter der Bedingung der simultanen auditorisch-motorischen Synchronisation (3).<sup>26</sup> Dementsprechend ist die Aufmerksamkeitszuteilung umso gezielter, je präziser die aktive auditorisch-motorische Synchronisation erreicht wird. Zwar hat die passive auditorisch-motorische Synchronisation eine zeitlich perfekte Übereinstimmung zwischen motorischer Ausführung und Tonpräsentation ergeben, jedoch ist der Ausschlag der P300-Amplitude hier viel geringer. Da die Geschwindigkeit des Fahrradfahrens in den unterschiedlichen Experimentbedingungen nicht variiert, schließen die Autor\*innen hieraus, dass die Zuteilung von Aufmerksamkeit auf zeitlich vorhersehbare Reize dann am gezieltsten erfolgt, wenn die motorische Aktivität mit einem zeitlich fix präsentierten, akustischen Reiz synchronisiert werden muss.<sup>26</sup> Die Enkodierung eines akustischen Ereignisses, welches erwartet wird, hängt damit direkt von der aktiven Anpassung an eine zeitlich vorgegebene Struktur ab. Eine erhöhte P300-Welle als Aussage über die Zuteilung von Aufmerksamkeit unter Bewegung legt nahe, dass diese erhöhte Aufmerksamkeit auch mit besseren Lernergebnissen unter Bewegung übereinstimmen sollte. Offen bleibt jedoch, ob die Auswirkung eines fix präsentierten akustischen Reizes, nämlich einer stärkeren P300-Welle als Aufmerksamkeitsparameter, übertragbar ist auf ein unter Bewegung durchgeführtes Lernparadigma.

In Anlehnung an Conradi et al. und unter Beachtung der *DAT* zeigen Schmidt-Kassow et al., dass eine rhythmische körperliche Aktivität zeitgleich zu der Verarbeitung sprachlicher Reize die dazu notwendige Aufmerksamkeitszuteilung fördert.<sup>5,26</sup> Dies stellt

sich ebenfalls elektrophysiologisch durch einen stärkeren P300-Ausschlag dar, welcher im Falle von körperlicher Inaktivität schwächer ausfällt.<sup>5</sup> In dieser bezüglich Aufbau, Sprachdarbietung und Materialverwendung vergleichbaren Studie kommen die Autor\*innen zu den gleichen Ergebnissen, nämlich dass die Bedingung der aktiven Synchronisation mehr Aufmerksamkeit bereitstellt. Aufmerksamkeit profitiert stärker von einer motorisch stabilen Bedingung als von einer perfekten zeitlichen Übereinstimmung bei instabiler motorischer Ausführung.<sup>5</sup> Ihre Studie zeigt, dass die Enkodierung phonetischer Information über die auditorisch-motorische Synchronisation beeinflusst wird.<sup>5</sup> Sie weist erstmalig einen direkten Zusammenhang zwischen der motorischen Performanz und der Enkodierung phonetischer Information im Rahmen der auditorisch-motorischen Synchronisation nach.<sup>5</sup>

Zusammenfassend zeigen die zitierten Studien, dass eine aktive Synchronisation zu einer fixen Stimuluspräsentation eine präzisere Zuweisung von Aufmerksamkeit ermöglicht als eine selbst-initiierte, das heißt passive Synchronisation.

In Kontrast zu den besprochenen Ergebnissen steht jedoch die Studie von Knolle et al. – Sie untersucht, inwiefern selbst-initiierte akustische Reize EKPs beeinflussen.<sup>33</sup> Im Vergleich werden extern generierte akustische Reize unter einer Ruhebedingung präsentiert, um Intensitätsunterschiede von EKPs innerhalb der zwei Bedingungen zu ermitteln.<sup>33</sup> Ziel der Studie ist es, die Spezifität vorhersehbarer Ereignisse zu ermitteln (forward prediction) und zu eruieren, wie sich unspezifisch zu vorhersagende Ereignisse in EKPs abbilden.

Es werden 16 Versuchspersonen nach einer Lern- sowie einer Trainingseinheit unter zwei motorischen Bedingungen auf ihre P300-Antwort getestet: Bedingung (1) präsentiert den Versuchspersonen einen Ton, wenn sie ein Tappingpad berühren (Auditory-motor-condition – selbst-initiierte Synchronisationsbedingung), und Bedingung (2) präsentierte alle 2,4 Sekunden einen Ton (Auditory-only-condition – körperlich passive Bedingung), unabhängig von der motorischen Aktivität der Versuchspersonen. Eine dritte Bedingung (motor-only-condition) dient als Kontrolleinheit für die selbst-initiierte Synchronisationsbedingung. Gemessen werden

die Antworten auf die akustischen Reize in Form verschiedener EKPs, wobei zwecks eines direkten Vergleiches mit der von Conradi et al.<sup>26</sup> besprochenen Studie hier insbesondere auf die P300-Potentiale eingegangen wird.

In dieser Studie wurde eine verstärkte P300-Welle für selbst-initiierte Abweichungen in den Tönen gefunden, das heißt, dass auf unerwartete, seltene Ereignisse, welche durch die eigene Initiation entstehen, vermehrt Aufmerksamkeit gelenkt wird.<sup>33</sup> Im Vergleich zeigt sich in der körperlich passiven Bedingung eine geringere Aufmerksamkeitszuteilung als P300-Antwort auf abweichende Töne.<sup>33</sup> Die Messung weiterer EKPs weist darauf hin, dass selbst-initiierte Töne spezifische Vorhersagen über die Qualität eines akustischen Reizes erzeugen.<sup>33</sup> Je spezifischer ein Reiz vorhersehbar, desto geringer der neuronale Verarbeitungsaufwand – umgekehrt generiert ein abweichender Reiz einen Vorhersagefehler, der in einem größeren Ausschlag einzelner EKPs resultiert.<sup>33</sup> Dadurch entstehen Ungereimtheiten zwischen den vorhergesehenen Konsequenzen einer Wahrnehmung und den tatsächlich wahrgenommenen, veränderten Tönen: Der Hörkortex braucht demnach mehr Aktivität, um diesen Vorhersagefehler zu verarbeiten.<sup>33</sup> Dies ist deshalb relevant, weil eine fixe, das heißt zeitlich rhythmische Präsentation, die Bildung einer Vorhersage ermöglicht und die Entstehung von Vorhersagefehlern minimieren müsste.<sup>23,26</sup>

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Studie, dass die Erzeugung selbst-initiiertes Töne, also eine passive Synchronisation als Präsentationsform, einen Vorteil für die Verarbeitung dieser hat.<sup>33</sup> Dies manifestiert sich in einer geringeren Gehirnaktivität als Antwort auf diese Töne, also einer stärkeren Unterdrückung der zuständigen EKPs. Kommt es jedoch zu abweichenden Tönen innerhalb des festen Präsentationsmodus und wird dadurch ein Vorhersagefehler erzeugt, wird dieser effizienter verarbeitet, wenn selbst-initiiert. Dies bedeutet, dass eine erhöhte P300-Welle gemessen wird als Ausdruck davon, dass verstärkt Aufmerksamkeit auf selbst-initiierte, abweichende Töne gelenkt wird.<sup>33</sup>

Diese Ergebnisse widersprechen der oben dargestellten Annahme, dass eine aktive auditorisch-motorische Synchronisation zu einer erhöhten Zuteilung von



Aufmerksamkeit führt. Eine aktive Synchronisation findet zwangsläufig zu einem nicht selbst-initiierten, also extern erzeugten akustischen Reiz statt. Es ist jedoch zu beachten, dass die Studie von Knolle et al. keine aktive motorische Synchronisationsbedingung zu Tönen mit festem Zeitintervall beinhaltet, sondern nur eine körperlich-passive Bedingung mit extern präsentierten Tönen.<sup>33</sup> Es erfolgt demnach kein direkter Vergleich zweier motorischer Synchronisationsbedingungen.

### **1.1.4. Tonhöhenwahrnehmungspräferenz und ihre Rolle in der Sprachverarbeitung**

Weiterhin wird in der vorliegenden Forschungsarbeit untersucht, ob sich die Sprachverarbeitung zwischen verschiedenen Tonhöhenwahrnehmungspräferenzen unterscheidet. Anhand eines von Schneider et al. entwickelten Konzepts ist hierzu eine Unterteilung in zwei Hörtypen bezüglich der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz möglich: Grundton- und Obertonhörer\*innen.<sup>34</sup> Dies bedeutet, dass je nach Hörtyp beim Vorspielen eines Tones, bei dem der Grundton entfernt wurde, die Wahrnehmung der Tonhöhe variiert: Während einige eher den (errechneten) Grundton heraushören, schätzen andere die Tonhöhe basierend auf den Obertönen ein.

Ein Grundton bezeichnet nach Koch „den tiefsten Ton eines jeden besonderen [einzelnen] Akkordes, weil er gleichsam den übrigen Intervallen zur Grundlage dient.“<sup>35</sup> Obertöne dagegen sind „ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz“.<sup>36</sup> Durch die Mischung dieser unterschiedlichen Frequenzen entsteht ein Klang, der menschlichen Stimmen oder Musikinstrumenten eigen ist.<sup>36</sup>

Diese Wahrnehmungsunterschiede können sich innerhalb von drei bis vier Oktaven bewegen.<sup>37</sup> Die ursprüngliche Annahme einer Verarbeitungsdifferenz zeitlicher und spektraler Anteile von Klängen basiert auf Hermann von Helmholtz' Werk „Lehre von den Tonempfindungen“: Hier beschreibt und untersucht er eine analytische und eine spektrale Verarbeitungsweise von Tönen, basierend auf der Wahrnehmung einzelner Obertöne oder komplexer Klänge.<sup>38</sup>

Zatorre & Belin haben hinsichtlich dieser Theorie untersucht, welche Areale des

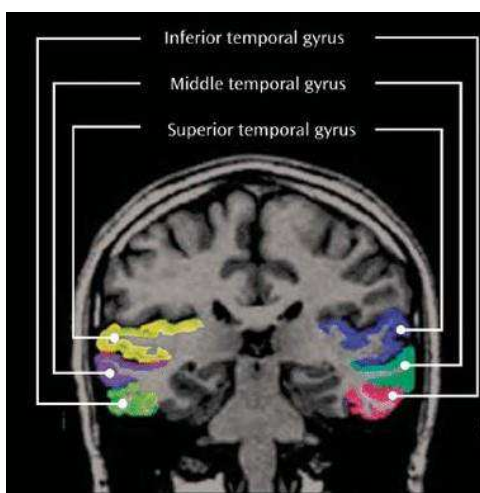


Abbildung 2. Coronare MRT-Ansicht des Gyrus temporalis superior. Quelle: Kuroki et al, 2006, p 11

auditorischen Kortex für die Verarbeitung von Ober- beziehungsweise Grundtönen zuständig sind.<sup>39</sup> Versuchspersonen hören in ihrer Studie unter zwei Bedingungen eine Abfolge von Tönen an, deren (1) spektrale Anteile konstant bleiben, jedoch zeitlich variieren und die (2) in ihrer Tonhöhe variieren jedoch zeitlich konstant bleiben. Hypothese ihrer Studien ist, dass Unterschiede in der Auflösung zeitlicher und spektraler Eigenschaften bestehen und diese

korrespondierende verantwortliche Felder in den zwei Hemisphären besitzen.<sup>39</sup> Mittels durchgeführter PET-Scans während der Darbietung akustischer Reize zeigen sie, dass beide Hemisphären Aktivität in Subarealen des auditorischen Kortex aufweisen. Der auditorische Kortex befindet sich symmetrisch im Temporallappen beider Hemisphären.<sup>40</sup> Relevant ist hierbei der Heschl Gyrus, welcher das Areal im Gehirn des primären auditorischen Kortex bezeichnet und Musik sowie Klangparameter, auch sprachliche, verarbeitet.<sup>39-41</sup> Die anatomische Struktur, welche den Heschl Gyrus beinhaltet, nennt sich Gyrus temporalis superior (STG), welcher wiederum den auditorischen Kortex beherbergt (Abb.2).<sup>42,43</sup> Zusammenfassend rekrutieren zeitliche Veränderungen vor allem den linken Heschl Gyrus, spektrale Veränderungen vor allem den rechten Heschl Gyrus.<sup>39</sup>

Die beschriebene Verarbeitungsdifferenz haben Schönwiesner et al. in einer Studie repliziert, indem sie die im Verarbeitungsprozess involvierten Hirnareale darstellen.<sup>44</sup> Zur Untersuchung einer hemisphärischen Asymmetrie bezüglich der Verarbeitung von Sprache und Musik verwenden sie Reize, welche keinen direkten Bezug zu Sprache und Musik haben, jedoch akustische Eigenschaften beider besitzen.<sup>44</sup> Unter fMRT - Beobachtung haben sie eine Asymmetrie kortikaler Areale bei der Verarbeitung von spektralen und zeitlichen Eigenschaften akustischer Stimuli, vor allem in den nicht primär auditorischen Arealen, bestätigt: Aktivität im linken STG korreliert mit der

## Einleitung

Modulation zeitlicher Stimuli, die äquivalente Region rechts mit der Modulation spektraler Stimuli.<sup>44</sup> Die Korrelation zwischen anatomischer Struktur und nachweisbarer Verarbeitungsasymmetrie interpretieren die Autor\*innen dahingehend, dass die Aufteilung der Hemisphären auf akustischen und nicht semantischen Reizeigenschaften beruhe.<sup>44</sup>

Um die anatomischen Grundlagen weiter zu ergründen, aus denen oben genannte Verarbeitungsdifferenzen resultieren, haben Schneider et al. eine große Gruppe Musiker\*innen und Nicht-Musiker\*innen untersucht.<sup>45</sup> Mittels eines Hörtests überprüfen sie, ob Versuchspersonen bei Tönen mit fehlendem Grundton F0 („missing fundamentals“, siehe Abb. 3) dazu tendieren, die Höhe des Tons anhand von (einem ergänzten) F0 wahrzunehmen oder aber auf der Basis der physikalisch realen Obertöne.<sup>46</sup>

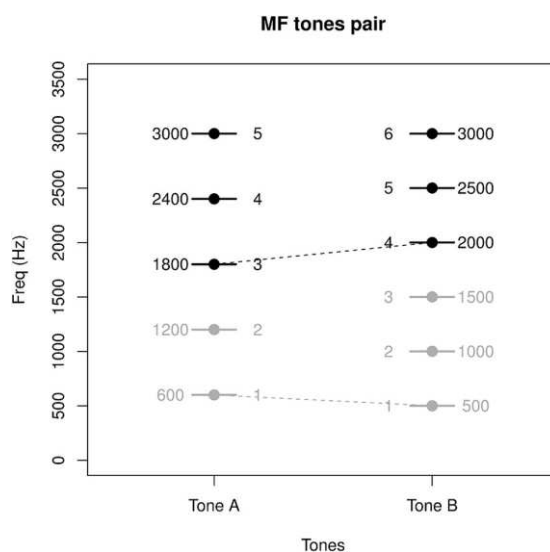


Abbildung 3. Illustration von Tonpaaren mit fehlendem Grundton. Die hellgraue gestrichelte Linie repräsentiert die Wahrnehmung von Grundtonhörer\*innen und die schwarze gestrichelte Linie die Wahrnehmung von Obertonhörer\*innen. Quelle: Ladd et al. 2013, p. 1387

Schneider berechnet aus den Antworten der Versuchspersonen einen Pitch Index (PI), dessen Werte zwischen -1 und 1 liegen.<sup>45</sup>

$$PI = \frac{sp - f_0}{sp + f_0}$$

## Einleitung

Dabei bedeutet  $sp$  die Anzahl der Obertonantworten (spectral frequency) und  $f_0$  die Anzahl der Grundfrequenzantworten. Ein PI kleiner als 0 gibt also eine Tendenz zum Grundtonhören wieder, ein PI größer als 0 eine Tendenz zum Obertonhören.

Sie zeigen zudem mittels MRT- und MEG-Sequenzen wieder eine hemisphärische Aufteilung in der Wahrnehmung akustischer Reize: Grundtonhörer\*innen manifestieren eine starke Ausprägung grauer Substanz im linken Heschl Gyrus, während Obertonhörer\*innen diese Asymmetrie zugunsten des rechten Heschl Gyrus aufweisen.<sup>45</sup> Daraus lässt sich Folgendes schließen: Der linke Heschl Gyrus verarbeitet vor allem zeitliche, der rechte vor allem spektrale Veränderungen. Die Korrelation dieser Aufteilung mit der Aktivierung der Areale links bei der Wahrnehmung von Grundtönen, rechts bei der von Obertönen, spricht für eine Aufgabenteilung des auditorischen Kortex.<sup>41</sup>

Ein Beispiel für zeitliche Veränderung wäre unter anderem Rhythmik. Demnach sollen Grundtonhörer\*innen ein Tempo motorisch-rhythmisch eher präzise beibehalten können als Obertonhörer\*innen, da sie eine ausgeprägtere rhythmische Wahrnehmung und Verarbeitung besitzen (siehe Abb. 4).<sup>41</sup>

Die Spielweise von Musiker\*innen spiegelt diese Hypothese wider: Grundtonhörer\*innen spielen eher virtuos oder rhythmisch betont, während Obertonhörer\*innen zarte Klangfarbenänderungen herausarbeiten.<sup>41</sup> Bei der Analyse der von Musiker\*innen ausgewählten Instrumenten fällt zudem eine Korrelation mit oben genannter Ausprägung auf: Während Grundtonhörer\*innen auf Instrumente mit kurzen, impulsiven Tönen zurückgreifen, wählen Obertonhörer\*innen Instrumente mit anhaltenden Tönen und Variationen im Timbre (siehe Abb.4).<sup>41</sup>

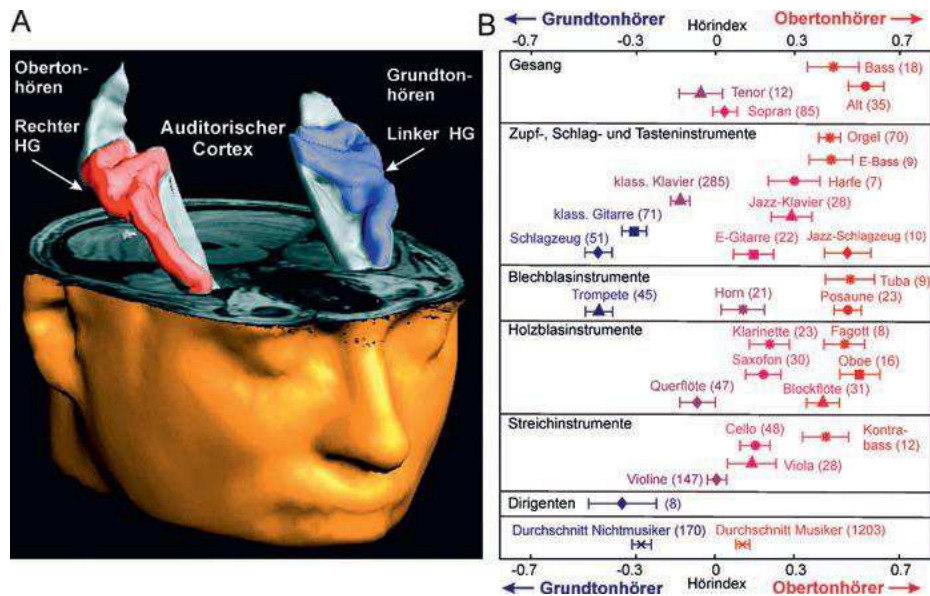


Abbildung 4. (A) Rekonstruktion des auditorischen Kortex. OT-hörer\*innen zeigen einen dominanten rechten, GT-hörer\*innen einen dominanten linken HG. (B) Auswahl der Musikinstrumente abhängig von der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz für 1203 Musiker\*innen und 170 Nichtmusiker\*innen (Mittelwert).  
Quelle: Gruhn et al. 2012, p. 5

Ladd et al. argumentieren in ihrem Artikel, dass diese Hörtyppdifferenzierung jedoch nicht binär ist.<sup>46</sup> Weiterhin scheint sie stark davon abhängig zu sein, wie die akustisch präsentierten Reize konstruiert sind, das heißt, wie die spektrale Zusammensetzung der Töne ist.<sup>46</sup> Dies steht in Kontrast zu der oben genannten ermittelten bimodalen Verteilung der Hörtypen.<sup>45</sup>

## 1.2. Hypothesen

Aufgrund der bisher beschriebenen Datenlage erfolgte die Ausführung der motorischen Aktivität in der aktuellen Forschungsarbeit beim Fahrradfahren unter geringer Intensität. Zudem geht die vorliegende Studie in Anbetracht des hier dargelegten Forschungsstandes von einem positiven Effekt von Bewegung auf das Langzeitgedächtnis aus. Da auch eine sehr niedrige Bewegungsintensität während des Enkodierungsvorganges, wie das Gehen auf einem Laufband, das verbale Langzeitgedächtnis fördert, ist in der vorliegenden Forschungsarbeit das Erlernen der Vokabeln ausschließlich unter motorisch aktiven Bedingungen erfolgt.

Die aktuelle Forschungsarbeit soll nun prüfen, ob sich die oben dargestellten EEG-Befunde aus dem Oddball-Paradigma auch auf ein Lernparadigma übertragen lassen und welche der beiden Bedingungen (fix rhythmische Präsentation versus selbst-initiierte Präsentation) zu einem nachhaltigen Transfer des Erlernten in das Langzeitgedächtnis führt.

Weiterhin wird die von Schneider et al. aufgestellte Theorie zur Tonhöhenwahrnehmungspräferenz auf das Lernparadigma unter Bewegung angewendet.<sup>45,47</sup> Hierzu wurde der Pitch-Index der Versuchspersonen mittels des oben beschriebenen Hörtests erhoben und eine Unterteilung in Ober- und Grundtonhörer\*innen vorgenommen. Es wird untersucht, inwiefern sich die Kombination dieser Parameter auf das akustische Erlernen einer Fremdsprache auswirkt. Hierbei wird berücksichtigt, dass eine unterschiedliche Ausprägung des auditorischen Kortex je nach Hörtyp verschiedene Schwerpunkte in der Rhythmuswahrnehmung setzt und, dass die oben erläuterte auditorisch-motorische Synchronisation einem selbst-initiierten oder von extern fix vorgegebenem Rhythmus folgt.

Basierend auf diesem dargestellten Stand der Forschung wurden folgende Hypothesen formuliert:

- 1) EEG-Studien mit Tönen und Silben zeigten einen Vorteil für Reize, die in der Bedingung der aktiven Synchronisation, verglichen mit einer passiven Synchronisationsbedingung, präsentiert wurden. Gilt dies auch für die Memorisierung, dann sollte in der aktuellen Studie die aktive Synchronisierung zu einer rhythmischen Vokabelpräsentation (fixe Bedingung) zu weniger Vergessen führen als eine selbst-initiierte Vokabelpräsentation.
- 2) Die Lernergebnisse sollten mit dem Pitch-Index korrelieren: Je höher der Pitch-Index, desto mehr sollten die Versuchspersonen von einer fixen Vokabelpräsentation profitieren, da sie weniger auf eine innere Rhythmizität zurückgreifen können.

- 3) Dritte und letzte Hypothese ist daran anschließend, dass Versuchspersonen mit einem niedrigen Pitch-Index ihre Bewegung besser mit der akustischen Vokabelpräsentation synchronisieren können als Versuchspersonen mit einem hohen Pitch-Index, da sie eine ausgeprägtere Rhythmuswahrnehmung haben.

In der aktuellen Forschungsarbeit wird untersucht, von welcher Bedingung das verbale Langzeitgedächtnis eher profitiert: Ist es eine fixe oder eine selbst-initiierte Reizpräsentation, die zu einem verbesserten Abruf abgespeicherter Vokabeln führt? Darüber hinaus werden die Ergebnisse in Abhängigkeit des Hörtyps ausgewertet: Inwiefern unterscheiden sich die Hörtypen in den motorischen Versuchsbedingungen?

## 2. Material und Methodik

### 2.1. Studienaufbau

Insgesamt wurden 48 Versuchspersonen (VP; Mittleres Alter: 24 Jahre) in einem 2\*2\*2 mixed-subjects Design getestet. Die Stichprobenziehung erfolgte ad-hoc.

Die Versuchspersonen kamen dafür an drei Tagen in das Institut für Medizinische Psychologie der Goethe-Universität Frankfurt am Main: Nach einer ersten präexperimentellen Sitzung folgten zwei Lerneinheiten à 45-50 Minuten in einem Abstand von 72 Stunden zueinander. Innerhalb dieser Lerneinheiten erfolgten das Erlernen von jeweils 40 polnisch-deutschen Vokabelpaaren unter zwei unterschiedlichen Lernbedingungen sowie ein darauffolgender Vokabeltest.

Zur Aufklärung über die Studie erhielt jede Versuchsperson das Informationsblatt "When does physical activity maximally influence learning?" im Rahmen des Forschungsvorhabens "The influence of synchronous physical activity on brain plasticity and foreign language learning" (siehe Anhang 8.1.). Vor dem Unterschreiben des Einverständnisses zur Teilnahme konnte jede Versuchsperson Fragen stellen, um etwaige Unklarheiten zu beseitigen. Eine Kopie der unterschriebenen Einverständniserklärung sowie des Informationsblattes und der Datenschutzhinweise wurde jeder Versuchsperson mitgegeben. Der Abbruch der Studienteilnahme war jederzeit und ohne Angabe von Gründen möglich. Als Aufwandsentschädigung wurden 10 € pro Stunde bar ausgezahlt oder überwiesen, nachdem alle Einheiten durchlaufen worden waren. Ein Ethikvotum zur Durchführung durch die Ethikkommission der Goethe-Universität Frankfurt am Main, Fachbereich Medizin, lag im Rahmen des Forschungsvorhabens "When does physical activity maximally influence learning?" zu Beginn der Datenerhebung vor.

Allen am Experiment teilnehmenden Versuchspersonen wurden an zwei Versuchstagen jeweils 40 (insgesamt also 80) polnisch-deutsche Vokabelpaare auditorisch über Kopfhörer präsentiert, während sie auf einem Fahrradergometer radelten:



(1) Tag 1: Fixe rhythmische Vokabelpräsentation, unabhängig von der Geschwindigkeit und dem individuellen Takt der Versuchsperson (im Folgenden Bedingung *fix*)

(2) Tag 2: selbst-initiierte Vokabelpräsentation durch die Versuchsperson: Der Rhythmus und die Geschwindigkeit der Versuchsperson beim Fahrradfahren bestimmen den Zeitpunkt der Präsentation des auditorischen Inputs. Durch das Treten in die Pedale wird die Vokabelpräsentation ausgelöst und die Synchronisation erfolgt dementsprechend mit einem selbst bestimmten, internen Rhythmus (im Folgenden: Bedingung *selbst-initiiert*).

Die Reihenfolge der Bedingungen war über die Versuchspersonen hinweg ausbalanciert. Zwischen den zwei Lerneinheiten vergingen exakt 72 Stunden, unmittelbar nach jeder Einheit wurde ein 10-minütiger Stummfilm angeschaut. Daraufhin erfolgte der erste Vokabeltest. Ein zweiter Vokabeltest wurde von den Versuchspersonen 24 Stunden später von zu Hause aus als Online-Test absolviert. Dieser Ablauf wiederholte sich für beide Lerneinheiten.

## 2.2. Versuchspersonen

Insgesamt wurden 81 Personen in den präexperimentellen Sitzungen getestet, hiervon konnten 48 Versuchspersonen zwischen 18 und 30 Jahren ( $M: 23,6$ ;  $SD: 2,8$ ), davon jeweils 24 Männer und Frauen ( $M$  Männer:  $22,9$ ;  $SD: 2,25$ ;  $M$  Frauen:  $24,3$ ;  $SD: 3,2$ ), in die Studie aufgenommen werden. Die anderen Personen wurden über den Hörtest (siehe Kapitel 2.3.1.) entweder einem Hörtyp zugeteilt, der bereits genügend repräsentiert war, oder sie fielen unter den Hörtyp „ausgeglichen“. Dies bedeutet, dass sie sowohl Grundtöne als auch Obertöne in gleichem Maße wahrnehmen und so keiner der zwei Gruppen zugeordnet werden konnten. In einem ersten Durchlauf der Datenerhebung, wurden 69 Personen getestet, wovon 48 (jeweils 24 Männer und 24 Frauen) in die Studie aufgenommen wurden. Bei der Datenauswertung mussten fünf Versuchspersonen aufgrund unvollständiger Daten ausgeschlossen werden. Hierbei kam es bei drei Versuchspersonen zu fehlenden Ergebnissen in einem der Vokabeltests, da dieser aufgrund technischer Schwierigkeiten nicht bis zum Ende durchgeführt

werden konnte. Bei zwei Versuchspersonen hingegen waren die Trittdaten, welche während der Lerneinheiten aufgezeichnet wurden, nicht verwertbar. Aus diesem Grund wurden in einem zweiten Durchlauf weitere 12 Personen getestet, wovon fünf anstelle der zuvor ausgeschlossenen Versuchspersonen in die Studie aufgenommen werden konnten, da sie die gleichen Voraussetzungen erfüllten. Sie durchliefen die gleichen Bedingungen wie die zuvor ausgeschlossenen, sodass sich eine finale Stichprobe von 48 VP ergab.

Die Rekrutierung der VP erfolgte über das Hochladen von Facebook-Posts mit einer Beschreibung der Studie in Student\*innengruppen, das Aufhängen von Plakaten am Campus Riedberg, Campus Niederrad und Campus Westend sowie Mundpropaganda über Freund\*innen und Bekannte der Doktorandin.

Um einen eventuellen Geschlechtereffekt auszuschließen, wurde von beiden Geschlechtern die gleiche Anzahl an Versuchspersonen rekrutiert. Es handelte sich hierbei um Studierende oder Auszubildende im Raum Frankfurt, Nichtraucher\*innen bzw. Raucher\*innen von unter 10 Zigaretten pro Tag und Rechtshänder\*innen. Bis auf eine hormonelle Verhütung nahmen die Teilnehmenden laut eigenen Angaben keine Medikamente regelmäßig ein, waren gesund und laut Definition der WHO im Mittel mit einem BMI (Body-Mass-Index:  $\text{kg/m}^2$ ) von 22,5 (SD: 2,3) normalgewichtig (M Frauen: 21,8; SD: 2,7; M Männer: 23,2; SD: 1,6). Alle Versuchspersonen waren deutsche Muttersprachler\*innen, monolingual aufgewachsen und sprachen bis zu fünf Fremdsprachen (M: 2,5; SD: 1,03), wobei polnische oder slawische Sprachkenntnisse sowie ein mehr als zweiwöchiger Aufenthalt in einem slawisch-sprachigen Land zuvor ausgeschlossen wurden. Der Erwerb der angegebenen Fremdsprachen hatte bei allen nach dem 6. Lebensjahr begonnen. Sie spielten bis zu drei Musikinstrumente (M: 1,4; SD: 1,14). Diese Angaben wurden alle dem Stammdatenblatt entnommen, welches in der präexperimentellen Sitzung ausgefüllt wurde (siehe Anhang 8.2.). Mittels eines Lernfähigkeitstests in der präexperimentellen Sitzung wurden ausgeprägt gute Lerner\*innen von der Studie ausgeschlossen, näheres hierzu im nächsten Kapitel. Einige Interessent\*innen konnten aufgrund einer zweisprachigen Erziehung sowie der

regelmäßigen Einnahme von Medikamenten bedingt durch chronische Erkrankungen oder Allergien nicht zur präexperimentellen Sitzung eingeladen werden. Von den getesteten Personen fielen wiederum einige aus der Aufnahme heraus, weil sie entweder ein ausgeglichener Hörtyp waren oder ein Hörtyp, welcher bereits genügend in der Versuchspersonenanzahl repräsentiert war. Ein weiterer Grund für den Ausschluss aus der Studie war der Abbruch der Teilnahme aus persönlichen Gründen von Seiten dreier Versuchspersonen.

### **2.3. Präexperimentelle Sitzung**

Zu Beginn jeder präexperimentellen Sitzung erfolgten eine Erklärung der Studie anhand des Informationsblattes sowie die Klärung etwaiger Fragen von Seiten der Versuchspersonen. Nach unterschriebener Einverständniserklärung wurde eine Zusammenfassung der darauffolgenden drei Einheiten gegeben und die Lernbedingungen in den zwei nächsten Sitzungen erläutert. Anschließend erfolgte das Erlernen von Pseudovokabeln im Sinne eines Lernfähigkeitstests. Pseudovokabel bezeichnet hierbei ein Wort, welches in der deutschen Sprache von der phonetischen Zusammensetzung her zwar so existieren könnte, es jedoch nicht tut. Die Versuchspersonen hörten sich 40 Pseudovokabeln über Kopfhörer (Philips SHP 2000), welche an deutsche „Übersetzungen“ gekoppelt waren, in Ruhe und auf einem Stuhl sitzend, an. Ihnen wurde freigestellt, ob sie diese laut nachsprachen oder nicht und mitgeteilt, dass am Ende der präexperimentellen Sitzung die Vokabeln schriftlich abgefragt werden würden. Nach dem einmaligen Anhören der Vokabeln wurden den Versuchspersonen ein Stammdatenblatt (zur Erhebung u.a. des Alters, des Geschlechts, der Anzahl an beherrschten Fremdsprachen und der gespielten Instrumente – siehe Anhang 8.2.) sowie ein Fragebogen zur sportlichen Belastbarkeit (siehe Anhang 8.3.) zum sofortigen Ausfüllen ausgeteilt. Hier konnten Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie einschränkende Verletzungen des Knochen-, Muskel- oder Bandapparates ausgeschlossen werden. Anschließend führten die Versuchspersonen den Test zur Tonhöhenwahrnehmungspräferenz von Schneider et al.<sup>45</sup> am Computer (Fujitsu ESPRIMO P2560, MI4W – D3041) durch, welcher ca. 15 Minuten dauert. Nach dem

Hörtest wurden die Pseudovokabeln schriftlich abgefragt. Hierbei wurden diese erneut über Kopfhörer abgespielt und es sollte die äquivalente deutsche Vokabel aufgeschrieben werden. Die Auswertung wurde den Versuchspersonen nicht mitgeteilt, es sei denn, es wurden mehr als 20 Vokabeln richtig erinnert – dies führte zu einem Ausschluss aus der Studie, um einen Deckeneffekt zu verhindern. Im Mittel wurden von den 40 Pseudovokabeln 3,9 Vokabeln (SD: 4,3) erinnert. Am Ende der Sitzung war ein Fragebogen bezüglich der präexperimentellen Sitzung auszufüllen, wobei mit einer 5-stufigen Likert-Skala (2 = Trifft zu, 1 = Trifft eher zu, 0 = Weiß nicht, -1 = Trifft eher nicht zu, -2 = Trifft nicht zu) verschiedene Aussagen bewertet werden sollten (siehe Anhang 8.4.): Es sollte eine Einschätzung der Motivation, des subjektiven Gefühls von Schlappeheit, des Ausmaßes der Ablenkung während des Lernens, der Konzentration, des momentanen Lernaufwandes durch das Studium, des persönlichen Stresslevels privat oder im Studium, des Lernens der Vokabeln sowie der Schlafqualität abgegeben werden. Alle angegebenen Daten wurden pseudonymisiert, jede Versuchsperson erhielt eine fortlaufende Versuchspersonennummer.

Die Versuchspersonen wurden gebeten, in der Woche vor den zwei Lerneinheiten einen konstanten Lebensstil hinsichtlich ihrer Ernährung, sportlicher Aktivität sowie ihres Schlafes einzuhalten und am Abend vor den Lerneinheiten keinen Alkohol zu trinken.

### **2.3.1. Tonhöhenwahrnehmungspräferenz**

Der oben genannte Hörtest wurde von Schneider et al. konzipiert und dient der Ermittlung des Pitch Index von Versuchspersonen.<sup>45</sup> Die Durchführung erfolgte am Computer des Labors (Rechner Fujitsu ESPRIMO P2560, MI4W – D3041 über die Soundkarte ASIO EDIROL FA-66.). Es wurden Philips SHP 2000-Kopfhörer bei einer individuell eingestellten Lautstärke von 50-100% verwendet.

Der Hörtest besteht aus 162 Items, diese wiederum jeweils aus zwei (Ober-)Tönen, wobei die Reihenfolge der Töne und Tonpaare immer nach demselben Randomisierungsvektor permutiert. Dies bedeutet, dass die Reihenfolge für alle Teilnehmenden gleich war. Die Versuchspersonen sollten anklicken, welcher der zwei Töne von ihnen als der höhere wahrgenommen wurde. Hierbei wird überprüft, ob



Abbildung 5. Durchführung des Hörtests

Versuchspersonen bei Tönen mit fehlendem F0 („missing fundamentals“, siehe Abb. 1) dazu tendieren, die Höhe des Tons anhand von (einem ergänzten) F0 wahrzunehmen oder aber auf der Basis der physikalisch realen Obertöne.<sup>46</sup> Jede Versuchsperson konnte anhand von drei Beispielen die gestellte Aufgabe üben, wobei ihnen mitgeteilt wurde, dass es kein richtiges oder falsches Ergebnis gibt.

Zusammenfassend sah der Ablauf der präexperimentellen Sitzung folgendermaßen aus:



Abbildung 6. Ablauf der präexperimentellen Sitzung

## 2.4. Stimuli

Die Vokabelpaare wurden den Versuchspersonen auditorisch über Kopfhörer (Philips SHP 2000) beim Fahrradfahren (Ergometer: dynavit® Conditronic 100) präsentiert. Damit diese ein Gefühl für die Bewegung und dem gleichzeitigen auditorischen Input bekommen konnten, wurden vor der Vokabelpräsentation 350 Sinustöne von 650 Hz mit einer Dauer von 50 ms abgespielt. In der fixen Bedingung wurde der Ton zuerst jede Sekunde (60 rpm), nach der Hälfte der Zeit nur noch alle 2 Sekunden präsentiert. Die Versuchspersonen sollten hierbei Fahrrad fahren und sich an die Situation gewöhnen. Nach den 350 Tönen kündigten drei hochfrequente Sinustöne von 700 Hz den Beginn der Vokabelpräsentation an. Hier wurden 40 polnisch-deutsche Vokabelpaare präsentiert, welche jeweils von einer Muttersprachlerin der betreffenden Sprache mit

phonetisch-linguistischen Kenntnissen eingesprochen worden waren. Die Vokabellisten enthielten jeweils 20 Nomen und 20 Verben (siehe Anhang 8.7. und 8.8.). Nach jedem Vokabelpaar ertönten zwei Sinustöne, auf welche die Versuchspersonen, nach vorheriger Anleitung, die gehörten Vokabeln laut wiederholten. Dies sollte die Ausbildung individueller Merkhilfen blockieren. Zwischen jedem auditorischen Input bestand in der fixen Bedingung ein Abstand von 2 Sekunden, welcher sich für die Versuchspersonen nicht unterschied. In der selbst-initiierten Bedingung bestand der Abstand aus zwei Umdrehungen des Fahrradfahrens. Auf diese erste Präsentationsrunde folgten erneute sieben Minuten Pause, in welcher Sinustöne präsentiert wurden. Die Versuchspersonen fuhren weiter Fahrrad und tranken eventuell ein Glas Wasser, welches ihnen zu Beginn der Sitzung angeboten wurde. Anschließend kündigten erneut drei hochfrequente Sinustöne den Beginn des zweiten Durchlaufs der Vokabelpräsentation an. Es handelte sich hierbei um dieselbe, bereits zuvor präsentierte Vokabelliste, welche jedoch nach einem neuen, randomisierten Muster abgespielt wurde. Demnach durchlief jede Versuchsperson beide Vokabellisten (von Lerneinheit 1 und Lerneinheit 2) jeweils zwei Mal. Nach dem zweiten Durchlauf war die Stimuluspräsentation beendet und die Versuchspersonen durften absteigen. Die selbst-initiierte Bedingung enthielt die gleichen Stimuli mit dem Unterschied, dass der Abstand zwischen der Vokabelpräsentation vom Takt und der Geschwindigkeit der Versuchspersonen abhing. Es wurde demnach kein Abstand von zwei Sekunden zwischen jedem Vokabelpaar eingehalten, sondern ein individuell bestimmter.

Die Auswahl der Sprache Polnisch liegt darin begründet, dass es sich hierbei um die phonetisch am weitesten entfernten Sprache zum Deutschen handelt: Da die polnische Sprache über sehr viele Phoneme verfügt, die im deutschen Lautinventar nicht enthalten sind, ist das Erlernen dieser dadurch erschwert.<sup>48</sup> Ein Phonem ist nach Duden die „kleinste bedeutungsunterscheidende sprachliche Einheit (z.B. *b* in „Bein“ im Unterschied zu *p* in „Pein“)“.<sup>49</sup> Die zwei Bewegungsbedingungen unterscheiden sich dahingehend, dass sich die motorische Aktivität der Versuchspersonen auf unterschiedliche Art und Weise an die akustische Vokabelpräsentation anpasst. Während bei einer zeitlich fixen Präsentation eine Synchronisation der Bewegung zu

dem akustischen Input erfolgt, kommt es in der selbst-initiierten Bedingung durch den Präsentationsmodus zu einer fast perfekten Synchronisation von Gehörtem und durchgeführter Bewegung. Dies wird als aktive Synchronisation in der fixen Bedingung bzw. passive Synchronisation in der selbst-initiierten Bedingung bezeichnet.

## 2.5. Ablauf der Lerneinheiten

Die Lerneinheiten erfolgten immer im Abstand von 72 Stunden voneinander, jeweils zur gleichen Uhrzeit (z.B.: VP 2 führte ihre Lerneinheiten an einem Montag und dem darauffolgendem Mittwoch jeweils um 16:30 Uhr durch). Die Messungen erfolgten alle zwischen 12 und 20 Uhr.

Nachdem den Versuchspersonen ein Glas Wasser angeboten wurde, bekamen sie eine erneute Erläuterung zum Ablauf der Lerneinheit und die Möglichkeit, Fragen zu stellen. Falls gewünscht, konnten sie sich mitgebrachte Sportbekleidung anziehen. Es wurde ihnen erklärt, wie sie einen Gurt zur Messung der Herzfrequenz (Polar Electro T31 N2965, Büttelborn, Deutschland) während der gesamten Einheit anzulegen hatten. Fühlten sich die Versuchspersonen bereit, wurden sie zur korrekten Methode, sich auf das Fahrradergometer zu setzen, instruiert. Der Tritt widerstand lag anfänglich bei 25 Watt und wurde von den meisten auf 40 Watt erhöht, um eine angenehme Bewegungsintensität zu gewährleisten. Die Reihenfolge der Bedingungen war bei allen Versuchspersonen ausbalanciert, wobei diesen nicht bekannt war, unter welcher sie gerade radelten. Während der Lerneinheit gab es keine Pause, Handys wurden zur Vermeidung von Unterbrechungen auf Lautlos gestellt und vorher abgelegt. Während des Fahrradfahrens schauten die Versuchspersonen auf eine weiße, reizarme Wand. Nach abgelaufener Lerneinheit stiegen die Versuchspersonen, wie instruiert, vom Fahrradergometer ab und legten den Gurt zur Messung der Herzfrequenz ab, welcher sofort desinfiziert wurde. Bei einem Glas Wasser und abgedunkeltem Raum folgte das Ansehen des 10-minütigen Stummfilms *Shaun das Schaf* zur Verhinderung des primacy recency effects, d.h. dem Merken der Vokabeln, welche als erstes bzw. letztes gehört wurden. Anschließend wurde der Vokabeltest durchgeführt sowie ein Stimmungsfragebogen zur Motivation, der Konzentrationsfähigkeit, zum aktuellen

Stresslevel sowie der Schlafqualität und -stunden in der letzten Nacht (siehe Anhang 8.6.) ausgefüllt.

Zusammenfassend sah der Ablauf der Lerneinheiten folgendermaßen aus:

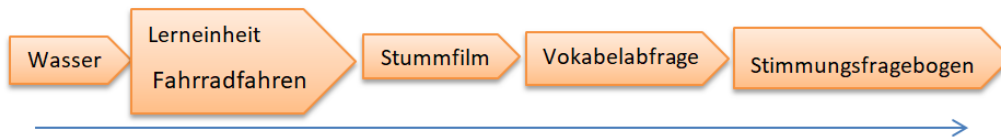


Abbildung 7. Ablauf der Lerneinheit

### 2.5.1. Bedingung der fixen Stimuluspräsentation



Unter der Bedingung *fix* lernten die Versuchspersonen 40 polnische Vokabeln auf einem Fahrradergometer in einem isochronen Präsentationsmodus. Dies bedeutet, dass die Vokabeln mit einem SOA (stimulus-onset asynchrony) von 2 Sekunden präsentiert wurden und die Versuchspersonen sich zu den Stimuli mit einer Trittggeschwindigkeit von 60 rpm (revolutions per minute) mit den Vokabeln aktiv synchronisieren konnten. Eine Lerneinheit dauerte 28 Minuten.

Abbildung 8. Fahrradfahren

### 2.5.2. Bedingung der selbst-initiierten Stimuluspräsentation

Unter der Bedingung *selbst-initiiert* lernten die Probanden 40 neue polnische Vokabeln auf einem Fahrradergometer in einem selbst-initiierten Präsentationsmodus. Dies bedeutet, dass die Vokabeln immer dann präsentiert wurden, wenn das Pedal eine Lichtschranke durchquerte, also in der individuellen Trittggeschwindigkeit der Versuchspersonen. Die motorische Synchronisation zum auditorischen Stimulus erfolgte nicht aktiv, sondern wurde durch den Präsentationsmodus gegeben. Hier



variierte die in Anspruch genommene Zeit individuell zwischen den Versuchspersonen, wobei eine Lerneinheit im Schnitt 26 (SD: 3,3) Minuten dauerte.

### 2.5.3. Vokabeltest

Nach der Lerneinheit sowie dem Anschauen des Stummfilmes absolvierten alle Versuchspersonen einen Vokabeltest am Computer. Die erlernten polnischen Vokabeln wurden ihnen über dieselben Kopfhörer, welche während der Lerneinheit benutzt wurden, präsentiert. Die Einstellungen erlaubten das nur einmalige Abspielen des Vokabeltests, sodass bei einem Abbruch ein erneuter Start nicht möglich war. Alle Versuchspersonen hatten 6 Minuten und 40 Sekunden Zeit, den Vokabeltest durchzuführen, wobei die Zeit während des Tests links im Bildschirm eingeblendet wurde. Nach Ablauf der vorgesehenen Zeit kam es zum automatischen Abbruch und Schließen des Tests. Die Einschränkung der Zeit sollte das Nachdenken erlauben, jedoch ein eventuelles Nachschlagen der Wörter verhindern. Jede der 40 polnischen Vokabeln wurde einmal abgespielt und die Versuchspersonen sollten die entsprechende deutsche Übersetzung, falls erinnert, in ein dafür vorgesehenes Feld eingeben. Die Lautstärke konnte individuell eingestellt werden, das Ergebnis des Tests konnten die Versuchspersonen nicht einsehen.



Der gleiche Vokabeltest wurde von allen Versuchspersonen 24 Stunden später von zu Hause erneut durchgeführt. Der Zugriff auf den Test wurde erst am entsprechenden Tag freigeschaltet, um einen früheren Zugang zu vermeiden. Auch hier gab es nur einen einzigen Versuch und keine Auflösung über das Abschneiden.

Abbildung 9. Durchführung des Online-Vokabeltests

Insgesamt absolvierte jede Versuchsperson vier Vokabeltests, jeweils zwei pro Lerneinheit. Davon erfolgte einer unmittelbar nach der Lerneinheit und ein zweiter 24 Stunden später.

## 2.6. Datenerfassung

Alle erhobenen Daten wurden in einer Excel-Tabelle festgehalten. Hierbei erfolgte die Zuteilung einer Nummer für jede Versuchsperson bereits in der präexperimentellen Sitzung, sodass die Pseudonymisierung gewährleistet war.

Mittels eines Messgurtes (Polar Electro T31 N2965, Büttelborn, Deutschland) wurde die Herzfrequenz aller Versuchspersonen erfasst und über MATLAB R2010a aufgezeichnet.

Folgende Werte wurden für die Analyse der motorischen Performanz erhoben: Als Synchronisierungsmaß die *Inter-Beat-Deviation*, je nach Bedingung bezeichnet als *IBDfix* und *IBDself*. Hierbei wurde der Abstand zwischen dem Tritt und dem Beat (Wortanfang) gemessen – in der selbst-initiierten Bedingung lag dieser demnach bei null. Zudem wurde die Trittgeschwindigkeit, notiert als *speedfix* und *speedself*, berechnet. Zur Auswertung der Lernleistung wurden die Vokabeltestergebnisse an Tag 1 und Tag 2 der zwei Lernbedingungen sowie 24 Stunden später analysiert. Die Vokabeltestergebnisse wurden als absolute Performanz definiert. Diese wurden unter *self1*, *self2*, *fix1*, *fix2* festgehalten. Zusätzlich wurde die Differenz aller Ergebnisse innerhalb der zwei Bedingungen berechnet und unter *fixdiff* und *selfdiff* festgehalten. Ergänzt wurde die Performanz um den Wert *Diff*, der sich zusammensetzte aus *fixdiff-selfdiff* sowie um die Mittelwerte der erreichten Ergebnisse in der selbst-initiierten und fixen Bedingung (*selfmw* und *fixmw*). Nach dem Prinzip des Median Splits erfolgte eine Einteilung der Versuchspersonen in *High-* und *Low-Pitch-Index-Zugehörige* (*pitchgroup*). Diese werden im folgenden *LPIs* und *HPIs* bezeichnet. Zudem wurden noch das Geschlecht sowie die Ergebnisse des Pseudovokabeltests in Punkten festgehalten.

## 2.7. Datenauswertung

Die Mittelwerte der Anzahl an Versuchspersonen, des BMIs, der Anzahl an Fremdsprachen, der Anzahl an gespielten Musikinstrumenten, der Vokabeltest Performanz und des Vergessens der Versuchspersonen sowie der motorischen

Performanz wurden mittels Microsoft Excel 2010 und JASP 0.10.2.0 errechnet. An deskriptiver Statistik erfolgte mittels JASP 0.10.2.0 die Berechnung von Mittelwerten mit Standardabweichung sowie die Korrelationen nach Pearson für quantitative und nach Spearman's für die qualitativen Daten, welche der Likert-Skala des Stimmungsfragebogens entnommen wurden. Weiterhin wurden mittels JASP 0.10.2.0 die Varianzanalysen mit Messwiederholung sowie die ungepaarten und gepaarten T-Tests durchgeführt. Das Signifikanzniveau lag bei 5 %. Die Grafiken wurden mittels Microsoft Excel 2010 sowie JASP 0.10.2.0 erstellt.

Da es bei drei Versuchspersonen aufgrund technischer Schwierigkeiten zu fehlenden Ergebnissen in einem der Vokabeltests kam, konnten sie aufgrund des unvollständigen Datensatzes nicht in die Auswertung mit eingeschlossen werden. Bei zwei VP hingegen waren die Trittdaten, welche während der Lerneinheiten über MATLAB R2010a aufgenommen wurden, nicht auswertbar. Eine VP wurde aus der Auswertung ausgeschlossen, da unter beiden Bedingungen nur eine Vokabel erinnert, welche im zweiten Vokabeltest vergessen wurde. Es lässt sich nicht nachweisen, ob die Vokabeln aufmerksam gelernt wurden, weshalb keine verlässliche Aussage über die Performanz getroffen werden kann und einer Einbeziehung der Daten widerspricht. Daraus ergab sich ein Datensatz von 47 VP.

### 2.7.1. Vokabeltests

In den Vokabeltests konnte eine maximale Leistung von 40 Punkten erreicht werden, welche die Definition der absoluten Performanz erhielt. Berechnet wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit der abhängigen Variablen „absolute Performanz“ und der unabhängigen Variablen „Lernbedingung (*selbst-initiiert/fix*)“ und „Tag der Lerneinheit (*Tag 1/Tag 2*)“ als Innersubjektfaktoren sowie dem Zwischensubjektfaktor „Pitchgroup (*LPI/HPI*)“. Bei Signifikanz einer Interaktion erfolgte die Berechnung von post-hoc-Tests zur Spezifizierung des Effekts.

Zusätzlich erfolgte eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf der Differenz der Performanz zwischen Tag 1 und Tag 2. Hier wurden die unabhängigen

Variablen Lernbedingung (*selbst-initiiert/fix*) und Pitch-Gruppe (*LPI/HPI*) mit analysiert. Durch die Differenzen zwischen Tag 1 und Tag 2 als abhängige Variable sollte das Vergessen erfasst werden.

Post-hoc Vergleiche wurden dann gerechnet, wenn eine Interaktion mit Lernbedingung signifikant wurde, um die Spezifität des Effekts für diese darzustellen.

Hier wurde für einen Gruppenvergleich zum Vergessen ein ungepaarter T-Test mit den Variablen *selfdiff* und *fixdiff* zwischen den Gruppen der LPIs und der HPIs gerechnet.

Weiterhin wurde mittels eines gepaarten T-Tests überprüft, ob sich die Gruppen innerhalb der Bedingungen unterscheiden: Sowohl für die HPIs als auch für die LPIs wurde jeweils *selfdiff* mit *fixdiff* verglichen.

### 2.7.2. Motorische Performanz

Zur Erfassung der subjektiven Belastung wurden die Ergebnisse des Stimmungsfragebogens bezüglich der Angaben zu „Das Training war für mich körperlich anstrengend“ sowie „Es fiel mir leicht, die Geschwindigkeit konstant zu halten“ in der fünfstufigen Likert-Skala herangezogen. Diese wurden, einmal umkodiert, nach Spearman mit *self 1* und *2*, *fix 1* und *2* sowie den Mittelwerten *selfmw* und *fixmw* korreliert. Bei Vorhandensein einer signifikanten Korrelation wurde der Faktor als Kovariate in die ANOVA aufgenommen.

Zur Erfassung eines Einflusses der Motorik auf die Performanz wurden die *Inter-Beat-Deviation*, der Variationskoeffizient und die Trittggeschwindigkeit nach Pearson mit der absoluten Performanz innerhalb der beiden Lernbedingungen (*self 1* und *2*, *fix 1* und *2* sowie *fixdiff* und *selfdiff*) korreliert. Bei Vorhandensein einer signifikanten Korrelation wurde der Faktor als Kovariate in die ANOVA aufgenommen.

Zudem erfolgte ein ungepaarter T-Test zur Erfassung eines Unterschieds der *IBD* als Synchronisationsmaß zwischen den Gruppen LPIs und HPIs innerhalb der Lernbedingungen *fix* und *selbst-initiiert*.

### 2.7.3. Pitch Index (Tonhöhenwahrnehmungspräferenz)

Anhand des Hörtests ließen sich die Versuchspersonen in *High-Pitch-Index-Zugehörige* (HPI) und *Low-Pitch-Index-Zugehörige* (LPI) einteilen. Die Unterteilung in LPI und HPI erfolgte anhand des Median Splits, welcher bei 0,33 lag. Versuchspersonen mit einem PI von 0,33 wurden noch zu den LPIs gezählt. Um einen Unterschied innerhalb der Bedingungen für diese zwei Gruppen zu ergründen, wurde  $\Delta \text{fixdiff} - \text{selfdiff}$  gerechnet, d.h. die Performanz an *Tag 2 - Tag 1* in der fixen Bedingung subtrahiert der Performanz an *Tag 2 - Tag 1* der selbst-initiierten Bedingung. Die hierbei berechnete Differenz wurde nach Pearson mit dem Pitch Index korreliert, um nach einem Vorteil für die Gruppe der HPIs gegenüber den LPIs zu suchen.

Weiterhin wurde die Differenz innerhalb der jeweiligen Bedingung (fix: *Tag 2 - Tag 1* und selbst-intiiert: *Tag 2 - Tag 1*), benannt als *fixdiff* und *selfdiff*, mit dem Pitch Index korreliert, um nach einem Unterschied innerhalb der Bedingungen zwischen den zwei Pitch-Gruppen zu suchen.

### 3. Ergebnisse

Ein Datensatz wurde als Ausreißer identifiziert, da unter beiden Bedingungen nur eine Vokabel erinnert, welche im zweiten Vokabeltest vergessen wurde, und deshalb entfernt. Somit verblieben 47 Datensätze.

#### 3.1. Vokabeltest Performanz

##### 3.1.1. Deskriptive Statistik

Die Versuchspersonen konnten an Tag 1 der selbst-initiierten Bedingung (*Self*) im Mittel 8,5 Vokabeln (SD: 4,9) und in der fixen Bedingung (*fix*) 9,4 (SD: 5,6) wiedergeben. Die Wiedergabe an Tag 2 fiel in der selbst-initiierten Bedingung auf 7,7 (SD: 4,8) und in der fixen Bedingung auf 8,3 (SD: 6,0) Vokabeln ab. Die im Mittel vergessenen Vokabeln von Tag 1 auf Tag 2 lagen insgesamt in der fixen Bedingung bei 1,1 (SD: 2,9) und in der selbst-initiierten bei 0,8 (SD: 2,1). Insgesamt wurden in der fixen Bedingung mehr Vokabeln als in der selbst-initiierten vergessen sowie bessere Ergebnisse an Tag 1 als an Tag 2 erzielt.

Tabelle 1. Deskriptive Daten der Performanz an Tag 1 und Tag 2

	<b>Self1</b>	<b>Self2</b>	<b>Fix1</b>	<b>Fix2</b>
<b>Mittelwert</b>	8,5	7,7	9,4	8,3
<b>SD</b>	4,9	4,8	5,6	5,6
<b>Minimum</b>	1	1	1	1
<b>Maximum</b>	20	20	23	27

Tabelle 2. Vergessen in den jeweiligen Bedingungen

	<b>Vergessen self</b>	<b>Vergessen fix</b>
<b>Mittelwert</b>	0,8	1,1
<b>SD</b>	2,2	2,9

### 3.1.2. Inferenzstatistik

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung und den Faktoren Setting (selbst-initiiert/fix) sowie Tag der Vokabelabfrage (t1/t2) und dem Zwischensubjektfaktor Pitchgruppe (LPI/HPI) ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Tag ( $F(1,45)= 11,9; p<.001$ ). Die Effektstärke ist hierbei als groß einzustufen, da der Faktor Tag 21% der Varianz erklärt (partielles  $\eta^2= 0.209$ ). Dies bedeutet, dass die Versuchspersonen insgesamt an Tag 1 bessere Vokabeltestergebnisse erzielten als an Tag 2. Es zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen Setting\*Tag\*Pitchgruppe ( $F(1,45)=5,88; p=0.019$ ), d.h. dass die LPIs insgesamt von Tag 1 auf Tag 2 in der fixen Bedingung weniger Vokabeln richtig erinnert haben als die HPIs (siehe Abb. 11 und 12).

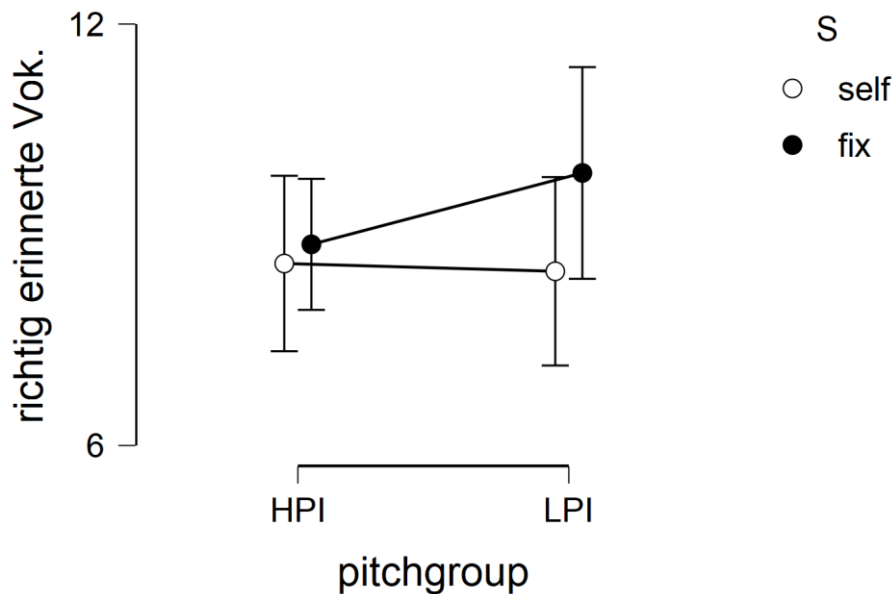


Abbildung 10. Performanz Tag 1

## Ergebnisse

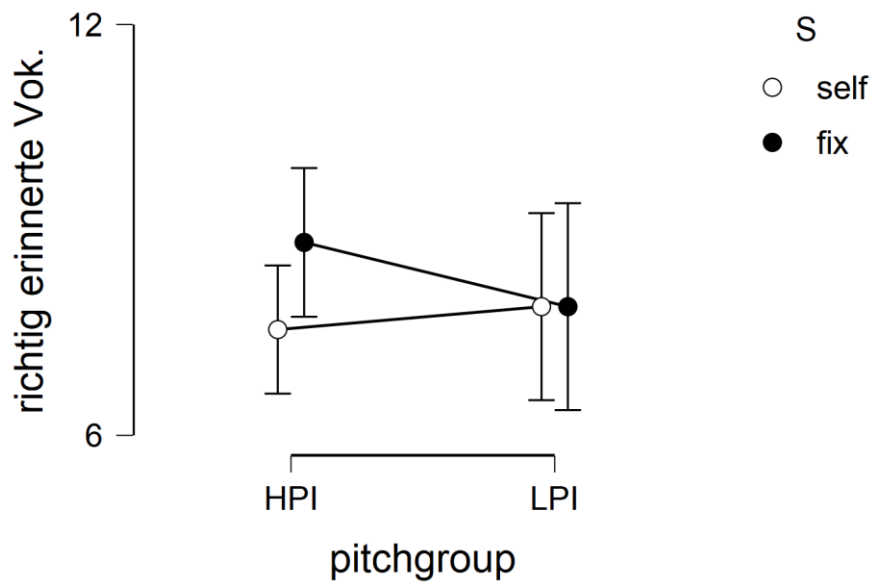


Abbildung 11. Performanz Tag 2

### 3.2. Motorische Performanz

#### 3.2.1. Deskriptive Statistik

Die *Inter-Beat-Deviation* als Synchronisationsmaß lag in der selbst-initiierten Bedingung bei 0 und in der fixen Bedingung im Mittel bei 0,1 (SD: 0,08). In der fixen Bedingung lag die IBD der HPIs bei 0,13 (SD: 0,1) und die IBD der LPIs bei 0,08 (SD: 0,06).

Tabelle 3. *Inter-Beat-Deviation* in der fixen Bedingung

	HPIs	LPIs
Mittelwert	0,13	0,08
SD	0,1	0,06



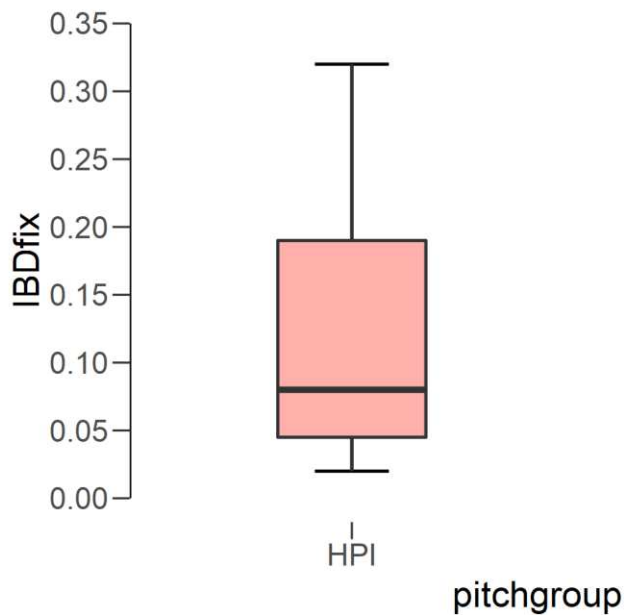


Abbildung 12. *Inter-Beat-Deviation* in der fixen Bedingung

Die Trittschwindigkeit lag in der fixen Bedingung im Mittel bei 1,13 Hz (SD: 0,1) und in der selbst-initiierten bei 1,06 Hz (SD: 0,12). Deskriptiv zeigte sich für die Trittschwindigkeit demnach kein Unterschied.

### 3.2.2. Inferenzstatistik

Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Synchronisationsarbeit der Versuchspersonen, gemessen anhand der *Inter-Beat-Deviation*, und dem Hörtyp ( $t(32,96)=1,718$ ,  $p=0.048$ ). Dies bedeutet, dass sich die LPIs besser synchronisierten (M IBD: 0,08; SD: 0,06) als die HPIs (M IBD: 0,13; SD: 0,1; siehe Abb. 12).

## 3.3. Pitch Index

### 3.3.1. Deskriptive Statistik

Der Pitch- Index lag zwischen -0,44 und 0,89, wobei eine linksschiefe Verteilung besteht. Dies bedeutet, dass die Stichprobe eine Tendenz zu Obertonhörer\*innen hatte.

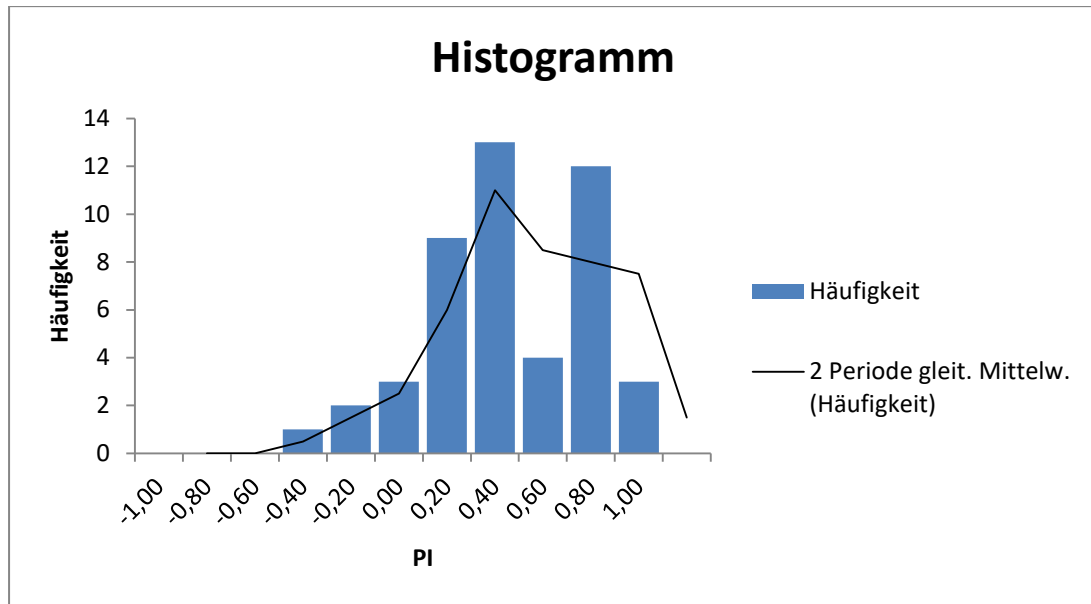


Abbildung 13. Histogramm zur Verteilung des Pitch Index in der Testgruppe

Anhand eines Median Splits fielen alle PIs mit einem Wert unter 0,33 in die Kategorie Low-Pitch-Index (*LPI*) und alle über 0,33 in die Kategorie High-Pitch-Index (*HPI*). Versuchspersonen mit einem PI von 0,33 wurden noch zu den LPIs gezählt. Insgesamt ergab dieses Splitting 22 HPIs und 25 LPIs.

Die HPIs konnten an Tag 1 der selbst-initiierten Bedingung im Mittel 8,6 Vokabeln (SD: 5,7) und in der fixen Bedingung 8,9 (SD: 5,9) wiedergeben. Die Wiedergabe an Tag 2 fiel in der selbst-initiierten Bedingung auf 7,6 (SD: 5,1) und in der fixen Bedingung auf 8,8 (SD: 6,4) Vokabeln. Die im Mittel vergessenen Vokabeln von Tag 1 auf Tag 2 waren in der fixen Bedingung 0,05 (SD: 1,9) und in der selbst-initiierten 1,05 (SD: 2,6), d.h. die HPIs vergaßen in der selbst-initiierten Bedingung mehr Vokabeln als in der fixen Bedingung.

Die LPIs konnten an Tag 1 der selbst-initiierten Bedingung im Mittel 8,5 Vokabeln (SD: 4,1) und in der fixen Bedingung 9,9 (SD: 5,4) wiedergeben. Die Wiedergabe an Tag 2 fiel in der selbst-initiierten Bedingung auf 7,9 (SD: 4,7) und in der fixen Bedingung ebenfalls auf 7,9 (SD: 5,7) Vokabeln. Die im Mittel vergessenen Vokabeln von Tag 1 auf Tag 2 waren insgesamt in der fixen Bedingung 2 (SD: 3,3) und in der selbst-initiierten

## Ergebnisse

0,6 (SD: 1,8), d.h. die LPIs vergaßen in der fixen Bedingung mehr Vokabeln als in der selbst-initiierten.

**Tabelle 4. Vergessen der HPIs und LPIs im Überblick**

<b>Setting</b>	<b>Pitchgroup</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>SD</b>	<b>N</b>
Self	HPI	1,05	2,6	22
	LPI	0,6	1,8	25
Fix	HPI	0,05	1,9	22
	LPI	2,0	3,3	25

Der Pitch Index und *diff* ( $\Delta = \text{fixdiff} - \text{selfdiff}$ ) zeigte eine signifikante Korrelation positiven Zusammenhanges ( $r = .343$ ,  $p = 0.018$ ). *Diff* bezeichnet hierbei das Vergessen von Vokabeln über alle Bedingungen. Dies bedeutet, dass je höher die Tendenz zum Obertonhören, desto mehr zeigt sich bei den Versuchspersonen ein Profitieren der fixen Bedingung im Vergleich zu der selbst-initiierten Bedingung.

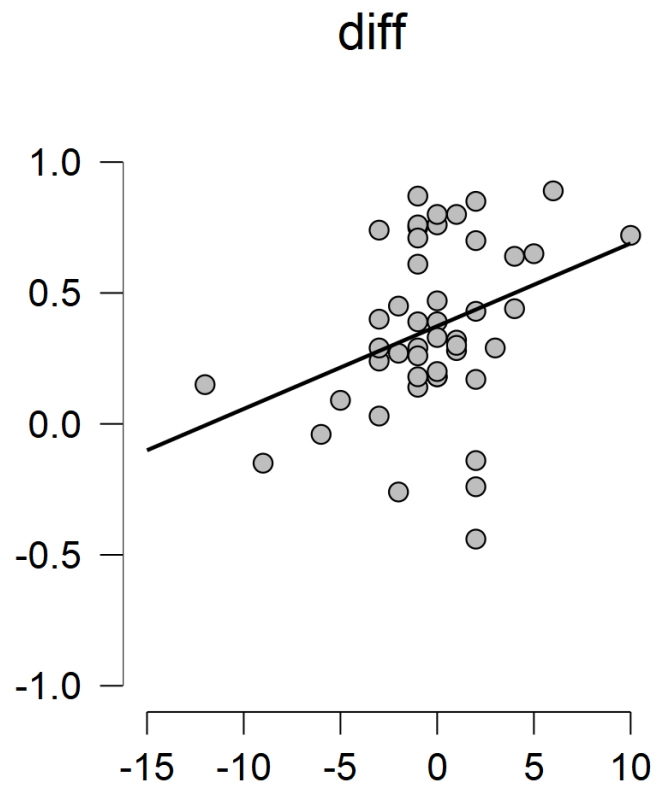


Abbildung 14. Korrelation des Pitch Index und *diff*

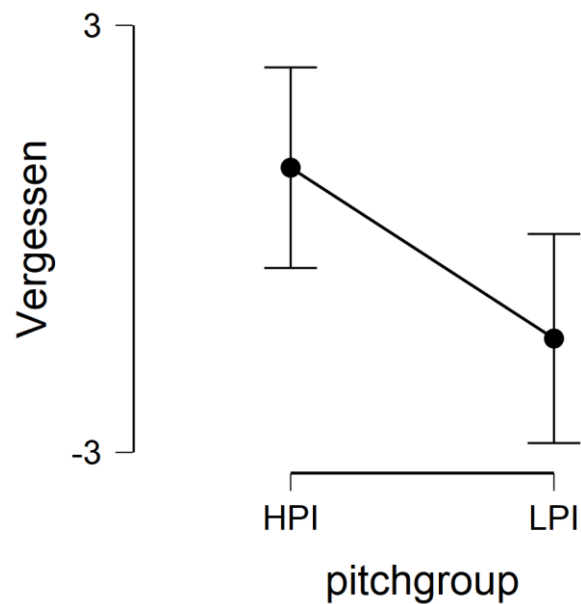


Abbildung 15 Vergessen (in *diff*, d.h. über alle Bedingungen), abgetragen nach Pitchgruppe

Zwischen dem Pitch Index und *fixdiff* fand sich ebenfalls eine positive Korrelation ( $r=.333$ ,  $p=0.022$ ). Das bedeutet, dass Versuchspersonen mit einem höheren Pitch-Index von der fixen Bedingung profitieren.

### 3.3.2. Inferenzstatistik

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zum Vergessen innerhalb der Bedingungen ergab eine Interaktion zwischen Setting\*Pitchgruppe ( $F(1,45)=5,878$ ;  $p=0.019$ ). Die Interaktionseffekte erklären hierbei 11,6% der Varianz (partielles  $\eta^2=0,116$ ).

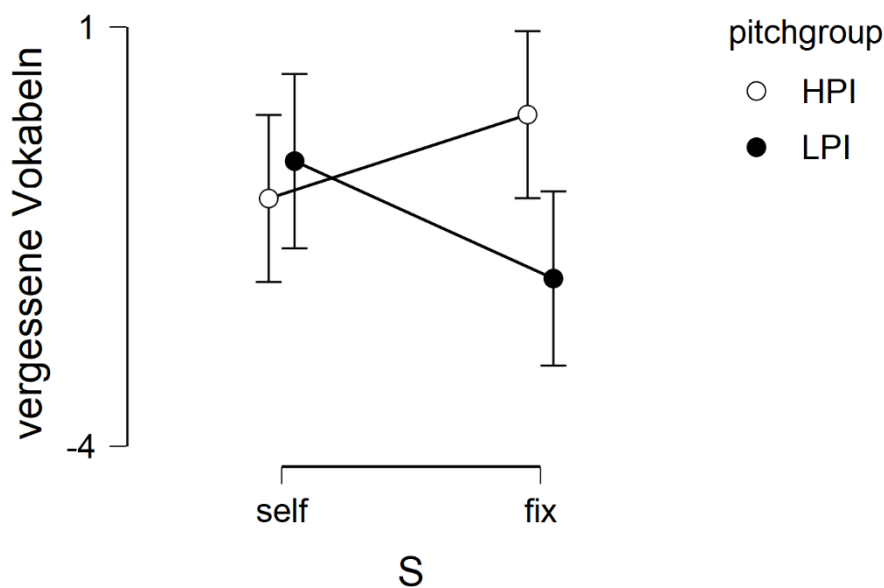


Abbildung 16. Vergessen innerhalb der Lernbedingungen abgetragen nach Pitchgruppen

Das Auflösen der Interaktion nach Setting ergab einen Unterschied für die HPIs versus den LPIs in der fixen Bedingung ( $t(45)=2,422$ ,  $p=0.020$ ) mit einem starken Effekt ( $d=0,708$ ), jedoch nicht für die selbst-initiierte Bedingung ( $p=0.491$ ). Dies bedeutet, dass die Gruppe der LPIs in der fixen Bedingung mehr vergessen hat als die der HPIs (HPIs M: 0,1 (SD: 1,9); LPIs M: 2 (SD: 3,4), siehe Abb. 16), in der selbst-initiierten Bedingung jedoch kein Unterschied zwischen den Gruppen nachweisbar war.

Das Auflösen der Interaktion nach Pitch-Gruppe zeigte einen marginal signifikanten Unterschied für die LPIs zwischen *fixdiff* und *selfdiff* ( $t(24)=-1,967$ ,  $p=0.061$ ). Dies bedeutet, dass die LPIs in der fixen Bedingung mehr vergessen (M *fix*: 2; SD: 3,3 / M *self*:

0,6; SD: 1,8) als in der selbst-initiierten Bedingung. Ein solcher Unterschied bestand für die HPIs nicht.

### 3.4. Einfluss weiterer Variablen

Die Berechnung einer Korrelation von *diff*, *selfdiff* und *fixdiff* mit den Variablen „Jahre in denen aktiv ein Instrument praktiziert wurde“ (*musicyears*), Anzahl gesprochener Fremdsprachen und Performanz im Pseudovokabeltest (*performance*) zeigte keinen Zusammenhang. Auch ein ungepaarter T-Test zum Vergleich der beiden Gruppen HPIs und LPIs hinsichtlich der Variablen „Jahre in denen aktiv ein Instrument praktiziert wurde“ (*musicyears*), Anzahl gesprochener Fremdsprachen und Performanz im Pseudovokabeltest (*performance*) wies keine signifikanten Ergebnisse auf (*musicyears*  $p=0.216$ ; *Fremdsprachen*  $p=0.359$ ; *performance*  $p=0.634$ ). Somit lässt sich ein direkter Einfluss dieser Variablen auf die Performanz der zwei Pitch-Gruppen innerhalb der Bedingungen nicht nachweisen.

#### 4. Diskussion

Die vorliegende Forschungsarbeit untersucht den Zusammenhang zwischen der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz und dem akustischen Erlernen einer Fremdsprache unter zwei motorischen Lernbedingungen. Hierfür durchlaufen Versuchspersonen zwei Experimentalbedingungen, bei denen sie ihre Bewegung unterschiedlich mit akustisch dargebotenen, polnisch-deutschen Vokabelpaaren koppeln beziehungsweise synchronisieren. Die Synchronisation von Gehörtem und Bewegung nennt sich auditorisch-motorische Synchronisation.<sup>4</sup> Basierend auf Studien zur Zuweisung von Aufmerksamkeit wird angenommen, dass eine fixe Vokabelpräsentation den Spracherwerb eher fördert als eine selbst-initiierte. Daher bestehen die Versuchsbedingungen einerseits aus einer fixen Vokabelpräsentation und andererseits aus einer selbst-initiierten Vokabelpräsentation. In der fixen Vokabelpräsentation werden die Vokabelpaare in einem zeitlich vorgegebenen Abstand präsentiert, zu denen die Versuchspersonen ihre Bewegung synchronisieren können. In der selbst-initiierten wird die Präsentation durch die Bewegung der Versuchsperson ausgelöst.

Weiterhin wird die Auswirkung von biologischen Unterschieden in der Wahrnehmung auf den Lernerfolg untersucht. Hier liegt der Fokus dieser Arbeit auf dem Einfluss der individuellen Tonhöhenwahrnehmungspräferenz.

Je nach Tonhöhenwahrnehmungspräferenz werden Versuchspersonen in zwei Hörtypen eingeteilt: Ober- und Grundtonhörer\*innen.<sup>37,45</sup> Bestehende Studien weisen auf eine unterschiedliche rhythmische Wahrnehmung zwischen den Hörtypen hin.<sup>41,50</sup> Obertonhörer\*innen achteten eher auf Klangfarbe und Interpretation von Klängen, während der Fokus von Grundtonhörer\*innen auf der Rhythmuswahrnehmung liege.<sup>41</sup> Deshalb verfügen Obertonhörer\*innen weniger über einen inneren Taktgeber und sollten im Kontext der aktuellen Studie stärker von einem äußeren Taktgeber profitieren, welche hier der fixen Bedingung entspricht.

48 Versuchspersonen durchliefen zwei unterschiedliche Lernbedingungen unter Bewegung, in welchen sie pro Sitzung jeweils 40 polnisch-deutsche Vokabelpaare lernten. Diese wurden unmittelbar nach der Lerneinheit sowie 24 Stunden später mittels eines Online-Vokabeltests abgefragt.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass in der fixen Bedingung mehr Vokabeln vergessen wurden als in der selbst-initiierten und an Tag 1 bessere Ergebnisse erzielt wurden als an Tag 2. Grundtonhörer\*innen erinnerten sich von Tag 1 auf Tag 2 in der fixen Bedingung an weniger Vokabeln als Obertonhörer\*innen ( $p=0.019$ ). Im Folgenden werden Grundtonhörer\*innen als Low-Pitch-Index-Zugehörige (LPIs) bezeichnet und Obertonhörer\*innen als High-Pitch-Index-Zugehörige (HPIs). Dies beruht auf der unter 2.7.3. erläuterten Einteilung der Versuchspersonen anhand ihrer Tonhöhenwahrnehmungspräferenz. Je größer die Tendenz zur Obertonwahrnehmung, desto eher stellte die fixe Bedingung für Versuchspersonen einen Vorteil dar ( $r=.343$ ,  $p=0.018$ ). Während in der selbst-initiierten Bedingung kein Unterschied zwischen den Gruppen bestand, gab es einen statistischen Trend, dass LPIs in der fixen Bedingung mehr als HPIs vergaßen ( $p=0.061$ ). Ein solcher Unterschied zeigte sich in der selbst-initiierten Bedingung nicht. Es besteht zudem ein Zusammenhang zwischen der Synchronisationsarbeit der Versuchspersonen und dem Hörtyp, das heißt, dass sich LPIs (wie erwartet) besser synchronisierten als HPIs ( $p=0.048$ ). Diese Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln in Zusammenhang mit dem aktuellen Forschungsstand diskutiert.

### **4.1. Performanz in Abhängigkeit der Lernbedingung**

Die Prüfung der Daten hinsichtlich der Performanz innerhalb der Lernbedingungen ergab, dass – entgegen unserer Hypothesen – in der fixen Bedingung insgesamt mehr Vokabeln vergessen wurden als in der selbst-initiierten.

Hierbei zeigte sich, dass die LPIs in der fixen Bedingung mehr vergaßen als die HPIs, wobei in der selbst-initiierten Bedingung kein signifikanter Unterschied zwischen den



Gruppen bestand. Auf die unterschiedliche Performanz innerhalb der Pitch-Index-Gruppen wird unter 4.2. näher eingegangen.

#### **4.1.1. Bessere Performanz in der selbst-initiierten im Vergleich zur fixen Bedingung**

Die insgesamt schlechtere Performanz unter der fixen Bedingung widerspricht der Annahme, dass eine auditorisch-motorische Synchronisierung die Merkfähigkeit verbessere. In der rezipierten Literatur sind die Ergebnisse aus EEG-Studien zur Aufmerksamkeitszuweisung in Bezug auf die Stimulationsart uneinheitlich. Schmidt-Kassow et al. haben gezeigt, dass eine auditorisch-motorische Synchronisation die P300-Antwort als neurophysiologischer Index für Aufmerksamkeit fördere und so zu einer effizienteren Reizverarbeitung führe.<sup>5</sup> Andere Autor\*innen sprechen jedoch der selbst-initiierten Präsentationsbedingung einen Vorteil zu.<sup>33</sup>

Knolle et al. zeigen in ihrer Studie nämlich, dass die selbst-initiierte Bedingung im Vergleich zu einer körperlich passiven Bedingung eine stärkere P300-Antwort generiert (siehe S.14 für eine detaillierte Beschreibung der Studie).<sup>33</sup> Die Zuweisung von Aufmerksamkeit ist eine Voraussetzung für den Lernprozess und für die Enkodierung von Informationen zum Transfer in das Langzeitgedächtnis.<sup>19</sup> Ist Aufmerksamkeit, wie nach Knolle et al. vor allem für selbst-initiierte Reize besonders ausgeprägt,<sup>33</sup> spricht dies dafür, dass die selbst-initiierte Bedingung das Lernen erleichtert.

Wie erklären EEG-Daten nun den möglichen Vorteil der selbst-initiierten Bedingung? Anhand ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) ist die Antwort auf Reize eingehend untersucht worden. Chen et al. finden für selbst-initiierte, zeitlich vorhersehbare akustische Reize unterdrückte EKPs und für selbst-initiierte zeitlich unvorhersehbare akustische Reize verstärkte EKPs.<sup>51</sup> Für extern präsentierte Reize zeigte sich insgesamt eine abgeschwächte EKP-Antwort im Vergleich zu selbst-initiierten Reizen. Versuchspersonen sprechen in ihrer Studie einen Vokal laut aus, welcher aufgenommen wird. Anschließend lösen sie mit einem Mausklick eine Computer-induzierte Tonhöhenänderung der aufgenommenen Vokale aus, welche ihnen vorgespielt werden.

Dieses akustische Feedback ereignet sich entweder zeitlich vorhersehbar, also direkt im Anschluss an den Mausklick, oder zeitlich unvorhersehbar, nämlich mit einer Latenz von 500 zu 1000 ms. Zeitlich unvorhersehbar bedeutet hierbei, dass der akustische Reiz zwar durch den Mausklick selbst ausgelöst, durch die zeitliche Latenz jedoch nicht exakt vorausgesehen werden kann. Extern Reize werden in einem Abstand von 500-1000 ms nach Vokalausprache ausgelöst, ohne eine begleitende motorische Aktivität. Über die EKP-Antwort wird nachgewiesen, dass zeitlich vorhersehbare selbst-initiierte akustische Reize genauer vorhersehbar sind als extern rhythmisch präsentierte ohne motorische Aktivität.<sup>52</sup> Dies entspricht den Ergebnissen von Knolle et al.<sup>33</sup> Durch die Vorhersehbarkeit reduziert sich der Verarbeitungsaufwand und die Aufmerksamkeitszuteilung darauf wird erleichtert.<sup>51,53</sup> Eine stärkere Zuteilung von Aufmerksamkeit auf selbst-initiierte, abweichende Reize bedeutet, dass diese effizienter verarbeitet werden können als extern präsentierte.<sup>51,53</sup>

Diese Befunde entsprechen der Theorie des *Internal Forward Model*, wonach basierend auf einer getroffenen Vorhersage dem Gehirn ein Vorschlag des erwarteten Reizes gesendet wird, sodass dieses eine Einschätzung der bald eintretenden sensorischen Information treffen kann (siehe Abb. 17).<sup>27,54,55</sup> Diese Vorhersagen über sensorische und speziell akustische Reize sollen die Diskriminierung zwischen selbst produzierten und externen Klängen ermöglichen.<sup>52,56</sup>

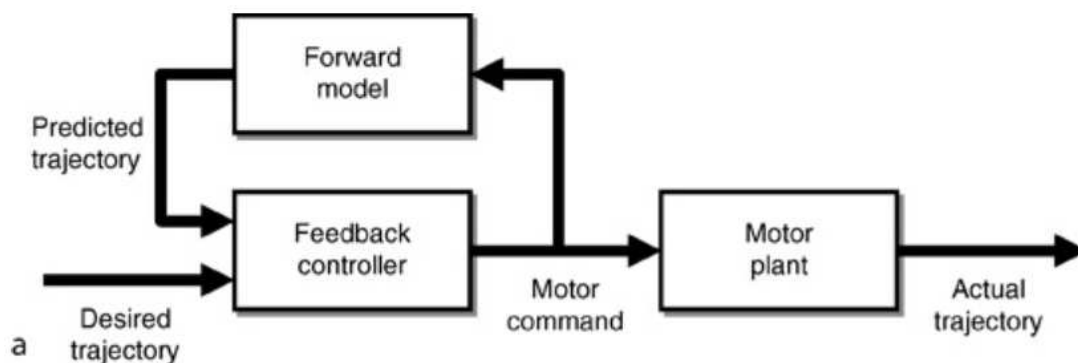


Abbildung 17. Darstellung des *Internal-Forward-Model*. Quelle: Cisek et al. 2009, p. 2010

Die Theorie des *Internal Forward Model* lässt sich außerdem erweitern zu einem „motor-to-auditory forward model“, da eine Beteiligung des Kleinhirns an der zeitlichen Vorhersage von Reizen sowohl auf motorischer als auch auf auditorischer Ebene nachgewiesen wurde.<sup>27,57,58</sup> Solche Vorhersagen werden nicht nur für einfache Töne,<sup>33</sup> sondern ebenso für komplexere sprachliche Laute generiert.<sup>59</sup> Auch zeigt sich für selbst-initiierte Vokale eine verstärkte P300-Antwort im Vergleich zu extern generierten Vokalen.<sup>59</sup> Dies wurde in einem Design untersucht, in welchem Versuchspersonen (1) einen Reiz selbst initiierten und (2) diesen als Aufnahme passiv und extern dargeboten bekamen.<sup>59</sup> Die akustischen Reize unterlagen also keiner Rhythmik wie in der aktuellen Studie in der fixen Bedingung. Sprachproduktion entstehe so nach dem *Internal Forward Model*,<sup>58,60</sup> welches spezifische Vorhersagen für selbst produzierte Reize generiert, von einfachen Tönen hin bis zu komplexeren Reizen, wie zum Beispiel sprachliche Laute.<sup>59,61</sup> Da die Versuchspersonen in der vorliegenden Forschungsarbeit die angehörten Vokabelpaare laut nachsprechen, erfolgen auch hier Vorhersagen des Gesprochenen.<sup>62</sup> Die zeitliche Vorhersehbarkeit durch die selbst-initiierte Vokabelpräsentation erleichtert zudem die Verarbeitung der Vokabelpaare.

In der aktuellen Studie wird die Kombination zweier bisher voneinander getrennt untersuchter Aspekte in einem Zusammenhang diskutiert: Der Vergleich einer selbst-initiierten Bedingung mit einer auditorisch-motorischen Synchronisationsbedingung. Frühere Studien haben dagegen nur selbst-initiierte Reize mit einer nicht-motorischen, rein auditiven Bedingung und externen rhythmischen Reizen verglichen.

Offenkundig profitieren die Versuchspersonen in der aktuellen Studie von der selbst-initiierten Bedingung, da sie die Vokabelpräsentation durch das Treten in die Pedale selbst auslösen und ihr Auftreten somit maximal vorhersagen können.<sup>33,51,53</sup> Dies ermöglicht eine hohe Erwartung der eintreffenden Vokabeln und eine effizientere Aufmerksamkeitszuteilung,<sup>53</sup> was wiederum in einem besseren Enkodierungsvorgang resultiert.<sup>17</sup> Die Planung des In-die-Pedale-Tretens generiert eine auditorisch-motorische Vorhersage für das auditorische System.<sup>57,63</sup> Der auditorische Kortex ist somit auf die Vokabelpräsentation vorbereitet und kann diese selbst-initiierten

Vokabeln effizienter verarbeiten.<sup>57,63,64</sup> Zudem ist nicht nur die zeitliche Vorhersehbarkeit selbst-initiiertes Reize allein ein Vorteil, sondern auch die damit einhergehende Vorbereitung der durchzuführenden Bewegung, nämlich Fahrradfahren.<sup>65</sup> Vestibulärer Input, wie das Fahrradfahren, führt auch zu einer Rekrutierung des Hippocampus, welcher unter anderem für das Abrufen neuer Vokabeln zuständig ist.<sup>23,24,66-68</sup> Das heißt, die hier stattfindende Bewegung aktiviert Ressourcen im Hippocampus, und über die vestibulären und akustischen Interaktionen wird die Gedächtnisleistung beeinflusst.<sup>24</sup> Da alle diese Vorteile in der selbst-initiierten Bedingung zusammentreffen, führte diese offensichtlich zu einem Lernvorteil. Insgesamt ist jedoch zu beachten, dass in den erwähnten vergangenen Studien die motorische Aktivität aus dem Drücken eines Knopfes durch einen Finger bestand. Die aktuelle Forschungsarbeit nutzt als motorische Aktivität hingegen das Fahrradfahren, welches in seiner Durchführung und Anstrengung komplexer und intensiver ist.

Warum spielt die Form der Vokabelpräsentation, nämlich durch Bewegung induziert, in der selbst-initiierten Bedingung so eine große Rolle? In Studien mit rein akustischer Reizpräsentation ohne Bewegung kann zwischen rhythmischer Reizpräsentation und zeitlicher Vorhersehbarkeit (die regelmäßig oder unregelmäßig sein kann) eines Reizes unterschieden werden.<sup>69</sup> Vorhersehbarkeit im Kontrast zu rhythmischer Präsentation bedeutet, dass ein Reiz zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft erwartet wird.<sup>69</sup> Zeitlich vorhersehbare Reize sind nicht als äquivalent mit rhythmischen Reizen zu verstehen. Cope et al. haben z.B. in einer Studie zeitliche Vorhersehbarkeit anhand des Abspielens von 8 Tönen überprüft, deren Abstand zueinander fortschreitend länger wurde.<sup>70</sup> Die zeitliche Vorhersehbarkeit bestand hierbei in der zeitlichen Progression der Tonabstände zueinander, welche jedoch nicht rhythmisch war.<sup>70</sup> Es wurde untersucht, ob Versuchspersonen eher eine Verlängerung oder eine Verkürzung der progredienten Intervalle detektieren konnten. Während eine rhythmische Reizpräsentation die Reaktionsbereitschaft auf Reize fördert,<sup>71</sup> sei zeitliche Vorhersehbarkeit für eine genauere Verarbeitung auditorischer Reize zuständig.<sup>69,72</sup> Die selbst-initiierte Bedingung in der vorliegenden Studie folgt durch das Treten in die Pedale einer individuellen – leicht variablen – Bewegungsausführung und ist somit nicht strikt rhythmisch,

ermöglicht aber dennoch eine sehr genaue *zeitliche Vorhersehbarkeit* der eintretenden Reize. Wie bereits mehrfach besprochen, wirkt eine rhythmische Reizpräsentation Aufmerksamkeitsfördernd,<sup>71,73,74</sup> weshalb davon auszugehen ist, dass auch eine in ihrer Darbietung wiederkehrende Reizpräsentation, wie in der selbst-initiierten Bedingung, vorteilhaft sein kann. Ausschlaggebend ist das sogenannte „Entrainment“, nämlich das Mitgehen von Schwingungen der Gehirnaktivität mit einer periodischen Reizpräsentation.<sup>3,71</sup>

Überträgt man diese Ergebnisse auf die vorliegende Studie, erhöht in der selbst-initiierten Bedingung die wiederkehrende, wenn auch nicht strikt rhythmische Vokabelpräsentation die Reaktionsbereitschaft auf die eintreffenden Vokabeln,<sup>71</sup> während die zeitliche Vorhersehbarkeit die Verarbeitung der Vokabeln optimiert.<sup>69</sup> Zwar konnte die selbst-initiierte Bedingung keine perfekt konstante Abfolge der Vokabelpräsentation gewährleisten, da die Geschwindigkeit der Versuchspersonen um Milli- beziehungsweise Sekundengrößen variieren konnte. Diese minimalen Abweichungen in der Vorhersage generieren jedoch notwendige Aufmerksamkeit.<sup>75</sup> Insgesamt war trotzdem eine ausreichende zeitliche Vorhersehbarkeit gewährleistet, die den Verarbeitungsvorteil in der selbst-initiierten Bedingung erklären könnte.<sup>51,69,71</sup> Zu beachten ist, dass die Versuchspersonen während der Durchführung keine Kenntnis darüber hatten, unter welcher der zwei Bedingungen sie gerade lernten. Es handelt sich demnach um einen Vorteil ohne aktives Bewusstsein über die durchgeführte Bedingung.

Der Zusammenhang von Aufmerksamkeit und Vorhersehbarkeit wurde bereits untersucht: Es bestehe eine Art Synergismus zwischen der Vorhersehbarkeit von auditorischen Reizen und einer erhöhten Zuteilung von Aufmerksamkeit.<sup>76</sup> Sowohl Aufmerksamkeit als auch zeitliche Vorhersehbarkeit beeinflussen sich in der sensorischen Reizverarbeitung gegenseitig.<sup>76</sup> Dies bedeutet, dass die selbst-initiierte Bedingung der vorliegenden Forschungsarbeit folgende Vorteile aufweist: Die Aufmerksamkeit ist größer, da genauere Vorhersagen getroffen werden können und der entstehende Vorhersagefehler sollte bei Abweichungen für selbst-initiierte Reize geringer sein, was deren Verarbeitung erleichtert.<sup>52,69,71</sup>

Die oben besprochenen Erkenntnisse stehen im Widerspruch zu den von Conradi et al. veröffentlichten und in der Einleitung besprochenen Ergebnisse einer EEG-Studie.<sup>26</sup> Laut den Autor\*innen zeigt sich die meiste Aufmerksamkeit während der motorischen Synchronisation mit einem akustischen Reiz (rhythmische fixe Bedingung).<sup>26</sup> Jedoch wurde der Vorteil dieser auditorisch-motorischen Synchronisation nicht innerhalb einer Lernbedingung (mit Vokabeln) geprüft, wie in der vorliegenden Forschungsarbeit.

In Anbetracht der bisher besprochenen Studien sowie der Ergebnisse der aktuellen Arbeit zeigt sich folgender Unterschied auf: Es ist nicht nur die Aufmerksamkeit, welche auf einen Reiz gelenkt wird, sondern auch die notwendige Arbeit, einen Reiz zu verarbeiten, welche die Performanz im Vokabeltest beeinflussen. Selbst wenn die fixe Bedingung durch die aktive auditorisch-motorische Synchronisation mehr Aufmerksamkeit auf die präsentierten Reize lenken sollte, ist die Vorhersehbarkeit der selbst-initiierten Vokabeln gemäß des *Internal Forward Model* möglicherweise ein größerer Vorteil für die Performanz im Vokabeltest als die erhöhte Aufmerksamkeitsspanne in der fixen Bedingung.

### **4.1.2. Langzeitgedächtnis versus Wahrnehmung**

Zu bedenken ist, dass die im Forschungsstand besprochenen Studien den Effekt der auditorisch-motorischen Synchronisation zu Tönen<sup>26</sup> oder Silben<sup>5</sup> untersuchen, während diese Forschungsarbeit den Einsatz von Vokabeln in zwei unterschiedlichen Sprachen anwendet. Es könnte durchaus sein, dass sich die Synchronisation zu ganzen Vokabeleinheiten schwieriger erzeugen lässt. Auf die motorische Synchronisation wird unter 4.3. näher eingegangen. Weiterhin ist nicht auszuschließen, dass der Mechanismus ein anderer als der hier vermutete ist.

Diese Forschungsarbeit hebt sich von bestehender Forschung insofern ab, als sie den Transfer der enkodierten Information in das Langzeitgedächtnis untersucht. Die bisher besprochenen Studien untersuchen nur den unmittelbaren Effekt der Bedingung auf die Aufmerksamkeitszuteilung (P300) beziehungsweise auf die Wahrnehmung von abweichenden Reizen. Es wurde bisher keine Aussage über einen Vorteil der einen

Bedingung gegenüber der anderen für den Transfer von enkodierter Information in das Langzeitgedächtnis getroffen. Schmidt-Kassow et al. haben bereits nachgewiesen, dass eine fixe Vokabelpräsentation unter motorischer Aktivität im Unterschied zu einer ruhenden Bedingung das Erlernen von Vokabeln verbessert.<sup>7,8,19</sup> Ein Vergleich mit einer selbst-initiierten Bedingung bezüglich des Transfers enkodierter Information in das Langzeitgedächtnis fehlte bisher. Die vorliegende Studie diskutiert exakt diese Zusammenhänge.

In der aktuellen Forschungsarbeit kann demnach von folgendem Vorteil selbst-initiierte Reize ausgegangen werden: Es besteht mehr Aufmerksamkeit für selbst-initiierte Reize.<sup>54,56,59,75,76</sup> Durch das In-die-Pedale-Treten ist die Vokabelpräsentation vorhersehbar und gemäß dem *Internal Forward Model* einfacher und effizienter zu verarbeiten.<sup>33,51,56</sup> Auch das Nachsprechen der Vokabelpaare ist ein selbst-produzierter Reiz und vereinfacht deren Verarbeitung.<sup>60,62</sup> Die wiederkehrende Reizpräsentation und die motorische Planung generieren demnach eine präzisere Vorhersehbarkeit, wann der Reiz eintrifft, wodurch dieser maximal effizient verarbeitet werden kann.<sup>20,51,64,69,77</sup> Das Zusammenspiel dieser Eigenschaften für selbst-initiierte Reize während des Fremdspracherwerbs erklärt den Vorteil der selbst-initiierten Bedingung für den Transfer in das Langzeitgedächtnis.

### **4.2. Performanz in Abhängigkeit der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz**

Die zweite Hypothese besagt, dass der Pitch Index der jeweiligen Versuchspersonen mit der Performanz innerhalb der Lernbedingung zusammenhängt. Es war eine Interaktion zwischen Setting und Pitchgruppe nachweisbar, sodass sich der erwartete Zusammenhang bestätigte. Wurde die Interaktion aufgelöst, vergaßen die LPIs in der fixen Bedingung jedoch mehr Vokabeln. Das heißt, die LPIs wiesen im Vergleich zu den HPIs eine schlechtere Performanz in der fixen Bedingung auf, nicht aber die HPIs. In der selbst-initiierten Bedingung unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant. Annahme der zweiten Hypothese dieser Forschungsarbeit war zudem, dass HPIs eher von der fixen Bedingung profitieren, da sie im Vergleich zu LPIs weniger auf eine innere Rhythmik zurückgreifen können.<sup>41,50</sup> Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, dass

Personen mit einem höheren Pitch Index keinen signifikanten Vorteil aus einer der beiden Bedingungen ziehen. Für Personen mit niedrigerem Pitch Index dagegen zeichnete sich ein Abfall der Performanz innerhalb der fixen Bedingung ab.

### 4.2.1. Kortikale Verarbeitung

Der Unterschied in der Performanz könnte der Tatsache geschuldet sein, dass HPIs und LPIs anatomische Unterschiede in ihrem auditorischen Kortex aufweisen, die sich auf ihre Rhythmusverarbeitung als Teil der auditorisch-motorischen Synchronisation auswirken.<sup>4,42,45,78</sup> Weiterhin ist auch die Sprachverarbeitung asymmetrisch zwischen den Hemisphären verteilt.<sup>79</sup> Im Folgenden werden diese Ergebnisse in Zusammenhang mit bereits bestehender Forschung diskutiert und ein Erklärungsansatz gesucht, wodurch dieser Unterschied in der Performanz getrieben sein könnte.

Zunächst eine kurze Darstellung zur Sprachverarbeitung. Studien haben nachgewiesen, dass bei der Wiedererkennung kurzer sprachlicher Laute wie Phoneme beziehungsweise Silben vor allem die linke Hemisphäre aktiv ist, während bei längeren Sprachsequenzen wie Pseudowörtern insbesondere die rechte Hemisphäre Aktivität aufzeigt.<sup>80</sup> Auch für die zeitliche Wahrnehmung akustischer Reize ist der auditorischen Kortex demnach asymmetrisch sensitiv.<sup>80</sup> Dieser Aspekt ist für die Forschungsarbeit deshalb relevant, weil bereits eine Aufteilung der spektralen und zeitlichen Verarbeitung von Tönen im Hörkortex auf zwei Hemisphären beschrieben wurde.<sup>38,39,45</sup> Eine solche Aufteilung scheint auch auf die Verarbeitung von Sprachsequenzen zuzutreffen.<sup>80</sup> Reize werden im auditorischen Kortex anhand ihrer semantischen Eigenschaften im rechten und akustischen Eigenschaften im linken STG verarbeitet, unabhängig davon, ob es sich um Sprache oder Musik handelt.<sup>44</sup> Zatorre & Belin sowie Schneider et al. weisen in ihren Studien unterschiedlich ausgeprägte Aktivität des Heschl Gyrus für Obertonbeziehungsweise Grundtonhörer\*innen nach:<sup>39,45</sup> Zeitliche Veränderungen rekrutieren vor allem den linken Heschl Gyrus, dessen Aktivität insbesondere bei Grundtonhörer\*innen nachweisbar ist, spektrale Veränderungen rekrutieren vornehmlich den rechten Heschl Gyrus, welcher sich bei Obertonhörer\*innen aktiver zeigt (Abb. 18).<sup>39,45</sup> Wenn sich für längere Sprachsequenzen, wie Pseudowörter, der



rechte auditorische Kortex aktiver als der linke zeigt,<sup>80</sup> könnte sich die Verarbeitung sprachlicher Sequenzen ebenfalls individuell unterscheiden, wie es die Verarbeitung von Tönen tut.<sup>39,45,78</sup>

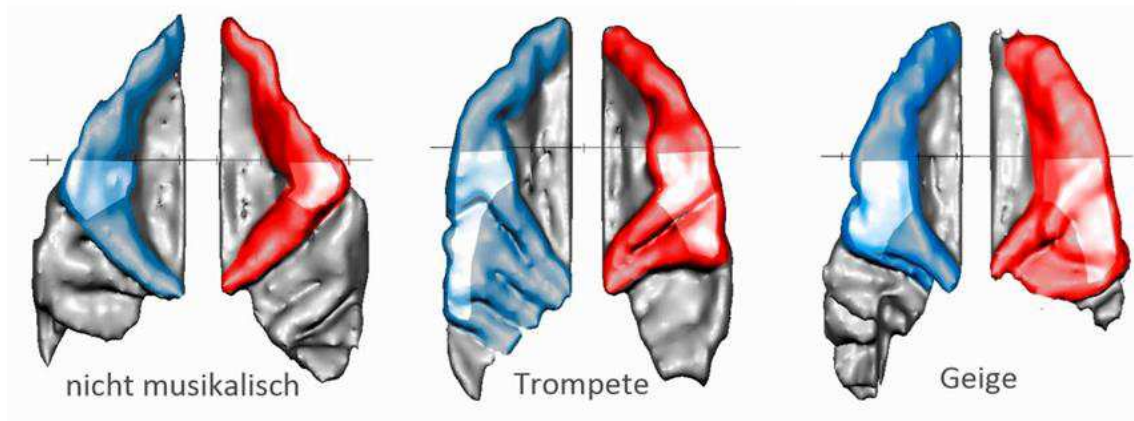


Abbildung 18. Individuelle Ausprägung der HG-Morphologie, wobei blau dem linken und rot dem rechten HG entspricht. Während bei GT-hörer\*innen (hier Trompete) mehr blaue und bei OT-hörer\*innen (hier Geige) mehr rote Bereiche sichtbar werden, zeigen sich bei Nichtmusiker\*innen insgesamt schwächer ausgeprägte Areale des auditorischen Kortex.

Quelle: Schneider P. Forschungsgruppe Musik und Gehirn: Klangverarbeitende Areale des Gehirns. <https://musicandbrain.de/startseite.html> <sup>47</sup>

LPIs, also Grundtonhörer\*innen, nehmen durch ihren ausgeprägteren linken Heschl Gyrus Rhythmus stärker wahr – dies kann im aktuellen Fall sogar zum Nachteil in der fixen Bedingung im Vergleich zu den HPIs geführt haben, weil ihr Fokus möglicherweise auf der reinen Rhythmusverarbeitung gelegen hat. Die durch den Rhythmus erzeugte, vermehrte Aufmerksamkeitszuteilung<sup>5</sup> brauchen sie so gegebenenfalls für die Synchronisationsarbeit auf (siehe hierzu Unterkapitel 4.3.).

Die Daten der vorliegenden Forschungsarbeit suggerieren, dass die Tendenz, Grundtöne wahrzunehmen, zu einer verbesserten auditorisch-motorischen Synchronisation führt (siehe Kapitel 4.3.). Dieser Befund passt zu der Evidenz, dass Rhythmuswahrnehmung im auditorischen Kortex insbesondere über Grundtöne realisiert wird.<sup>81</sup> Weiterhin scheint die Verarbeitung von Sprache für ihre zeitlichen und spektralen Anteile ebenfalls innerhalb des auditorischen Kortexes auf die zwei Hemisphären aufgeteilt zu sein,<sup>80</sup> wobei eine Zuordnung zu unterschiedlichen Hörtypen innerhalb der Sprachwahrnehmung hier noch fehlt. Inwiefern die

Tonhöhenwahrnehmungspräferenz die Verarbeitung von Sprachsequenzen beeinflusst, da auch diese rhythmische und klangbezogene Komponenten besitzen, müsste jedoch gesondert untersucht werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, dass Rhythmus und dessen auditorische Wahrnehmung einen Einfluss auf die Vokabeltest- und die motorische Performanz, vor allem der LPIs, haben. Zu den HPIs kann anhand der vorliegenden Daten keine abschließende Aussage getroffen werden.

Im folgenden Kapitel wird diskutiert, ob sich die LPIs aufgrund ihrer ausgeprägten Rhythmuswahrnehmung hauptsächlich auf die Synchronisationsarbeit konzentrieren und der Fokus dadurch von der Sprachenkodierung abrückt.

### **4.3. Einfluss der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz auf die motorische Synchronisation**

Die Ergebnisse zeigen, dass die motorische Performanz, also die Synchronisationsfähigkeit in der fixen Bedingung von der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz abhängig ist. In der selbst-initiierten Bedingung ist die Synchronisation aufgrund der selbst-initiierten Bewegung zur akustischen Vokabelpräsentation perfekt und erfordert keine aktive Anpassung.

Dritte und letzte Hypothese dieser Forschungsarbeit ist, dass sich Versuchspersonen mit einem niedrigen Pitch Index besser synchronisieren als Versuchspersonen mit einem hohen Pitch Index. Die Analyse der motorischen Daten bestätigt diese Hypothese und zeigt einen Unterschied in der Synchronisationsleistung zwischen den LPIs und den HPIs in der fixen Bedingung zugunsten der LPIs. Jedoch korrelierte die Synchronisationsleistung nicht mit der Vokabeltest-Performanz. Auch in der Trittgeschwindigkeit unterschieden sich die Gruppen nicht.

Zunächst eine anatomische Perspektive auf die unterschiedlichen Synchronisationsfähigkeiten der Versuchspersonen. Zatorre & Belin haben bereits die Theorie aufgestellt, dass die stärkere Myelinisierung (das heißt die Beschichtung der

Nervenzellen) des linken Gyrus temporalis superior (STG) bei Grundtonhörer\*innen<sup>34</sup> für eine schnellere Reizweiterleitung sorgt und deshalb akustische Inputs schneller verarbeitet werden.<sup>39</sup> Schneider schreibt zusammenfassend bezüglich „Gyrierung, Form und Größe der Heschlschen Querwindungen“ von einem „direkte[n] Zusammenhang zwischen neuroanatomischen, neurofunktionellen und perzeptiven Merkmalen“, welcher schließlich in der individuellen Tonhöhenwahrnehmungspräferenz sowie der Spielweise von Instrumenten kulminiert.<sup>82</sup> Diese anatomischen Eigenschaften erklären die ausgeprägte Rhythmuswahrnehmung der LPIs, die sich in einer besseren Synchronisationsleistung ausdrückt. Wir konnten somit nachweisen, dass die Tonhöhenwahrnehmungspräferenz, basierend auf der unterschiedlichen Rhythmuswahrnehmung, einen Einfluss auf die motorische Performanz hat.

Dies ist auf den STG zurückzuführen, dessen Eigenschaft die zeitliche und spektrale Reizverarbeitung innerhalb der Hemisphären ist und über welchen die Synchronisationsleistung der LPIs abläuft.<sup>39,45</sup> In der Literatur werden ihm weitere Aufgaben zugeschrieben wie unter anderem, dass akustische und phonetische Eigenschaften der Sprache im STG verarbeitet werden<sup>83</sup> und dieser eine Rolle für das verbale Arbeitsgedächtnis spielt.<sup>84</sup> Gleichzeitig ist er auch maßgeblich an der Rhythmuswahrnehmung beteiligt.<sup>85</sup> Dies ist deshalb relevant, weil die Tonhöhenwahrnehmungspräferenz der LPIs sich in ihrer Rhythmuswahrnehmung manifestiert und die motorische sowie die Vokabeltest-Performanz in dieser Studie gegensätzlich beeinflusst hat.

### 4.3.1. Synchronisation in der Sprachverarbeitung

Auch in der akustischen Sprachverarbeitung und folglich dem Spracherwerb gibt es unterschiedliche motorische Synchronisationstendenzen innerhalb von Personengruppen, welche auf das STG zurückzuführen sind:<sup>86</sup> Bei der auditorisch-motorischen Synchronisation im Rahmen der Sprachverarbeitung teilen Assaneo et al. Versuchspersonen in *High* und *Low Synchroniser* während der Sprachproduktion auf.<sup>86</sup> Diese Verteilung zeigt sich in ihrer Studie bimodal und erinnert an die beschriebene bimodale Aufteilung der Hörtypen von Schneider et al..<sup>34,45,85-88</sup> Die *High Synchroniser*

passen die eigene Sprachproduktion unbewusst und ohne Aufforderung an einen extern vorgegebenen Rhythmus an,<sup>86</sup> genau wie die LPIs ihre Bewegung in der fixen Bedingung dem Präsentationsrhythmus der Vokabelpaare anpassen. Im Unterschied zu der vorliegenden Forschungsarbeit ist die einzige motorische Aufgabe der Versuchspersonen jedoch die Sprachproduktion über die Aktivierung der entsprechenden Muskeln. Auffällig ist, dass *High Synchroniser* im Mittel mehr musikalisches Training erhalten hatten als *Low Synchroniser*. Mittels MEG-Messungen weisen Assaneo et al. zudem in der Gruppe der *High-Synchroniser* mehr weiße Substanz nahe des linken auditorischen Kortex nach als bei den *Low-Synchroniser*.<sup>86</sup> Weiterhin zeigt sich eine stärkere Synchronisation der Gehirnaktivität zu den auditorischen Reizen innerhalb linker frontaler Areale.<sup>86</sup> Dies entspricht der oben besprochenen Theorie einer Aufteilung des auditorischen Kortex nach spektraler und zeitlicher Reizverarbeitung und untermauert, dass LPIs sich deshalb besser synchronisieren, weil ihr linker STG ausgeprägter ist (siehe auch Abb. 18).<sup>39,45</sup>

Betrachtet man jedoch die signifikant bessere motorische Synchronisation der LPIs in Relation zu ihrer kognitiven Performanz, fällt auf, dass in der Studie von Assaneo et al. *High Synchroniser* bessere Lernergebnisse als *Low Synchroniser* vorweisen<sup>86</sup> – genau entgegengesetzt zur vorliegenden Forschungsarbeit. Die Lernaufgabe bestand aus der Erkennung und Auflistung von Pseudowörtern. Hypothese der Autor\*innen ist, dass sich die Fähigkeit der auditorisch-motorischen Synchronisation strukturell anhand anatomischer Unterschiede darstellen lässt und in einen mehr oder minder effektiven Spracherwerb resultiert.<sup>86</sup> Übertragen auf die vorliegende Forschungsarbeit bedeutet dies, dass die Tonhöhenwahrnehmungspräferenz nicht nur einen Einfluss auf die motorische Performanz hat, sondern auch auf Sprachproduktion und -Erwerb. Unsere Ergebnisse suggerieren jedoch einen umgekehrten Zusammenhang als die Erkenntnisse von Assaneo et al. nahelegen.<sup>86</sup>

Die Rhythmuswahrnehmung läuft insgesamt maßgeblich über den linken auditorischen Kortex, spezieller über den linken STG ab.<sup>39,85</sup> Laut Grahn & Rowe wird der STG durch vestibuläre Reize in seiner phonetischen und rhythmischen Verarbeitung potenziert.<sup>85</sup>

Vestibuläre Reize wiederum führen zu einer Aktivierung des Gleichgewichtssystems.<sup>25</sup> Das Fahrradfahren der Versuchspersonen entspricht hier einem vestibulären Reiz,<sup>89</sup> welcher den STG rekrutieren und in seiner Sprachverarbeitung fördern sollte.<sup>5,24</sup> Die vorliegende Arbeit suggeriert jedoch, dass für die Enkodierung sprachlicher Information die Tonhöhenwahrnehmungspräferenz in Zusammenhang mit der rhythmischen Präsentation eine Rolle spielt – Nämlich ist die ausgeprägte spektrale Wahrnehmung, welche vor allem den HPIs eigen ist und den LPIs fehlt, möglicherweise ursächlich für ihre schlechtere kognitive Performanz, da es sich hier um rein akustisches Lernen handelt. Es kommt zwar zu einer größeren Aufmerksamkeitszuteilung für akustische Reize bei rhythmischer, vestibulärer Stimulation,<sup>90</sup> diese wird jedoch bei den LPIs für die Aufgabe der motorischen Synchronisation genutzt. Die ausgeprägte Rhythmuswahrnehmung der LPIs, bedingt durch ihre Anatomie,<sup>45</sup> ermöglicht aufgrund der rhythmischen Reizpräsentation in der fixen Bedingung eine gute motorische Performanz. Über diese zeitlich regelmäßige Reizpräsentation müssten nach Jones et al. schnellere Reaktionsantworten erzielt werden als für zufällig präsentierte<sup>91</sup>, die jedoch in der aktuellen Studie möglicherweise nur in der motorischen Ausführung der LPIs wiederzufinden wären.

Die oben formulierte Hypothese eines Nachteils für die LPIs in der fixen Bedingung aufgrund ihrer anatomischen Ausprägungen des Heschl Gyrus müsste in weiterführenden Studien getestet werden: Ob Areale der Rhythmuswahrnehmung in der fixen Bedingung ausgeprägtere Aktivität aufweisen als in der selbst-initiierten Bedingung und ob sich hier ein Unterschied zu den HPIs nachweisen lässt, müsste über eine bildgebende Aufschlüsselung anatomischer Korrelate erfolgen. Zudem wäre eine Kontrollgruppe für die Hörtypen notwendig, welche in der vorliegenden Forschungsarbeit fehlt.

#### **4.4. Resumée**

Zusammenfassend hat die vorliegende Forschungsarbeit ergeben, dass LPIs in der fixen Bedingung mehr vergessen haben als in der selbst-initiierten, während sich für die HPIs kein signifikanter Vor- oder Nachteil zwischen den Bedingungen gezeigt hat. Deskriptiv

war jedoch mehr Vergessen in der selbst-initiierten als in der fixen Bedingung auffällig, weshalb die Wiederholung der Studie mit einer größeren Kohorte für das Aufdecken eines eventuellen Effektes für die HPIs interessant wäre. LPIs haben jedoch nicht insgesamt signifikant schlechter abgeschnitten als HPIs, sondern nur innerhalb der fixen Bedingung. Dies bedeutet, dass sie keinen generellen Nachteil im Lernprozess hatten. Wir gehen demnach davon aus, dass der Fokus der LPIs während des Lernens in der fixen Bedingung auf der Synchronisationsarbeit lag, wodurch für den Lernprozess notwendige Ressourcen geraubt und Informationen schlechter in das Langzeitgedächtnis übertragen werden. Dieser unterschiedliche Fokus zwischen den Hörtypen kann auf anatomischen Gegebenheiten basieren. Schmidt-Kassow et al. haben in mehreren Studien bereits nachgewiesen, dass der Fremdspracherwerb unter Bewegung während einer fixen Vokabelpräsentation einen Vorteil gegenüber einer Bedingung in Ruhe hat.<sup>7,8,17</sup> Es ist demnach davon auszugehen, dass Versuchspersonen (hier deutsche Muttersprachler\*innen) von der selbst-initiierten Bedingung noch mehr profitieren würden. Die selbst initiierte Vokabelpräsentation ermöglicht die auditorisch-motorische Synchronisation unter optimalen Bedingungen<sup>33,51</sup> und die aktive Vokabelnachsprache erleichtert die Enkodierung, da selbst produzierte Sprache einfacher zu verarbeiten ist.<sup>61,62,64</sup> Dies gilt es jedoch in zukünftigen Studien mit einem direkten Vergleich zu untersuchen.

### **4.5. Stärken und Limitationen der Studie**

Selbstverständlich sind die Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit vor dem Hintergrund ihrer Rahmenbedingungen zu betrachten.

Als Limitation der Studie ist eine fehlende Trainingseinheit vor der Lerneinheit zu nennen. Die präexperimentelle Sitzung mit der Präsentation der Pseudovokabeln erfolgte unter Ruhe, sodass die erste Lerneinheit der deutsch-polnischen Vokabelpaare auch die Eingewöhnung an die motorische Ausführung erforderte. Training fördert die kortikale Plastizität sowohl auf Motorkortex-Ebene als auch innerhalb des auditorischen Kortex<sup>92-94</sup> – eine Trainingseinheit hätte den Versuchspersonen ermöglicht, ihre kognitive Leistung ausschließlich auf das Vokabellernen und nicht zusätzlich auf die

neue motorische Situation aufzuwenden. Dies könnte in zukünftigen Studien berücksichtigt werden.

Auch ist die vorliegende Aufteilung der Hörtypen nicht eins zu eins vergleichbar mit der von Schneider et al.<sup>45</sup> Der verwendete Datensatz, erhoben mit dem nachprogrammierten Hörtest von J. Kasper, weist eine Tendenz zu Obertonhörer\*innen auf. Laut Ladd et al. ist die binäre Aufteilung in Oberton- und Grundtonhörer\*innen jedoch generell nicht statisch, sondern von verschiedenen experimentellen Faktoren, also der Reizvariabilität, abhängig.<sup>46</sup> Deshalb schlagen die Autor\*innen den Begriff unterschiedlicher Wahrnehmungsmodalitäten (Grundton- oder Obertonwahrnehmung) vor, anstatt von Hörtypen zu sprechen.<sup>46</sup> In der vorliegenden Studie erfolgte die Aufteilung in Low-Pitch-Index-Zugehörige (LPIs) und High-Pitch-Index-Zugehörige (HPIs) basierend auf dem in Kapitel 2.7.3. erläuterten Median Split.

Weiterhin ist die Versuchspersonenkohorte hinsichtlich ihres Milieus recht homogen, da die Teilnehmer\*innen mehrheitlich aus einem universitären, akademischen Umfeld kamen. Die Mehrheit hatte eine musikalische Ausbildung absolviert. 50 Prozent der Teilnehmer\*innen gingen zum Zeitpunkt der Datenerhebung einem Medizinstudium nach, während nur wenige sich in einer Ausbildung befanden oder bereits berufstätig waren. Dementsprechend kann ein Einfluss von Alter, Bildung und anderen Faktoren auf die Performanz nicht ausgeschlossen werden. Insgesamt beinhaltet der Datensatz 48 Versuchspersonen – eine größere Kohorte hätte selbstverständlich Ergebnisse mit größerer Aussagekraft ergeben.

Stärke der aktuellen Studie ist die erstmalige Erfassung der Hörtypen zur Überprüfung ihrer motorischen Synchronisationsleistung *und* der Messung des Lernerfolges der zeitgleich erfolgten Lerneinheiten zum Fremdspracherwerb. Sowohl die auditorisch-motorische Synchronisation als auch die Tonhöhenwahrnehmungspräferenz wurden in früheren Studien separat ausführlich untersucht, jedoch fehlte bisher eine Kombination dieser Merkmale. Die in dieser Forschungsarbeit angewendete Kombination an Bedingungen schafft eine neue Plattform zum Fremdspracherwerb unter Bewegung.

#### 4.6. Fazit und Ausblick

Die vorliegende Studie hat erstmalig die auditorisch-motorische Synchronisation während eines Lernparadigmas im Zusammenspiel mit der individuellen Tonhöhenwahrnehmungspräferenz untersucht. Geprüft wurde der Einfluss von Bewegung während des akustischen Fremdspracherwerbes deutsch-polnischer Vokabelpaare. Die Experimentalbedingungen bestanden aus einer fixen Vokabelpräsentation, in der die Versuchspersonen ihre Bewegung aktiv mit den gehörten Vokabeln synchronisierten, und einer selbst-initiierten Vokabelpräsentation. Versuchspersonen wurden anhand ihrer Tonhöhenwahrnehmungspräferenz in Low-Pitch-Index-Zugehörige (LPIs) und High-Pitch-Index-Zugehörige (HPIs) unterteilt – LPIs sollen in der akustischen Reizwahrnehmung ihren Fokus auf Rhythmus setzen, während HPIs mehr auf Klangfarbe und Interpretation akustischer Reize achten sollen. Hypothese war, dass die aktive auditorisch-motorische Synchronisation den Spracherwerb eher fördert und dass HPIs von der fixen Bedingung profitieren sollten, da sie weniger auf einen inneren Taktgeber zurückgreifen können.

Die Ergebnisse zeigen, dass in der fixen Bedingung mehr Vokabeln vergessen werden als in der selbst-initiierten. Zudem vergessen LPIs in der fixen Bedingung signifikant mehr als die HPIs. In der selbst-initiierten Bedingung unterscheiden sich die Gruppen nicht signifikant. Weiterhin besteht, wie erwartet, ein Zusammenhang zwischen den Tonhöhenwahrnehmungspräferenz und der Synchronisationsarbeit: LPIs synchronisieren sich in der fixen Bedingung besser als die HPIs. Die Annahme, dass sich LPIs in beiden Bedingungen nicht besonders unterscheiden würden und sich insbesondere ein Effekt für die HPIs darstellen sollte, konnte nicht bestätigt werden.

Die vorliegende Forschungsarbeit hat zusammenfassend gezeigt, dass im akustischen Fremdspracherwerb unter Bewegung die selbst-initiierte Vokabelpräsentation einen Vorteil darstellt. Zwar lenkt die fixe Bedingung durch die auditorisch-motorische Synchronisation insgesamt mehr Aufmerksamkeit auf die gehörten Reize. Es entsteht jedoch erst dann eine vorteilhafte Lernbedingung, wenn die auf einen Reiz gelenkte Aufmerksamkeit und der Aufwand, diesen Reiz zu verarbeiten, in gleichem Maße



berücksichtigt werden. Dies ist vor allem in Zusammenhang mit der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz zu betrachten: Eine zeitlich fixe Vokabelpräsentation entzieht Personen mit ausgeprägtem Rhythmusgefühl zu viel Aufmerksamkeit und lenkt von dem Enkodierungsprozess der Vokabelpaare ab. Durch die motorische Planung der selbst-initiierten Vokabelpräsentation entsteht dagegen eine präzisere Vorhersage, wann der Reiz eintrifft, wodurch dieser perfekt verarbeitet werden kann. Dies gilt jedoch vor allem für LPIs, da für HPIs kein eindeutiger Effekt nachgewiesen werden konnte.

Bezug nehmend auf die Studie von Assaneo et al.<sup>86</sup> wäre eine Untersuchung interessant, inwieweit sich die Gruppe der *High Synchroniser* mit der Gruppe der LPIs deckt und was für Ergebnisse in einem Lernexperiment erzielt würden. Auch die in der Diskussion aufgeworfene Frage, ob es einen Unterschied in der Sprachverarbeitung zwischen HPIs und LPIs gibt, bleibt nachfolgenden Studien überlassen.

Die erzielten Ergebnisse könnten zum Beispiel für die Entwicklung einer App angewendet werden, welche bei moderatem körperlichem Training in einem selbst-initiierten Präsentationsmodus die zu lernenden Vokabelpaare abspielt. Regelmäßige Bewegung fördert nicht nur die Rekrutierung kognitiver Ressourcen, sondern sorgt insgesamt für einen effizienteren Einsatz kognitiver Leistungen.

Klinisch betrachtet ist die Anwendung von Musik- beziehungsweise Rhythmusparadigmen für Patient\*innen mit Störungen im Temporallappen beziehungsweise in den Basalganglien, wie etwa dem Morbus Parkinson, ein interessanter Anknüpfungspunkt für weitere Forschung. Insgesamt bildet die Rhythmuswahrnehmung und die Anpassung neuronaler Arbeit zu Rhythmus die Basis vieler neuronaler Abläufe, deren weitere Untersuchung zum Beispiel zur Aufklärung defizitärer Sprachverarbeitung beitragen kann.

Hängen die Verarbeitung sprachlicher Rhythmen und die Synchronisierung dazu mit der individuellen Tonhöhenwahrnehmungspräferenz tatsächlich zusammen? Die

## Diskussion

vorliegende Forschungsarbeit scheint dies zu bestätigen, jedoch bleibt dies in weiteren Studien zu replizieren und zu ergänzen.

## 5. Zusammenfassung

Die vorliegende Forschungsarbeit hat untersucht, inwiefern Bewegung (Radeln) unter zwei verschiedenen Synchronisationsbedingungen sich auf das Erlernen fremdsprachlicher Vokabeln auswirkt. In einem mixed-subject Design wurde eine experimentelle Bedingung, in der die Vokabeln in einem festen Rhythmus präsentiert wurden, mit einer Bedingung verglichen, bei der die Vokabelpräsentation durch den Tritt der Proband\*innen in die Pedale ausgelöst wurde. Hierbei wurde erstmalig der individuelle Hörtyp der Versuchspersonen bestimmt, um einen Einfluss der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz auf die auditorisch-motorische Synchronisation zu prüfen. Ermittelt wurde ein Zusammenhang zwischen dieser Tonhöhenwahrnehmungspräferenz und den erzielten Vokabeltestergebnissen in den jeweiligen motorischen Bedingungen. Studien weisen auf einen Unterschied der rhythmischen Wahrnehmung innerhalb der Hörtypen sowie auf einen förderlichen Effekt von Bewegung beim Erlernen einer Fremdsprache. Obertonhörer\*innen (hier High-Pitch-Index-Zugehörige; HPIs) achten demnach eher auf Klangfarbe und Interpretation von Klängen, während Grundtonhörer\*innen (hier Low-Pitch-Index-Zugehörige; LPIs) ihren Fokus auf Rhythmus legen. Die Hypothese war, dass Versuchspersonen mit einem höheren Pitch Index eher von der fixen rhythmischen Bedingung profitieren als Versuchspersonen mit einem niedrigeren, da erstere nicht auf eine innere Rhythmizität zurückgreifen können.

48 Versuchspersonen, jeweils 24 Männer und 24 Frauen, durchliefen deshalb zwei unterschiedliche Lernbedingungen beim Fahrradfahren, in welchen sie pro Sitzung jeweils 40 polnisch-deutsche Vokabelpaare über eine auditorische Präsentation per Kopfhörer lernten. Diese wurden unmittelbar nach der Lerneinheit sowie 24 Stunden später mittels eines Online-Vokabeltests abgefragt. Auf eine Bedingung unter Ruhe wurde verzichtet, da Studien auf einen klaren Vorteil von Lernen unter Bewegung hinweisen. Da angenommen wurde, dass eine aktive auditorisch-motorische Synchronisation den Spracherwerb eher fördert als eine passive, bestanden die Einheiten einerseits aus einer fixen Vokabelpräsentation parallel zu dem Fahrradfahren

der Versuchspersonen, andererseits aus einer durch die Bewegung der Versuchsperson ausgelösten, somit selbst-initiierten Vokabelpräsentation. Die Verteilung der Bedingungen auf die Versuchspersonen war randomisiert und zwischen den zwei Lerneinheiten bestanden immer 72 Stunden. Anhand eines Median Splits erfolgte die Aufteilung in HPIs und LPIs. Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Lernbedingung und dem Pitch Index: Insgesamt vergessen LPIs in der fixen Bedingung signifikant mehr als die HPIs. In der selbst-initiierten Bedingung unterscheiden sich die Gruppen nicht signifikant. Die Analyse der motorischen Daten ergibt, dass die LPIs sich in der fixen Bedingung signifikant besser synchronisieren als HPIs. Studien weisen einen positiven Effekt selbst-initiiertes Reize auf die Aufmerksamkeitszuteilung nach – die Ergebnisse bestätigen diese Annahme. Zwar wurde kein direkter Vorteil der selbst-initiierten Bedingung nachgewiesen, jedoch ist mit Blick auf bereits erfolgte Forschung und den signifikant schlechteren Ergebnissen der LPIs in der fixen Bedingung davon auszugehen.

Zusammenfassend gehen wir davon aus, dass LPIs sich aufgrund ihres stärker ausgeprägten Rhythmusgefühls erstens besser synchronisieren als HPIs und zweitens durch diesen stärkeren Fokus auf die Synchronisationsarbeit zu viel Aufmerksamkeit dafür aufwenden, welche dem Lernprozess entzogen wird. Dies äußert sich schließlich darin, dass LPIs in der fixen Bedingung mehr Vokabeln vergessen als HPIs. Ausgehend von diesen Ergebnissen ist anzunehmen, dass die selbst-initiierte Bedingung den Fremdspracherwerb eher fördert als die fixe Bedingung. Frühere Studien von Schmidt-Kassow et al.<sup>7,8,17</sup> haben bereits nachgewiesen, dass Lernen unter Bewegung, und zwar unter einer fixen Bedingung, im Vergleich zum Lernen in Ruhe zu besseren Ergebnissen führt. Diese Arbeit gibt erste Hinweise darauf, dass eine selbst-initiierte Vokabelpräsentation den Fremdspracherwerb am ehesten fördert. Zusätzlich ist erstmalig ein Einfluss der Tonhöhenwahrnehmungspräferenz auf die auditorisch-motorische Synchronisation nachgewiesen worden. Inwiefern die Verarbeitung sprachlicher Rhythmen und die Synchronisierung dazu mit der individuellen Tonhöhenwahrnehmungspräferenz tatsächlich zusammenhängen, bleibt in weiteren Studien zu untersuchen.

## 6. Conclusions

This research project was performed to shed light on how motor activity, such as cycling, influences the acquisition of foreign language vocabulary under two distinct conditions of auditory-motor-synchronisation. This was investigated in a mixed-subject design: in experiment 1, vocabulary was presented in a fixed rhythm while in experiment 2, participants triggered the presentation of vocabulary through pedalling. Additionally, the individual pitch perception preference of the participants was determined by using a test programmed by Schneider et al.<sup>45</sup> designed for its detection. The aim was to identify whether pitch perception preference influences auditory-motor-synchronisation and the retrieval of long term memory content in any way. Thus, it was investigated to what extent pitch perception preference influenced the results of vocabulary tests. Former research has already outlined existing differences in rhythm perception between spectral versus fundamental listeners. Spectral listeners (high pitch index listeners; HPIs) tend to focus more on timbre and interpretation of sounds while fundamental listeners (low pitch index listeners; LPIs) have a distinctive perception for rhythm and for time structure of tones. Further studies have stressed the positive effect of motor activity during the acoustic acquisition of a foreign language. It was therefore hypothesised that participants having a high pitch index would profit more of a fixed rhythmic auditory-motor condition than participants having a low pitch index, since spectral listeners have less inner rhythmicity to rely upon.

48 participants, 24 men and 24 women, were identified in a preselection session. During the study, they had to learn 40 Polish-German vocabulary pairs by auditory presentation over headphones under two different conditions, in which they performed motor activity cycling on a bicycle ergometer. After having listened to the word pairs, they had to perform online vocabulary tests, one directly after the learning session and a second one 24 hours later from home. A learning setting at rest was consciously excluded from the study design, as former studies have consistently demonstrated the benefit of physical activity during learning.

It was further assumed that active auditory-motor synchronisation would benefit language acquisition more than passive auditory-motor synchronisation. Therefore, the

## Conclusions

learning sessions were designed to contain one setting with a regularly timed, fixed vocabulary presentation and a second one with a self-initiated presentation, in which the participants triggered the auditory presentation by crossing a certain light point while cycling. Assignment to the conditions was randomly distributed among the participants. Between consecutive learning sessions there was a period of 72 hours. The median of the detected pitch perception preference determined the splitting of the group between HPIs and LPIs.

The results showed a significant link between the learning condition and the pitch index. Participants were significantly less able to recall vocabulary during the fixed than during the self-initiated condition. What is more, LPIs forgot significantly more vocabulary than HPIs in the fixed condition. There was no difference within the groups for the self-initiated condition. The analysis of the motor data (inter-beat deviation) revealed a significantly more accurate synchronisation for LPIs than for HPIs during the fixed condition.

In summary, LPIs synchronise better to auditory presentation than HPIs because of their pronounced perception of rhythm. Their pronounced focus on synchronisation though causes them to direct too much attention on the respective process, retrieving the needed attention from the process of learning. This consequently results in a worse performance during the vocabulary test. Based on these results it can be postulated that the self-initiated condition benefits the learning process more than the fixed condition. Former studies by Schmidt-Kassow et al.<sup>7,8,17</sup> have already demonstrated the positive impact of a fixed condition while performing motor activity on language acquisition in contrast with a sedentary one.

Therefore, this study provides first evidence for the benefit of self-initiated auditory-motor synchronisation in the process of learning a foreign language in adults. It also reveals that pitch preference has an effect on auditory-motor synchronisation. However, the influence of pitch preference on the processing of speech rhythm and the motor synchronisation to it still is to be investigated on in further research.

## 7. Literaturverzeichnis

### References

1. Nietzsche F. *Die Geburt der Tragödie aus dem Geiste der Musik*. 4. Auflage. Frankfurt am Main: Insel-Verlag; 2012. Insel-Taschenbuch; 2679.
2. Sacks OW, Kober H. *Der einarmige Pianist: Über Musik und das Gehirn*. 7. Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt; 2008.
3. Large EW, Jones MR. The Dynamics of Attending: How People Track Time-Varying Events. *Psychological Review*. 1999;106(1):119-159. Accessed November 12, 2019.
4. Iversen JR, Balasubramaniam R. Synchronization and temporal processing. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. 2016;8:175-180. doi:10.1016/j.cobeha.2016.02.027.
5. Schmidt-Kassow M, Thöne K, Kaiser J. Auditory-motor coupling affects phonetic encoding. *Brain Res*. 2019;1716:39-49. doi:10.1016/j.brainres.2017.11.022.
6. Online Lexikon für Psychologie und Pädagogik. Online-Enzyklopädie aus den Wissenschaften Psychologie und Pädagogik (Stangl, 2019). Verwendete Literatur Stangl, W. (2019). Stichwort: 'Enkodieren'. [https://lexikon.stangl.eu/3409/enkodieren/\(2019-06-16\)](https://lexikon.stangl.eu/3409/enkodieren/(2019-06-16)).
7. Schmidt-Kassow M, Deusser M, Thiel C, et al. Physical exercise during encoding improves vocabulary learning in young female adults: a neuroendocrinological study. *PLoS ONE*. 2013;8(5):e64172. doi:10.1371/journal.pone.0064172.
8. Schmidt-Kassow M, Zink N, Mock J, et al. Treadmill walking during vocabulary encoding improves verbal long-term memory. *Behav Brain Funct*. 2014;10:24. doi:10.1186/1744-9081-10-24.
9. Brisswalter J, Collardeau M, René A. Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Med*. 2002;32(9):555-566. doi:10.2165/00007256-200232090-00002.
10. Tomporowski PD. Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*. 2003;112(3):297-324. doi:10.1016/S0001-6918(02)00134-8.

11. Coles K, Tomporowski PD. Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *J Sports Sci.* 2008;26(3):333-344.  
doi:10.1080/02640410701591417.
12. Salas CR, Minakata K, Kelemen WL. Walking before study enhances free recall but not judgement-of-learning magnitude. *Journal of Cognitive Psychology.* 2011;23(4):507-513. doi:10.1080/20445911.2011.532207.
13. Lambourne K, Tomporowski P. The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Res.* 2010;1341:12-24.  
doi:10.1016/j.brainres.2010.03.091.
14. McNerney MW, Radvansky GA. Mind racing: The influence of exercise on long-term memory consolidation. *Memory.* 2015;23(8):1140-1151.  
doi:10.1080/09658211.2014.962545.
15. Labban JD, Etnier JL. Effects of acute exercise on long-term memory. *Res Q Exerc Sport.* 2011;82(4):712-721. doi:10.1080/02701367.2011.10599808.
16. Ludyga S, Gerber M, Brand S, Pühse U, Colledge F. Effects of Aerobic Exercise on Cognitive Performance Among Young Adults in a Higher Education Setting. *Res Q Exerc Sport.* 2018;89(2):164-172. doi:10.1080/02701367.2018.1438575.
17. Schmidt-Kassow M, Kulka A, Gunter TC, Rothermich K, Kotz SA. Exercising during learning improves vocabulary acquisition: behavioral and ERP evidence. *Neurosci Lett.* 2010;482(1):40-44. doi:10.1016/j.neulet.2010.06.089.
18. Jones MR, Moynihan H, MacKenzie, Noah and Puente, Jennifer. Temporal Aspects of Stimulus-Driven Attending in Dynamic Arrays. *Psychological Science.* 2002;13(4):pp. 313-319. Accessed October 25, 2019.
19. Schmidt-Kassow M, Heinemann LV, Abel C, Kaiser J. Auditory-motor synchronization facilitates attention allocation. *Neuroimage.* 2013;82:101-106.  
doi:10.1016/j.neuroimage.2013.05.111.
20. Jones A, Ward EV. Rhythmic Temporal Structure at Encoding Enhances Recognition Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience.* 2019;31(10):1549-1562.  
doi:10.1162/jocn\_a\_01431.



21. Gordon RL, Shivers CM, Wieland EA, Kotz SA, Yoder PJ, Devin McAuley J. Musical rhythm discrimination explains individual differences in grammar skills in children. *Dev Sci.* 2015;18(4):635-644. doi:10.1111/desc.12230.
22. Gordon RL, Magne CL, Large EW. EEG Correlates of Song Prosody: A New Look at the Relationship between Linguistic and Musical Rhythm. *Front Psychol.* 2011;2:352. doi:10.3389/fpsyg.2011.00352.
23. Schmidt-Kassow M, Schubotz RI, Kotz SA. Attention and entrainment: P3b varies as a function of temporal predictability. *Neuroreport.* 2009;20(1):31-36. doi:10.1097/WNR.0b013e32831b4287.
24. Todd NPM, Lee CS. The sensory-motor theory of rhythm and beat induction 20 years on: a new synthesis and future perspectives. *Front Hum Neurosci.* 2015;9:444. doi:10.3389/fnhum.2015.00444.
25. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Das auditorische und das vestibuläre System. In: Engel AK, Bear MF, Connors BW, Paradiso MA, eds. *Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie.* Vol. 4. 4. Aufl. 2018. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2018:389-435. [https://science.sciencemag.org/content/sci/320/5872/110.full.pdf?casa\\_token=eXVIjm1Q8Z8AAAAA:2duYuAQiWADsII6wrUFquErGJsx5YJRuPOx9m8q4Z--au\\_PpMLKI4FbYy12neflVbthnnagqbd4Xsv4](https://science.sciencemag.org/content/sci/320/5872/110.full.pdf?casa_token=eXVIjm1Q8Z8AAAAA:2duYuAQiWADsII6wrUFquErGJsx5YJRuPOx9m8q4Z--au_PpMLKI4FbYy12neflVbthnnagqbd4Xsv4).
26. Conradi N, Abel C, Frisch S, Kell CA, Kaiser J, Schmidt-Kassow M. Actively but not passively synchronized motor activity amplifies predictive timing. *Neuroimage.* 2016;139:211-217. doi:10.1016/j.neuroimage.2016.06.033.
27. Wolpert DM, Miall, R. Chris and Kawato, Mitsuo. The internal forward model. *Trends in Cognitive Sciences.* 1998;(2):338-347. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(98\)01221-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01221-2). Accessed October 28, 2019.
28. Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nat Rev Neurosci.* 2007;8(7):547-558. doi:10.1038/nrn2152.
29. Chen JL, Penhune, Virginia B. and Zatorre, Robert J. Moving on Time: Brain Network for Auditory-Motor Synchronization is Modulated by Rhythm Complexity

- and Musical Training. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2008;20(2):pp. 226–239.  
Accessed January 30, 2021.
30. Stöhr M, Buettner UW, Dichgans J, Hess CW, eds. *Evozierte Potenziale: SEP - VEP - AEP - EKP - MEP*. 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg; 2005.
31. Sadowski R, Neukäter W. Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) in Neurologie und Psychiatrie. In: Jörg J, Hielscher H, eds. *Evozierte Potentiale in Klinik und Praxis: Eine Einführung in VEP, SEP, AEP, MEP, P 300 und PAP*. Vol. 17. Vierte, überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg; 1997:282-305.
32. Adamaszek M. Ereignis-korrelierte Potentiale zur Untersuchung cerebraler kognitiver und emotionaler Funktionen. *Das Neurophysiologie-Labor*. 2016;38(2):63-78. doi:10.1016/j.neulab.2016.03.001.
33. Knolle F, Schröger E, Kotz SA. Prediction errors in self- and externally-generated deviants. *Biol Psychol*. 2013;92(2):410-416. doi:10.1016/j.biopsycho.2012.11.017.
34. Schneider P, Sluming V, Roberts N, Bleack S, Rupp A. Structural, functional, and perceptual differences in Heschl's gyrus and musical instrument preference. *Ann N Y Acad Sci*. 2005;1060:387-394. doi:10.1196/annals.1360.033.
35. Koch HC. Musikalisches Lexikon, welches die theoretische und praktische Tonkunst, encyclopädisch bearbeitet, alle alten und neuen Kunstwörter erklärt, und die alten und neuen Instrumente beschrieben, enthält, Frankfurt/Main 1802.: Musiklexikon: Was bedeutet Grundton? .  
<https://musikwissenschaften.de/lexikon/g/grundton/>. Accessed July 2, 2019.
36. Musiklexikon - Musik-Fachbegriffe nachschlagen - Oberton.  
<http://www.musiklexikon.info/musiklexikon/oberton>. Updated July 20, 2020.  
Accessed July 20, 2020.
37. Schneider P, Andermann M, Engelmann D, Schneider R, Rupp A. Musik im Kopf. Individuelle Unterschiede in der Klangwahrnehmung und das zerebrale Sinfonieorchester. *Dtsch Med Wochenschr*. 2006;131(51-52):2895-2897.  
doi:10.1055/s-2006-957218.

38. Helmholtz H von, Ellis AJ. *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*. 2nd ed. London: Longmans, Green and Co; 1885. Digitized by Google. Accessed June 18, 2019.
39. Zatorre, Robert J. and Belin, Pascal. Spectral and Temporal Processing in Human Auditory Cortex. *Cerebral Cortex*. 2001;(10):946-953. Accessed June 18, 2019.
40. Trepel M. *Neuroanatomie: Struktur und Funktion*. 4. Auflage. München: ELSEVIER; 2008. Lehrbuch.
41. Gruhn W, Hofmann E, Schneider P. Grundtonhörer? Obertonhörer? : Hörtypen und ihre Instrumente. *Üben&Musizieren\_06-09*. 2012. [www.schott-musikpädagogik.de](http://www.schott-musikpädagogik.de). Accessed June 6, 2019.
42. Benner J, Wengenroth M, Reinhardt J, Stippich C, Schneider P, Blatow M. Prevalence and function of Heschl's gyrus morphotypes in musicians. *Brain Struct Funct*. 2017;222(8):3587-3603. doi:10.1007/s00429-017-1419-x.
43. Kuroki N. Middle and Inferior Temporal Gyrus Gray Matter Volume Abnormalities in First-Episode Schizophrenia: An MRI Study. *Am J Psychiatry*. 2006;163(12):2103. doi:10.1176/appi.ajp.163.12.2103.
44. Schönwiesner M, Rübsamen R, Cramon DY von. Spectral and temporal processing in the human auditory cortex--revisited. *Ann N Y Acad Sci*. 2005;1060:89-92. doi:10.1196/annals.1360.051.
45. Schneider P, Sluming V, Roberts N, et al. Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nat Neurosci*. 2005;8(9):1241-1247. doi:10.1038/nn1530.
46. Ladd DR, Turnbull R, Browne C, et al. Patterns of individual differences in the perception of missing-fundamental tones. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2013;39(5):1386-1397. doi:10.1037/a0031261.
47. Schneider P. Forschungsgruppe Musik und Gehirn: Klangverarbeitende Areale des Gehirns. <https://musicandbrain.de/startseite.html>.
48. Hentschel G. *Vokalperzeption und natürliche Phonologie: Eine kontrastive Untersuchung zum Deutschen und Polnischen*. [Doctoral Thesis]. 1st, New ed.

- Frankfurt a.M: Peter Lang GmbH Internationaler Verlag der Wissenschaften; 1986.  
Specimina philologiae Slavicae; 19s. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2018082610202649640925>.
49. Duden | Phonem | Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Herkunft.  
<https://www.duden.de/rechtschreibung/Phonem>. Updated August 1, 2020. Accessed August 1, 2020.
50. Schneider P, Wengenroth M. The Neural Basis of Individual Holistic and Spectral Sound Perception. *Contemporary Music Review*. 2009;28(3):315-328.  
doi:10.1080/07494460903404402.
51. Chen Z, Chen X, Liu P, Huang D., Liu H. Effect of temporal predictability on the neural processing of self-triggered auditory stimulation during vocalization. *BMC Neuroscience*. 2012;13. <http://www.biomedcentral.com/1471-2202/13/55>. Accessed October 22, 2019.
52. Bäß P, Jacobsen T, Schröger E. Suppression of the auditory N1 event-related potential component with unpredictable self-initiated tones: evidence for internal forward models with dynamic stimulation. *Int J Psychophysiol*. 2008;70(2):137-143.  
doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.06.005.
53. Baess P, Horváth J, Jacobsen T, Schröger E. Selective suppression of self-initiated sounds in an auditory stream: An ERP study. *Psychophysiology*. 2011;48(9):1276-1283. doi:10.1111/j.1469-8986.2011.01196.x.
54. Wolpert DM, Ghahramani Z, Jordan MI. An internal model for sensorimotor integration. *Science*. 1995;269(5232):1880-1882. doi:10.1126/science.7569931.
55. Cisek P. Internal Models. In: Binder MD, Hirokawa N, Windhorst U, eds. *Encyclopedia of neuroscience*. Berlin: Springer; 2009:2009-2012.
56. Martikainen MH, Kaneko K-i, Hari R. Suppressed responses to self-triggered sounds in the human auditory cortex. *Cereb Cortex*. 2005;15(3):299-302.  
doi:10.1093/cercor/bhh131.
57. Knolle F, Schröger E, Baess, Pamela and Kotz, Sonja A. The Cerebellum Generates Motor-to-Auditory Predictions: ERP Lesion Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2012;24(3):pp. 698–706. Accessed October 24, 2019.

58. Rauschecker JP. An expanded role for the dorsal auditory pathway in sensorimotor control and integration. *Hear Res.* 2011;271(1-2):16-25.  
doi:10.1016/j.heares.2010.09.001.
59. Knolle F, Schwartz M, Schröger E, Kotz SA. Auditory predictions and prediction errors in response to self-initiated vowels. 2019;23. doi:10.1101/671990.
60. Greenlee JDW, Jackson AW, Chen F, et al. Human auditory cortical activation during self-vocalization. *PLoS ONE.* 2011;6(3):e14744.  
doi:10.1371/journal.pone.0014744.
61. Eliades SJ, Wang X. Sensory-motor interaction in the primate auditory cortex during self-initiated vocalizations. *J Neurophysiol.* 2003;89(4):2194-2207.  
doi:10.1152/jn.00627.2002.
62. Houde JF, Nagarajan SS, Sekihara K, Merzenich MM. Modulation of the Auditory Cortex during Speech: An MEG Study. *Journal of Cognitive Neuroscience.* 2002;14(8):pp. 1125–1138. Accessed November 11, 2019.
63. Patel AD, Iversen JR. The evolutionary neuroscience of musical beat perception: the Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Front Syst Neurosci.* 2014;8:57. doi:10.3389/fnsys.2014.00057.
64. Creutzfeldt O., Ojemann G. and Lettich E. Neuronal activity in the human lateral temporal lobe. *Experimental Brain Research.* 1989;(77):451-475. Accessed October 28, 2019.
65. Lange K. The reduced N1 to self-generated tones: an effect of temporal predictability? *Psychophysiology.* 2011;48(8):1088-1095. doi:10.1111/j.1469-8986.2010.01174.x.
66. Sibley, Benjamin A. and Beilocks, Sian L. Exercise and Working Memory: An Individual Differences Investigation. *Journal of Sport & Exercise Psychology.* 2007;(29):783-791. Accessed June 16, 2019.
67. Breitenstein C, Jansen A, Deppe M, et al. Hippocampus activity differentiates good from poor learners of a novel lexicon. *Neuroimage.* 2005;25(3):958-968.  
doi:10.1016/j.neuroimage.2004.12.019.

68. Suzukia M, Kitanoa H, Itob R, Kitanishia T, Yazawaa Y. Cortical and subcortical vestibular response to caloric stimulation detected by functional magnetic resonance imaging. *Cognitive Brain Research*. 2001;12:441-449. doi:10.1016/S0926-6410(01)00080-5.
69. Morillon B, Schroeder CE, Wyart V, Arnal LH. Temporal Prediction in lieu of Periodic Stimulation. *J Neurosci*. 2016;36(8):2342-2347. doi:10.1523/JNEUROSCI.0836-15.2016.
70. Cope TE, Grube M, Griffiths TD. Temporal predictions based on a gradual change in tempo. *J Acoust Soc Am*. 2012;131(5):4013-4022. doi:10.1121/1.3699266.
71. Calderone DJ, Lakatos P, Butler PD, Castellanos FX. Entrainment of neural oscillations as a modifiable substrate of attention. *Trends Cogn Sci (Regul Ed)*. 2014;18(6):300-309. doi:10.1016/j.tics.2014.02.005.
72. Morillon B, Barbot A. Attention in the temporal domain: a phase-coding mechanism controls the gain of sensory processing. *Front Hum Neurosci*. 2013;7:480. doi:10.3389/fnhum.2013.00480.
73. Lakatos P, Karmos G, Mehta AD, Ulbert I, Schroeder CE. Entrainment of Neuronal Oscillations as a Mechanism of Attentional Selection. *Science*. 2008;320(5872):110-113. www.sciencemag.org.
74. Mathewson KE, Prudhomme C, Fabiani M. Making Waves in the Stream of Consciousness: Entraining Oscillations in EEG Alpha and Fluctuations in Visual Awareness with Rhythmic Visual Stimulation. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2012;24(12):pp. 2321–2333. Accessed February 24, 2021.
75. Smout CA, Tang MF, Garrido, Marta I. and Mattingley Jason B. Attention promotes the neural encoding of prediction errors. *PLoS Biology*. 2019;17(2). Accessed October 22, 2019.
76. Hsu Y-F, Hämäläinen JA, Waszak F. Both attention and prediction are necessary for adaptive neuronal tuning in sensory processing. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:152. doi:10.3389/fnhum.2014.00152.

77. Schwartz M, Rothermich K, Schmidt-Kassow M, Kotz SA. Temporal regularity effects on pre-attentive and attentive processing of deviance. *Biol Psychol.* 2011;87(1):146-151. doi:10.1016/j.biopsycho.2011.02.021.
78. Schneider P, Scherg M, Dosch HG, Specht HJ, Gutschalk A, Rupp A. Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nat Neurosci.* 2002;5(7):688-694. doi:10.1038/nn871.
79. Turker S, Reiterer SM, Seither-Preisler A, Schneider P. "When Music Speaks": Auditory Cortex Morphology as a Neuroanatomical Marker of Language Aptitude and Musicality. *Front Psychol.* 2017;8:2096. doi:10.3389/fpsyg.2017.02096.
80. Ylinen S, Nora A, Leminen A, et al. Two distinct auditory-motor circuits for monitoring speech production as revealed by content-specific suppression of auditory cortex. *Cereb Cortex.* 2015;25(6):1576-1586. doi:10.1093/cercor/bht351.
81. Hove MJ, Marie C, Bruce IC, Trainor LJ. Superior time perception for lower musical pitch explains why bass-ranged instruments lay down musical rhythms. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2014;111(28):10383-10388. doi:10.1073/pnas.1402039111.
82. Schneider P, Benner J, Zeidler B, Christiner M, Seither-Preisler A, Engelmann D. Audio- und Neuroplastizität der Klangwahrnehmung. *Akustik Journal.* 2018;(02):16-30. Accessed June 6, 2019.
83. Mesgarani N, Cheung C, Johnson K, Chang EF. Phonetic Feature Encoding in Human Superior Temporal Gyrus. *Science.* 2014;343(6174):1006-1010. doi:10.1126/science.1245994.
84. Hickok G, Poeppel D. Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition.* 2004;92(1-2):67-99. doi:10.1016/j.cognition.2003.10.011.
85. Grahn JA, Rowe JB. Finding and Feeling the Musical Beat: Striatal Dissociations between Detection and Prediction of Regularity. *Cerebral Cortex.* 2013;23(4):913-921. doi:10.1093/cercor/bhs083.
86. Assaneo MF, Ripollés P, Orpella J, Lin WM, Diego-Balaguer R de, Poeppel D. Spontaneous synchronization to speech reveals neural mechanisms facilitating

- language learning. *Nat Neurosci*. 2019;22(4):627-632. doi:10.1038/s41593-019-0353-z.
87. Grahn JA, Rowe JB. Feeling the beat: premotor and striatal interactions in musicians and nonmusicians during beat perception. *J Neurosci*. 2009;29(23):7540-7548. doi:10.1523/JNEUROSCI.2018-08.2009.
88. Hannon EE, Snyder JS, Eerola T, Krumhansl CL. The role of melodic and temporal cues in perceiving musical meter. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2004;30(5):956-974. doi:10.1037/0096-1523.30.5.956.
89. Kim S-j, Cho H-y, Kim YL, Lee S-m. Effects of stationary cycling exercise on the balance and gait abilities of chronic stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(11):3529-3531. Accessed November 18, 2019.
90. Schmidt-Kassow M, Wilkinson D, Denby E, Ferguson H. Synchronised vestibular signals increase the P300 event-related potential elicited by auditory oddballs. *Brain Res*. 2016;1648(Pt A):224-231. doi:10.1016/j.brainres.2016.07.019.
91. Jones A, Hsu Y-F, Granjon L, Waszak F. Temporal expectancies driven by self- and externally generated rhythms. *Neuroimage*. 2017;156:352-362. doi:10.1016/j.neuroimage.2017.05.042.
92. Irvine DRF. Auditory cortical plasticity: does it provide evidence for cognitive processing in the auditory cortex? *Hear Res*. 2007;229(1-2):158-170. doi:10.1016/j.heares.2007.01.006.
93. Kida H, Tsuda Y, Ito N, et al. Motor Training Promotes Both Synaptic and Intrinsic Plasticity of Layer II/III Pyramidal Neurons in the Primary Motor Cortex. *Cereb Cortex*. 2016;26(8):3494-3507. doi:10.1093/cercor/bhw134.
94. Brown M, Irvine DRF, Park VN. Perceptual learning on an auditory frequency discrimination task by cats: association with changes in primary auditory cortex. *Cereb Cortex*. 2004;14(9):952-965. doi:10.1093/cercor/bhh056.



## **8. Anhang**

## 8.1. Informationsblatt zur Forschungsarbeit

### Forschungsvorhaben

**"The influence of synchronous physical activity on brain plasticity and foreign language learning."**

#### Studie:

**When does physical activity maximally influence learning?**

### INFORMATIONSBLATT

Sehr geehrte Versuchsteilnehmerin, sehr geehrter Versuchsteilnehmer, vielen Dank für Ihre Bereitschaft, an unserer Lernstudie teilzunehmen. Bitte lesen Sie sich die folgenden Informationen zu dem Hintergrund der Studie sowie zu Ablauf und Risiken genau durch, bevor Sie die Einverständniserklärung unterschreiben. Sollten Sie Fragen haben, steht Ihnen der Versuchsleiter jederzeit gerne zur Verfügung.

#### *Wissenschaftlicher Hintergrund:*

Das Ziel dieser Studie ist es, zu untersuchen, unter welchen Bedingungen neue Vokabeln einer Fremdsprache optimal erlernt und behalten werden können.

#### *Ablauf der Studie:*

Die Studie setzt sich zusammen aus drei Terminen, die im Institut stattfinden, sowie zwei kurzen Sitzungen zu Hause.

Als erstes erfolgt eine Castingsitzung, wobei ein Lernfähigkeitstest sowie ein Hörtest durchgeführt werden. Ersterer besteht aus der akustischen Präsentation von Pseudovokabeln, die anschließend abgefragt werden. Zweiter dient zur Bestimmung dazu, ob Sie Grundton- oder Obertonhörer/in sind.

Anschließend lernen Sie in zwei darauffolgenden Sitzungen jeweils 30 Minuten lang polnische Vokabeln und schreiben unmittelbar danach, sowie am darauf folgenden Tag, einen Test über die zuvor gelernten Wörter.

In einer Sitzung werden die Vokabeln in einem festen Tempo eingespielt, in der anderen Sitzung können Sie durch ihr Radeltempo die Präsentation der Vokabeln steuern.

Alle Daten in dieser Studie werden pseudonymisiert ausgewertet.

#### *Voraussetzungen*

a) Sie haben noch nie **Polnisch** oder eine andere slawische Sprache gelernt, bzw. haben sich in keinem dieser Länder (Polen, Russland, Tschechien, Slowakei, Slowenien, Kroatien, Serbien, Bulgarien, Ungarn, Rumänien) mehr

als 2 Wochen aufgehalten.

b) Sie erscheinen pünktlich zu jedem Termin.

c) Sie sind körperlich gesund und nehmen keine Medikamente ein.

d) Sie rauchen nicht mehr als 10 Zigaretten am Tag.

e) Sie trinken nicht mehr als 6 Tassen Kaffee am Tag.

f) Sie trinken nicht mehr als 2 Gläser Wein am Tag.

#### *Weitere allgemeine Hinweise*

Die Teilnahme an der Untersuchung ist freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne, dass Ihnen Nachteile daraus entstehen davon zurücktreten. Dies gilt auch, nachdem Sie die Einverständniserklärung unterschrieben haben. Der Sie untersuchende Studienleiter behält sich vor, Ihre Teilnahme aus bestimmten Gründen vorzeitig zu beenden.

Wir wollen Sie auch darüber informieren, dass die Ethikkommission diese wissenschaftliche Untersuchung geprüft hat und zustimmend bewertete. Die Verantwortung für die Untersuchung liegt aber bei der Leiterin, Dr. Maren Schmidt-Kassow.

#### *Einverständniserklärung*

Hiermit erkläre ich mich zur Teilnahme an dieser wissenschaftlichen Studie einverstanden. Ich wurde sowohl schriftlich als auch mündlich umfassend über den Zweck der Studie und die Vorgehensweise informiert. Ich habe darüber hinaus den Text der Probandeninformation und dieser Einverständniserklärung gelesen und verstanden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, Fragen zu stellen. Ich bin darüber informiert, dass meine Teilnahme an der Studie freiwillig ist. Ich kann jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, meine Teilnahme widerrufen, ohne dass mir hieraus Nachteile entstehen.

#### **Datenschutz:**

**Die Untersuchungsergebnisse werden statistisch ausgewertet und in anonymer Form veröffentlicht. Bei allen Untersuchungen werden die erhobenen Daten mit einem Code, der aus den letzten beiden Buchstaben des Nachnamens, den letzten beiden Buchstaben des Vornamens und dem Geburtsdatum besteht, versehen und in digitaler Form auf der Festplatte eines Rechners gemäß den Vorschriften des Datenschutzes gespeichert. Die Schlüsselliste wird vom Studienleiter bei der Untersuchung angelegt und getrennt von den erhobenen Daten unter Verschluss aufbewahrt. Die gewonnenen Daten werden pseudonymisiert und zu rein wissenschaftlichen Zwecken verwendet.**

**Die Daten werden strikt vertraulich behandelt, und es erfolgt keine Weitergabe an Dritte.**

**Ich bin mit der Aufzeichnung der im Rahmen der Studie an mir erhobenen Daten und ihrer anonymisierten Verwendung, z.B. für Veröffentlichungen, einverstanden.**

Eine Kopie der Probandeninformation/Einverständniserklärung mit der Information zum Datenschutz habe ich erhalten.

Frankfurt den .....

Aufklärende/r Studienleiter/in  
(Druckbuchstaben)

Unterschrift Studienleiter/in

Frankfurt den .....

Versuchsteilnehmer/in  
(Druckbuchstaben)

Unterschrift Versuchsteilnehmer/in

**Ergänzende Information nach Wirksamwerden der EU-Datenschutzverordnung (DSGVO)**

Die in dem Projekt für die Datenverarbeitung verantwortliche Person entspricht dem Projektleiter und die Kontaktdaten sind in den Aufklärungsunterlagen ersichtlich.

Die Kontaktdaten des lokalen Datenschutzbeauftragten lauten:

Dipl.-Ing. Andrei V. Gherghel

Universitätsklinikum Frankfurt

Theodor-Stern-Kai 7

60590 Frankfurt

Tel. : +49 69 / 6301-5745

Fax : +49 69 / 6301-83779

Es besteht, falls der Datenschutz verletzt wird, ein Beschwerderecht bei einer Datenschutz-Aufsichtsbehörde oder dem lokalen Datenschutzbeauftragten (s.o.):

Prof. Dr. Michael Ronellenfitsch

Gustav-Stresemann-Ring 1

65189 Wiesbaden

Tel.: +49 611/1408-0

Fax.: +49 611/1408-611

Die Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit

Husarenstr. 30

53117 Bonn

Tel: +49 (0)228-997799-0

Fax: +49 (0)228-997799-5550

Sie haben das Recht, Auskunft einschließlich unentgeltlich überlassener Kopie über die Sie betreffenden personenbezogenen Daten zu erhalten sowie ggf. deren Berichtigung oder Löschung zu verlangen.

Die obigen Informationen wurden zur Kenntnis genommen:

---

Datum

Unterschrift des Studienteilnehmers

**8.2. Stammdatenblatt**

Name, Vorname:	
Telefonnummer:	
Email-Adresse:	
Studienfach, Semester:	
Geburtstag:	
Alter:	
Größe:	
Gewicht:	

Muttersprache:	
Vor dem 6. Lebensjahr erlernte Zweitsprache:	
Sonstige Sprachkenntnisse:	
Polnische Sprachkenntnisse:	Ja                      Nein
Slawische Sprachkenntnisse:	Ja                      Nein
Musikinstrument:	Ja                      Nein
Wenn ja, welche/s und seit wann (in zeitlicher Reihenfolge):	

	Ja	Nein
Raucher/in:		
Hormonelle Verhütung:		
Rechtshänder/in:		
Medikamenteneinnahme (Ausnahme Pille)		

Für das Experiment ist es notwendig, dass Sie an 3 Tagen in das Institut für Medizinische Psychologie, Heinrich-Hoffmann-Straße 12 (Niederrad), kommen. Dafür müssen die zwei letzten Termine jeweils zur gleichen Uhrzeit an einem Montag und einem Mittwochnachmittag stattfinden. Hierbei würden folgende Termine passen:

Casting Termin	Datum __.__.____	Uhrzeit:
Lernsession 1:	Datum __.__.____	Uhrzeit:
Lernsession 2:	Datum __.__.____	Uhrzeit:

Ich bin sportlich aktiv	Ja	Nein
Wenn ja, welchen Sport und wie oft?		
Meine nächsten Klausuren/Prüfungen sind am:		

Ich bin damit einverstanden, dass meine personenbezogenen Daten in digitaler Form gespeichert und für wissenschaftliche Zwecke weiterverarbeitet werden. Es werden keine Daten an Dritte weitergegeben.

Dieses Einverständnis kann von mir jederzeit schriftlich an das **Institut für Medizinische Psychologie (IMP)**, Heinrich-Hoffmann-Str. 10, 60528 Frankfurt am Main, widerrufen werden.

Datum, Ort: \_\_\_\_\_ Unterschrift: \_\_\_\_\_

### 8.3. Fragebogen zur Sportlichen Belastbarkeit

#### LEWALK II Fragebogen zur sportlichen Belastbarkeit

Ich habe Kenntnis davon, dass die durchgeführte Studie aufgrund des körperlichen Einsatzes während des Gehens belastend sein können (bis ca. 65% der maximalen Herzrate).

**Das 30 minütige Gehen kann sowohl das Herz-Kreislauf-System als auch den Bewegungsapparat akut belasten**, z.B. durch Anstieg der Herzfrequenz und des Blutdrucks, Belastung der Gelenke, Sehnen, Bänder, Muskulatur, Bandscheiben u.a.

**Sollten Sie sich nicht sicher sein, diesen Belastungen standhalten zu können, empfehlen wir Ihnen dringend, sich sportärztlich untersuchen zu lassen. Insbesondere, wenn Sie eine der unter Punkt 1-12 genannten Fragen mit „Ja“ beantwortet haben sollten.**

Dieser Fragebogen ist eine Hilfestellung, um eine eingeschränkte sportliche Belastbarkeit zu erkennen. Beantworten Sie bitte die nachfolgenden Fragen nach bestem Wissen und Gewissen.

1. Lagen oder liegen Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems vor (z.B. Arteriosklerose, Erkrankungen der Herzkranzgefäße, Bluthochdruck, Herzinfarkt)?	
<input type="checkbox"/> Ja	wenn ja, welche?
<input type="checkbox"/> Nein	
2. Bestanden in der Vergangenheit jemals folgende Beschwerden: (bitte ein x an entsprechender Stelle einfügen)	
<input type="checkbox"/> Bewusstlosigkeit	<input type="checkbox"/> Brustschmerz
<input type="checkbox"/> Ohnmachtzustände	<input type="checkbox"/> Luftnot
<input type="checkbox"/> Schwindel	<input type="checkbox"/> Herzstolpern
<input type="checkbox"/> Sehstörungen	<input type="checkbox"/> Herzaussetzer oder Herzrasen
3. Bestehen oder bestanden chronische Erkrankungen (z.B. Diabetes, Asthma, Epilepsie, Rheuma, Bluterkrankheit)?	
<input type="checkbox"/> Ja	wenn ja, welche?
<input type="checkbox"/> Nein	
4. Leiden Sie an einer Atemwegserkrankung oder haben Sie Probleme mit der Atmung in Ruhe oder bei körperlicher Belastung?	
<input type="checkbox"/> Ja	wenn ja, welche
<input type="checkbox"/> Nein	
5. Haben oder hatten Sie Beschwerden/Verletzungen am Bewegungsapparat (z.B. Gelenke, Wirbelsäule)?	
<input type="checkbox"/> Ja	Wenn ja, wo?
<input type="checkbox"/> Nein	
6. Nehmen Sie regelmäßig Medikamente ein?	
<input type="checkbox"/> Ja	wenn ja, welche?
<input type="checkbox"/> Nein	
7. Haben oder hatten Sie in den letzten 2 Monaten einen schweren Infekt/Erkältung/Grippe?	
<input type="checkbox"/> Ja	Wenn ja, wann
<input type="checkbox"/> Nein	und was?
8. Reagieren Sie mit Übelkeit, Schwindel u.a. auf Blutabnahmen?	
<input type="checkbox"/> Ja	
<input type="checkbox"/> Nein	
9. Hatten Sie in den letzten 5 Jahren ambulante Operationen oder stationäre Krankenhausaufenthalte? Wann und welche?	
<input type="checkbox"/> Ja	Wenn ja, wann
<input type="checkbox"/> Nein	und welche?
10. Haben Sie im letzten halben Jahr längere krankheitsbedingte Trainingspausen	

Anhang

(> 3 Wochen) eingelegt? Wann, weshalb und wie lange?		
<input type="checkbox"/> Ja	Wenn ja, wann,	
<input type="checkbox"/> Nein	weshalb und wie lange?	
11. Bei Frauen: Sind Sie schwanger?		
<input type="checkbox"/> Ja		
<input type="checkbox"/> Nein.		
12. Sonstige Erkrankungen/Verletzungen/Beschwerden?		
<input type="checkbox"/> Ja	wenn ja,	
<input type="checkbox"/> Nein	welche?	

**Bei mir besteht keine Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Ich habe keine Bedenken gegen die Durchführung von sportmotorischen Tests mit maximaler Belastung des Herz-Kreislauf-Systems oder des Bewegungsapparates.**

Ich versichere, dass meine Angaben vollständig und richtig sind. Ich bin darüber informiert, dass die im Laufe des durchgeführten Experiments gewonnenen Versuchsdaten in **anonymisierter Form** für wissenschaftliche Auswertungen und Veröffentlichungen verwendet wird.

Frankfurt, den

Unterschrift .....

Ich bin damit einverstanden, dass meine personenbezogenen Daten in digitaler Form gespeichert und für wissenschaftliche Zwecke weiterverarbeitet werden. Es werden keine Daten an Dritte weitergegeben. Dieses Einverständnis kann von mir jederzeit schriftlich an das Institut für **Medizinische Psychologie (IMP)**, Heinrich-Hoffmann-Str. 10, 60528 Frankfurt am Main, widerrufen werden.

Frankfurt, den

Unterschrift .....



**8.4. Fragebogen zur präexperimentellen Sitzung**

Bitte beantworten Sie die Fragen bezogen auf das **heutige Casting**:

	<b>Trifft nicht zu</b>	<b>Trifft eher nicht zu</b>	<b>Weiß nicht</b>	<b>Trifft eher zu</b>	<b>Trifft zu</b>
Ich war in dieser Sitzung motiviert.					
Ich konnte mich gut auf die Vokabeln konzentrieren.					
Ich fühle mich heute schlapp.					
Ich stehe zurzeit privat oder im Studium unter starkem Stress.					
Ich war während des Zuhörens abgelenkt.					
Mein Studium ist gerade sehr lernaufwendig.					
Das Lernen der Vokabeln fiel mir leicht.					
Ich habe in der letzten Nacht qualitativ gut geschlafen.					

Datum, Ort \_\_\_\_\_ Unterschrift \_\_\_\_\_

**8.5. Pseudovokabeltest**

Bitte schreiben Sie für jede vorgespielte Vokabel das passende deutsche Wort auf, sofern Sie sich daran erinnern können.

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. \_\_\_\_\_
9. \_\_\_\_\_
10. \_\_\_\_\_
11. \_\_\_\_\_
12. \_\_\_\_\_
13. \_\_\_\_\_
14. \_\_\_\_\_
15. \_\_\_\_\_
16. \_\_\_\_\_
17. \_\_\_\_\_
18. \_\_\_\_\_
19. \_\_\_\_\_
20. \_\_\_\_\_
21. \_\_\_\_\_
22. \_\_\_\_\_
23. \_\_\_\_\_
24. \_\_\_\_\_
25. \_\_\_\_\_
26. \_\_\_\_\_
27. \_\_\_\_\_
28. \_\_\_\_\_
29. \_\_\_\_\_
30. \_\_\_\_\_
31. \_\_\_\_\_
32. \_\_\_\_\_
33. \_\_\_\_\_
34. \_\_\_\_\_
35. \_\_\_\_\_
36. \_\_\_\_\_
37. \_\_\_\_\_
38. \_\_\_\_\_
39. \_\_\_\_\_
40. \_\_\_\_\_

Punkte: \_\_\_/40

**8.6. Stimmungsfragebogen**

Bitte beantworten Sie die Fragen bezogen auf die **heutige Sitzung**:

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Weiß nicht	Trifft eher zu	Trifft zu
Ich war in dieser Sitzung motiviert.					
Ich konnte mich gut auf die Vokabeln konzentrieren.					
Das Training war für mich körperlich anstrengend.					
Es fiel mir leicht die Geschwindigkeit konstant zu halten.					
Ich fühle mich heute schlapp.					
Ich stehe zurzeit privat oder im Studium unter starkem Stress.					
Ich war während des Fahrradfahrens abgelenkt.					
Mein Studium ist gerade sehr lernaufwendig.					
Das Lernen der Vokabeln fiel mir leicht.					
Ich habe in der letzten Nacht qualitativ gut geschlafen.					

Die folgenden Fragen beziehen sich auf die **letzten 24 Stunden**:

	Dauer in Stunden
Musik gehört:	
Sport getrieben:	
Schlaf:	

	Menge
Rauchen:	
Koffein:	
Alkohol:	

Drogen/-Medikamenteneinnahme (in den letzten 24 h)	
Erster Tag der letzten Menstruation	
Hormonelle Verhütung	

Datum, Ort \_\_\_\_\_

Unterschrift \_\_\_\_\_

## 8.7. Wortliste B

N	Deutsch	Polnisch
1	glänzen	lśnić
2	Eiche	dąb
3	forschen	badać
4	betrachten	przyglądać
5	Bild	obraz
6	Feder	pióro
7	brennen	palić
8	wählen	wybierać
9	Stift	długopis
10	Mond	księżyc
11	entdecken	odkrywać
12	entfernen	usuwać
13	fliegen	latać
14	Reise	podróż
15	Straße	ulica
16	Pflanze	roślina
17	frieren	zamarzać
18	Darm	jelito
19	bemühen	starać
20	überlegen	zastanawiać
21	Tüte	torebka
22	Messer	nóż
23	helfen	pomagać
24	rächen	mścić
25	Seife	mydło
26	Bett	łóżko
27	duzen	tykać
28	setzen	sadzać
29	Geruch	zapach
30	Elefant	słoń
31	Amt	urząd
32	übertreiben	przesadzać
33	leihen	pożyczać
34	zeigen	pokazywać
35	Kaninchen	królik
36	Stuhl	krzesło
37	auftauchen	pojawiać
38	Familie	rodzina
39	gestalten	wznosić
40	Kern	ziarnko

## 8.8. Wortliste C

N	Deutsch	Polnisch
1	warten	czekać
2	Vorhang	zasłona
3	sterben	umierać
4	Kirche	kościół
5	abbiegen	skręcać
6	Mütze	czapka
7	Seite	strona
8	sammeln	zbierać
9	Kopf	głowa
10	Getränk	napój
11	erreichen	osiągać
12	unterhalten	rozmawiać
13	Tür	drzwi
14	Rucksack	plecak
15	zaubern	czarować
16	führen	prowadzić
17	Gehirn	mózg
18	Knoblauch	czosnek
19	bluten	krwawić
20	Geschirr	naczynia
21	Geige	skrzypce
22	Winter	zima
23	Tanne	jodła
24	beten	modlić
25	schwitzen	pocić
26	Glas	szklanka
27	beglaubigen	uwierzytelniać
28	üben	ćwiczyć
29	befehlen	rozkazywać
30	abwägen	rozważać
31	Fuss	stopa
32	Leber	wątroba
33	wundern	dziwić
34	erbrechen	wymiotować
35	loben	chwalić
36	bearbeiten	opracowywać
37	See	jezioro
38	Faust	pięść
39	Bügel	żelazko
40	entziffern	rozszyfrować

## 9. Schriftliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Dissertation mit dem Titel

### **Zum Einfluss von Tonhöhenwahrnehmungspräferenz auf verbales Lernen unter Bewegung**

in dem Institut für Medizinische Psychologie unter Betreuung und Anleitung von Priv.-Doz. Dr. phil. Maren Schmidt-Kassow ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

---

(Ort, Datum)

---

(Unterschrift)