

Der Einfluss von Bewegung auf die Zeitwahrnehmung und das Rhythmusgefühl

Bachelorarbeit

Im Studiengang Bewegungswissenschaft

Fakultät für Erziehungswissenschaft, Psychologie und
Bewegungswissenschaft
Universität Hamburg

Vorgelegt von Andreas Rohde
Matrikelnummer 6259182

Erstgutachter: Prof. Dr. Klaus Mattes
Zweitgutachterin: Dr. phil. Nina Schaffert

Hamburg, 7. September 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
2	Theorie	3
2.1	Definitionen.....	3
2.2	Grundlagen der menschlichen Zeitwahrnehmung.....	4
2.3	Musikalische Relevanz der Zeitpsychologie.....	6
2.4	Eigenes Zeitwahrnehmungsmodell	8
2.5	Hypothesen	10
3	Methode	11
3.1	Versuchsaufbau.....	11
3.2	Testinhalte	12
3.3	Stichprobe	15
3.4	Durchführung.....	15
4	Ergebnisse	16
4.1	Ermittelte Kennwerte	17
4.2	Durchschnitt der Abweichung.....	18
4.3	Durchschnittlicher Betrag der Abweichung	19
4.4	Durchschnittliche persönliche Streuung	20
4.5	Standardabweichung.....	21
4.6	Persönliche Aussagen der Probanden	22
4.6.1	Bewertung der Schwierigkeit von Test 1	22
4.6.2	Strategien der Zeitwahrnehmung.....	23
4.6.3	Weitere Auffälligkeiten und subjektive Einschätzungen	24
5	Diskussion	25
5.1	Methodenkritik	25
5.2	Zur durchschnittlichen Abweichung vom Zielton	25
5.3	Zur Richtung der Abweichung	27
5.4	Zur persönlichen Streuung	28
5.5	Fazit.....	28
5.5.1	Praktische Anwendbarkeit der Testergebnisse	29
5.6	Ausblick	30
6	Literaturverzeichnis.....	31
7	Anhang	34
7.1	Fragebogen zur Untersuchung.....	34
7.2	Gesamte Testergebnisse	36
7.3	Ergebnisse der statistischen Auswertung (SPSS)	40
7.3.1	Zum durchschnitt der Abweichung:.....	40
7.3.2	Zum durchschnittlichen Betrag der Abweichung	42
7.3.3	Zur durchschnittlichen persönlichen Streuung.....	44

1 Einleitung

Von Personen, die ein Musikinstrument spielen, wird gemeinhin erwartet, dass sie ein gutes Gefühl für Zeit besitzen, um ihr Spiel gleichmäßig zu gestalten. Denn gerade in der „westlichen Welt“ wird bei Musik auf diese Gleichmäßigkeit besonderen Wert gelegt (Wang, 2008).

Diese Fähigkeit gewinnt besonders in Musikstilen Bedeutung, in denen sogar über die gesamte Länge eines Stückes (auch unabhängig von z.B. der Lautstärke) das gleiche Tempo beibehalten wird (also vor allem in der Pop-, Rock und größtenteils auch in der Jazz-Musik).

Um diese Anforderung erfüllen zu können bedarf es ständigen Übens mit Hilfe eines Metronoms.

Im musikalischen Kontext wird als Synonym für den Begriff *Rhythmusgefühl* oft das englische Wort „timing“ (manchmal auch nur „time“) verwendet. Damit wird die Fähigkeit beschrieben, ein Tempo eines Musikstückes selbstständig zu halten. Diese Begriffsverwendung deutet bereits darauf hin, dass diese Fähigkeit letztendlich auf einer korrekten Einschätzung von Zeit, bzw. Abständen zwischen Ereignissen beruht. In der Bewegungswissenschaft beschreibt *Timing* „die zeitlich kontrollierte Steuerung von Motorik“ (Wittmann, Kagerer & Pöppel, 1999, S. 877). Es ist damit quasi die Fähigkeit, zur richtigen Zeit am richtigen Ort zu sein.

Es ist jedoch ein bekanntes Phänomen, dass je nach Situation Zeitabstände interindividuell unterschiedlich wahrgenommen werden. Besonders „leere“, unausgefüllte Zeit ist sehr schwer wahrzunehmen. David Epstein meint hierzu, dass Zeit nur dann überhaupt wahrnehmbar ist, wenn sie „abgegrenzt“ ist, sich also „Markierungen“ in der Zeit befinden, an denen man sich orientieren kann (Epstein 1992, S. 349).

Aus diesem Grund ist es eine besondere Herausforderung für Musiker, wenn sie mit einer Pause in einem Musikstück konfrontiert werden. In diesem Fall ist keine solche Markierung in der Zeit mehr vorhanden, weshalb das Halten des Taktes noch schwieriger fällt.

Das Metrum eines Musikstückes, das nach Altenmüller die „zugrunde liegende Pulsation“ (Altenmüller, 2000, S. 60) darstellt und als wichtigste zeitliche Orientierung in der Musik dient, muss in diesem Fall weiterhin in Erscheinung treten. Es dient dadurch selber der Markierung der Zeit und der Erhaltung seiner selbst.

Es stellt sich nun die Frage, wie Menschen dies am besten erreichen können und welche Strategien empfohlen werden sollen, um das Metrum erfahrbar zu machen und präzise zu halten. Eine vielverwendete Strategie, die oft bei Musikern beobachtet werden kann, ist das Bewegen eines Körperteils im Metrum (z.B. Tippen mit dem Fuß oder Nicken mit dem Kopf).

Diese Methode der gleichmäßigen Bewegung soll in der vorliegenden Arbeit auf ihre Tauglichkeit untersucht und mit weiteren verglichen werden.

Dazu werden zuerst Ergebnisse aus der Zeitpsychologie, sowie Musikwissenschaft herangezogen. Dabei wird besonderes Augenmerk auf den Einfluss von Bewegung auf Zeit- und Rhythmusgefühl gelegt und in diesem Zusammenhang ein eigenes Modell zur Zeitwahrnehmung vorgestellt.

Im darauf folgenden Abschnitt werden zudem die Ergebnisse einer eigenen empirischen Untersuchung an musikalischen Laien dargelegt, in der das eigene Modell überprüft werden sollte. Darin wurden die Strategien des inneren Zählens, expliziten (also lauten) Zählens und des gleichmäßigen rhythmischen Bewegens auf ihren Einfluss auf die Genauigkeit der Zeitschätzung, sowie das Rhythmusgefühl untersucht.

Die Ergebnisse werden abschließend diskutiert und in den Kontext der bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse eingeordnet.

Im Folgenden werden zunächst die wissenschaftlichen Grundlagen betrachtet, die den Ausgangspunkt dieser Untersuchung bilden.

2 Theorie

2.1 Definitionen

Wie erwähnt, beinhaltet die englische Entsprechung des Wortes *Rhythmusgefühl* bereits den Aspekt der Zeit. So verstehen wir auch im Deutschen unter *Rhythmus*, zumindest nach der musikalischen Definition, „die zeitlichen Verhältnisse aufeinander folgender Töne“ (Altenmüller 2000, S.60). Es ist jedoch wichtig, zu erwähnen, dass der Begriff *Rhythmus* in Sport- und Musikwissenschaft verschieden belegt ist. So findet sich im Sportwissenschaftlichen Lexikon folgende Beschreibung: „Rhythmus ist ein zeitlich sehr regelmäßiger und der Form nach sehr gleichartig sich wiederholender Vorgang.“ (Röthig 1992 S. 384).

Der Begriff *Rhythmus*, wie er hier verwendet wird (sowie teilweise auch das Wort *Takt*) entspricht also aufgrund der Eigenschaft der Gleichmäßigkeit eher der musikalischen Definition von *Metrum*.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit zyklischen Bewegungen, die einem solchen Metrum folgen. Zur einfacheren Verständlichkeit wird jedoch weiterhin der Begriff *rhythmisch* verwendet, um diese Gleichmäßigkeit zu beschreiben. Es sei lediglich auf die verschiedenen Bedeutungen dieses Begriffs in den unterschiedlichen Fachrichtungen hingewiesen.

Zudem werden zur besseren Verständlichkeit die Begriffe *Über-* und *Unterschätzen*, wie in der Zeitpsychologie üblich verwendet. Hier steht die Unterschätzung dafür, dass eine Zeitperiode als kürzer beurteilt wird, als sie in Wirklichkeit ist. Überschätzung hingegen bedeutet, dass die Dauer als länger eingestuft wird.

2.2 Grundlagen der menschlichen Zeitwahrnehmung

Zur Beschreibung der menschlichen Zeitwahrnehmung existieren viele verschiedene Ansätze, aus unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen, die hier nicht alle Erwähnung finden können. Das Ziel dieses Abschnittes ist es daher, die für diese Arbeit relevanten Aspekte aus der Zeitpsychologie, Musikwissenschaft und Bewegungswissenschaft herauszuarbeiten, ohne dabei einen vollständigen Überblick über diese Themenfelder bieten zu wollen.

Ein zentrales Phänomen ist, dass meistens eine Diskrepanz zwischen der subjektiv wahrgenommenen und der objektiv messbaren „Realzeit“ (Müsebeck, 1997, S. 15) oder physikalischen Zeit festzustellen ist. Zudem schwankt diese Wahrnehmung im Sinne von Über- und Unterschätzung einer Zeitspanne stark, je nach Situation und Ereignisdichte innerhalb dieser Zeit: „Physikalisch gleich lange Zeitperioden werden als unterschiedlich lang wahrgenommen, je nachdem, was und wie viel sich in ihnen ereignet ...“ (Metzner, 1999, S. 15). Die Zeit vergeht für uns also mal schneller und mal langsamer, je nachdem, was gerade passiert und was wir selber tun.

Diese Diskrepanz macht es gerade für Musiker schwer, unabhängig davon, ob und was sie in einem Musikstück spielen, dessen Tempo gleichmäßig zu halten. Besonders bei der Absenz einer externen Orientierungshilfe, wie z.B. eines Metronoms, gewinnt ein stabiles Rhythmusgefühl besonders an Bedeutung.

Eine weitere Besonderheit der menschlichen Zeitwahrnehmung ist diejenige der „subjektiven Gegenwart“.

Zeit erscheint als ständiger Fluss von Zukunft zu Vergangenheit. Die „Gegenwart“ ist also eigentlich nur ein Punkt in der Zeit, ohne jegliche Ausdehnung. Dennoch hat derjenige Moment, den wir als Gegenwart Empfinden in unserer Wahrnehmung eine solche Ausdehnung. Diese liegt bei etwa drei Sekunden und bildet damit unsere „zeitliche Arbeitsplattform“ (Pöppel, 1996, S. 625). Innerhalb dieser Zeitspanne nehmen wir Ereignisse als Zusammenhängend wahr.

Stark diskutiert wird in der Wissenschaft die Existenz und die Lokalisation einer „inneren Uhr“, die für die Zeitverarbeitung im menschlichen Organismus zuständig ist. Hiermit ist nicht diejenige Instanz gemeint, die oft auch als *Biologische Uhr* bezeichnet wird und sich auf Makrorhythmen, wie den Schlaf- und Wach-Wechsel oder Paarungszeiten bezieht. Diese *Circadianen*¹ und *Infradianen*² *Rhythmen* sind bereits sehr gut untersuchte Phänomene (Darlington, Wager-Smith, Ceriani, Staknis, Gekakis, Steeves, Weitz, Takaahsi, & Kay, 1998). In dieser Arbeit soll stattdessen die Wahrnehmung von Dauern im Sekundenbereich und ein entsprechender körpereigener Uhrmechanismus diskutiert werden.

¹ Rhythmen mit einer Zykluslänge von 24 Stunden

² Rhythmen mit einer Zykluslänge von mehr als 24 Stunden

Will man das Thema der inneren Uhr betrachten, sollte man sich zuerst mit der genauen Definition des Begriffes *Uhr* auseinandersetzen. Das grundlegende Prinzip einer Uhr ist, dass gleichmäßig wiederkehrende „Ereignisse beobachtet und registriert werden“ (Blaschke, 2009, S. 9). So bildet z.B. eine stabile zyklische Bewegung bereits eine solche Uhr (Infeld & Einstein, 1938; Schöner, 2001). Eine derartige Bewegung kann z.B. die Schwingung eines Pendels sein, angetrieben durch ein Gewicht. Diese regelmäßigen Ereignisse dienen also als Zählleinheit für die Zeit und werden multipliziert oder dividiert, um Dauern genau angeben zu können.

Eine innere Uhr wäre demnach z.B.

„[ein] Schwingungsmechanismus im Gehirn, der mit relativ konstanter Frequenz Einheiten erzeugt, die im Gedächtnis gespeichert und in bestimmten Hirnarealen verrechnet werden und die uns die zeitliche Orientierung in der Umwelt ermöglichen.“ (Metzner, 1999).

Es existieren viele verschiedene theoretische Ansätze zur Lokalisation und Arbeitsweise einer solchen physiologischen inneren Uhr. Manche Autoren gehen von einem zentralen Zeitgeber aus, an anderer Stelle werden periphere Ansätze vertreten, also Netzwerke aus verschiedenen körpereigenen Systemen, die letztendlich gemeinsam die Zeitwahrnehmung bilden.

Bis heute konnte jedoch noch keine einzelne „biologische Struktur“ ausfindig gemacht werden, die für die Zeitverarbeitung im Millisekunden- bis Stundenbereich verantwortlich ist (Blaschke, 2009, S. 13). Dies verstärkt die Vermutung, dass die menschliche Zeitwahrnehmung nicht auf einem „Zeitsinn-Organ“ alleine basiert (Ivry & Spencer, 2004; Mark, 2003), sondern vielmehr selbst produziert werden muss: „Zeitwahrnehmung wird geprägt durch Emotionen und Kognitionen, sie wird daher eher konstruiert als einfach nur erfahren.“ (Blaschke, 2009, S.8).

Dabei werden teilweise Systeme herangezogen, die nicht ausschließlich für die Verarbeitung von Zeitinformationen zuständig sind. Somit entsteht diese als eine Art „Nebenprodukt“ (ebd., S. 13). Es existieren z.B. empirische Hinweise dafür, dass die Wahrnehmung von Zeit in denjenigen Hirnregionen verarbeitet wird, die sonst für die zeitliche und koordinative Planung von *Bewegungen* zuständig sind (Schubotz, Friederici & von Cramon, 2000).

In der Psychologie werden verschiedene Modelle für die Funktionsweise der inneren Uhr diskutiert. Nach Matell und Meck (2000) wird im Wesentlichen zwischen drei Typen unterschieden: Die Impulsgeber-Zähler- („Pacemaker-Accumulator“) Modelle, die Zerfalls- („Process-Decay“) Modelle und die oszillatorbasierten („Oscillator/Coincidence-Detection“) Modelle (Blaschke, 2009, S. 22). Diese sollen jedoch hier nicht weiter erörtert werden.

In dieser Arbeit soll ein eigener kognitiver Ansatz verfolgt werden, der als „wahrnehmungsbasiert“ zu bezeichnen ist.

So wird hier hypothetisiert, dass aufgrund der Absenz eines einzelnen physiologischen Sinnessystems für Zeit, also eines zentralen Zeit-Organs, andere Systeme zur Wahrnehmung von Dauern herangezogen werden müssen (Großbach, 2004; Pöppel, 2000). Diese Möglichkeit wurde oben bereits erwähnt. Die zentrale Hypothese ist hier, dass, falls es körpereigene Systeme gibt, die für die Verarbeitung von Zeit zuständig sind (eine innere Uhr), diese nur sehr ungenau arbeiten, wenn sie keinerlei Information aus der Umwelt erhalten. Dieser Effekt schlägt sich auch in der subjektiven Wahrnehmung von Zeit nieder:

„Will ich das betrachten, was man Zeit oder Zeiterleben nennt, so muß ich feststellen, daß nichts auszumachen ist, was dem entspricht. Zeit scheint es nur insofern zu geben, als es Objekte gibt, deren *Veränderung* ich mir bewußt werden kann.“ (Metzner, 1999, S. 30)

Zeit kann demzufolge nur über Zustandsänderungen in der Umwelt erfahrbar gemacht werden. Ohne diese würde Zeit in unserer Wahrnehmung nicht in Erscheinung treten. Solche Veränderungen nehmen wir über unsere Sinnesorgane wahr, durch Sehen, Hören, Fühlen, Schmecken und Riechen, sowie die Tiefensinne (kinästhetisch, vestibulär, propriozeptiv). So ist es uns möglich, über diese Sinne und über die wahrgenommenen Zustandsänderungen zu folgern, wie viel Zeit vergangen ist. Zeit erscheint daher nicht als Sinneswahrnehmung selbst, sondern als „Ableitung“ aus anderen Sinnen (Gibbons 2003, Großbach 2004).

Zustandsänderungen entstehen jedoch nur durch Bewegung, sei es Bewegung von Dingen, die wir wahrnehmen oder eigene Bewegung, die unser Verhältnis zur Umwelt verändert.

„Das sich im Raum zu etwas verhalten [...] setzt Bewegung und damit Veränderung voraus. Veränderung jedoch impliziert Wahrnehmen derselben, das Vorher zum Jetzt vergleichen (messen) zu können, das heißt Zeiterleben.“ (Wyss, 1973 S. 340).

Auch der Entwicklungspsychologe Jean Piaget schreibt: „Zeit ist physikalisch und psychisch die Koordination der Bewegungen. Zeit tritt erst mit der Geschwindigkeit in Erscheinung“ (Piaget, 1974, S. 47).

Bewegung ist also eine zentrale Voraussetzung für Veränderung und deren Wahrnehmung und darüber auch derjenigen von Zeit. Anette Naumann führt diese Ansicht konsequenter fort: „Zeit wird erfahrbar, wo Bewegung stattfindet.“ (Naumann, 1998, S.2).

2.3 *Musikalische Relevanz der Zeitpsychologie*

Im Folgenden sollen die dargestellten Erkenntnisse nun auf das Thema des Rhythmus' übertragen werden.

Da das Metrum die grundlegende rhythmische Orientierung bildet, werden Musikstücke meist in diesem angezählt. Es muss jedoch vorher definiert werden. Im Viervierteltakt bilden meistens die Viertelnoten das Metrum. Im Sechachteltakt

liegt es gemeinhin auf den punktierten Viertelnoten³ und bei einem Stück in *alla breve*⁴ auf den halben Noten.

Das Tempo eines Stückes wird meist in Schlägen pro Minute, bzw. „beats per minute“ (bpm) gemessen⁵.

Die meisten mechanischen Metronome decken dabei einen Bereich von 40 bis 208 bpm ab, digitale meist 30 bis 250 bpm. Ein Tempo von 30 oder weniger Schlägen pro Minute als grundlegender Puls wird in der Musik nur selten verwendet.

Die Fähigkeit, eigene Bewegung mit einem äußeren Stimulus (wie z.B. einem Metronom) zu synchronisieren wird als sensomotorische Synchronisation (SMS) bezeichnet (Repp, 2005). Mates et al. und Engström beschrieben, dass die niedrigste Frequenz, bei der solch eine Synchronisation möglich ist, bei etwa 2 s liegt (Mates, Radil, Müller, & Pöppel, 1994; Engström, Kelso & Holroyd, 1996). Ist die Spanne zwischen den Stimuli größer, wird es schwieriger, die kommenden zu antizipieren und sie allgemein als Fluss wahrzunehmen. Diese Spanne von 2 s entspricht genau einem Tempo von 30 bpm. Dies ist vermutlich ein Grund dafür, dass niedrigere Geschwindigkeiten nur äußerst selten verwendet werden und herkömmliche Metronome keine niedrigere Einstellung haben.

Es ist allerdings wahrscheinlich, dass diese Zeitspanne von 2 s durch mentale Einteilung (engl. *subdivision*) verlängert werden kann (Repp, 2006).

An anderer Stelle wurde eine Dauer von 1,8 s als maximale Spanne, bei der SMS noch möglich ist, beschrieben. Diese wurde mit der zeitlichen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und der Dauer der subjektiven Gegenwart in Verbindung gebracht (Pöppel, 1997; Repp, 2005; Szelag, von Steinbüchel, Reiser, de Langen, & Pöppel, 1996; Wittmann & Pöppel, 1999/2000). Zwar beträgt letztere nach Pöppel (1996, s.o.) etwa 3 s, im Zusammenhang mit SMS ist es aber möglich, dass ein engerer zeitlicher Fokus nötig ist, um gleichmäßige Rhythmen als Fluss wahrzunehmen.

Die Intervalllänge von 1,8 s entspricht einem Tempo von ca. 33 bpm.

Wird ein Musiker mit einem Stück konfrontiert, dessen Tempo darunter liegt, ist es daher ratsam, die zugrunde liegende Pulsation zu erhöhen, z.B. von Viertel- auf Achtelnoten zu verdoppeln. Somit kann das Metrum besser als Fluss

³ Punktierte Noten besitzen die 1,5-fache Länge ihres eigentlichen Notenwertes. Ein Metrum im Tempo der punktierten Viertelnoten ergäbe im Sechachteltakt somit Taktschwerpunkte auf dem ersten und vierten Achtel eines Taktes. Zähle: *Eins*, zwei, drei, *vier*, fünf sechs, *eins*, ...

⁴ *Alla breve* ist die Bezeichnung für einen 2/2-Takt. Es enthält die gleichen Notenwerte wie der 4/4-Takt, die Taktschwerpunkte liegen dabei jedoch auf den Halben Noten und nicht auf den Viertelnoten. Diese Taktart wird oft in hohen Tempi verwendet.

⁵ In älteren Partituren lässt sich teilweise eine Tempoangabe in *Takten pro Minute* finden.

wahrgenommen werden, da die Intervalllängen zwischen den einzelnen Schlägen unter 1,8 s liegen.

Dies zeigt bereits, dass die Wahrnehmung von Rhythmus in derjenigen von Zeit eingebettet zu sein scheint.

2.4 *Eigenes Zeitwahrnehmungsmodell*

Bewegung im Allgemeinen gilt, wie oben erörtert, als ein wichtiges Hilfsmittel zur Wahrnehmung von Zeit. In diesem Abschnitt soll speziell die eigene, selbst produzierte Bewegung betrachtet werden.

Es stellt sich hier also die Frage, wie *Körper*-Bewegung dabei helfen kann, eine Zeitspanne so korrekt wie möglich einzuschätzen und/oder zu reproduzieren. Da Rhythmen letztendlich organisierte Ereignisse im Verlauf der Zeit darstellen, soll diese Frage erweitert werden: Kann eigene Bewegung dabei helfen, das Metrum eines Musikstückes ohne externe Hilfe aufrecht zu erhalten?

Zur Beantwortung dieser Frage wird hier ein eigenes Modell zur Zeitwahrnehmung erörtert, das anhand der Ergebnisse einer eigenen Untersuchung bewertet werden soll.

Das hier vorgeschlagene Modell zur Zeitwahrnehmung basiert darauf, das oben erläuterte „Uhr-Prinzip“ (Zeitmessung auf der Basis sich gleichmäßig wiederholender Ereignisse) auf *menschliche* Bewegung zu übertragen.

Gleichförmige zyklische Extremitäten-Bewegungen des Menschen sind in ihrem Verlauf meist näherungsweise sinusförmig. Das bedeutet, dass neben kreisförmigen auch Vor- und Zurück-Bewegungen meistens einen prinzipiell gleichen Bewegungsablauf und gleiche Bewegungsgeschwindigkeit in den zwei Phasen haben (Balasubramaniam, Wing & Daffertshofer, 2004). So bildet der Bewegungsapparat damit selbst ein sogenanntes „Schwingsystem“ (Blaschke, 2009, S.9), das gleichmäßige Bewegungen produziert. Beispiele hierfür wären gleichmäßiges Nicken mit dem Kopf oder Tappen mit der Hand. Dieses Schwingsystem dient damit theoretisch als Grundlage für eine gleichmäßige Einteilung der Zeit, also als eine Uhr (Shaffer, 1982).

Nun muss diese justiert werden. Das bedeutet, dass die Bewegungsfrequenz festgelegt wird. Oben wurde bereits erläutert, dass das Metrum in einem Musikstück eine gleichbleibende Größe ist, die als zeitliche Orientierung dient. Aus diesem Grund liegt es nahe, die Zykluslänge der Bewegung auf das Tempo des Metrums einzustellen. Dafür muss ein bestimmter „Punkt“ in der Bewegung als „Metrumsschlag“ definiert werden.

Bevor diese Bewegung eigenständig weiterläuft und ihrerseits als zeitliche Referenz dient, muss sie zuerst mit einem externen „Metrumgeber“ synchronisiert werden.

Die von Epstein erwähnten Markierungen in der Zeit, die helfen, diese wahrzunehmen, sind bei dieser Uhr identisch mit dem Metrum, das es zu halten gilt. Sie ist somit quasi selbstreferenziell.

Schwankungen in der Exaktheit menschlicher Bewegungen resultieren jedoch zwangsläufig in einer gewissen Ungenauigkeit dieses Zeitmessers: „Eine Uhr ist dann ungenau, wenn sie die Ereignisse unregelmäßig produziert und fehlerhaft summiert.“ (Blaschke, 2009, S. 9).

Aus diesem Grund gilt es, Korrektive heranzuziehen, um die zyklische Bewegung möglichst stabil beizubehalten.

Wie oben beschrieben, erscheint uns Zeit nicht als eine an sich wahrgenommene Größe, sondern als Ableitung aus anderen Sinneswahrnehmungen. Dieses System lässt also bereits eine recht genaue Einschätzung der Zeit zu. Hier soll dieser Effekt nun mit dem soeben erläuterten Prinzip der selbstproduzierten Uhr kombiniert werden.

Über die Sinne ist es möglich, Schwankungen in der Bewegung zu erkennen und in die Zeitberechnung mit einzubeziehen. So kann z.B. über die Augen registriert werden, wenn ein Bewegungszyklus mit größerer oder kleinerer Amplitude ausgeführt wird. Als Reaktion darauf kann der folgende Zyklus entsprechend kleiner, bzw. größer wiederholt werden, um dies zu kompensieren.

Eine regelmäßige Bewegung selbst gibt bereits Rückmeldungen des kinästhetischen, propriozeptiven und – sofern sie sich im Blickfeld abspielt – des visuellen Sinnes. Fügt man einem festgelegten Punkt in der Bewegung einen Schlag auf eine Oberfläche hinzu, definiert man nicht nur den Metrumsschlag in der Bewegung deutlicher, sondern gewinnt zudem erhöhte sensorische Rückmeldung über den auditiven und taktilen Sinn, sowie zusätzliches Feedback über die Tiefensinne (Sternberg, Knoll, 1984). Hieraus können noch mehr Informationen gewonnen werden, aus denen eine genauere Einschätzung der Zeit abgeleitet werden kann. Dies gilt vor allem für den zeitlich sehr hochauflösenden auditiven Sinn (Großbach, 2004).

Die erwähnten Schwankungen, die zwangsläufig bei menschlicher Bewegung entstehen und damit verhindern, dass diese selbst produzierte Bewegung an sich ein zuverlässiges Messinstrument für die Zeit ist, können nach diesem Modell durch diese sensorische „Kontrolle“ besser wahrgenommen und korrigiert werden. Demnach wäre eine Kombination dieser zwei Prinzipien (ein selbst produziertes Schwingsystem und sensorisches Feedback als Korrektiv, bzw. zweites System zur Wahrnehmung von Zeit) eine mögliche Strategie, um die physikalische Zeit so genau wie möglich einzuschätzen. Zudem lässt sich so ein vorgegebenes Metrum

stabil halten, wenn man die eigene zyklische Bewegung mit diesem vorher synchronisiert.

Es existieren allerdings auch gegensätzliche Meinungen dazu, dass eigene Bewegung hilft, ein Metrum stabil zu halten. Jakob Adlung, bereits 1758:

„Also würde es lächerlich seyn, vor sich selbst den Tact zu führen durch das Tappen mit den Füßen, oder Nicken mit dem Kopfe; denn die Glieder empfangen ihre Richtigkeit von den Gedanken, wenn diese richtig, ist mir das Äusserliche nicht nötig; sondern dieses dient den anderen, welche mit musizieren, damit sie alle beysammen bleiben, und vor Irrtum bewahret werden.“ (Adlung, 1758, S. 209)

Adlung geht also von einem zentralen Rhythmusgefühl aus, das nicht von der eigenen Bewegung beeinflusst wird. Für ihn ist die Bewegung nur eine äußere Erscheinung der inneren Vorstellung und dient eher der Kommunikation innerhalb des Orchesters als der eigenen Hilfe (Rötter, 1997).

Eine ähnliche Auffassung vertritt der Flötist James Galway: „Der Spieler soll das Metronom im Kopf oder auf dem Kaminsims haben und nicht in den Armen und Beinen.“ (Galway, 1988, S. 83)

2.5 Hypothesen

Basierend auf den dargestellten wissenschaftlichen Erkenntnissen und dem eigenen Modell sollen hier vier Hypothesen dargelegt werden, die an der eigenen empirischen Untersuchung getestet wurden.

Zeit muss, wie oben erwähnt, aus anderen Sinnen abgeleitet werden. Unser „Zeitsinn“ ist daher „das Resultat eines komplexen zentralnervösen Verarbeitungsprozesses, der Informationen aus allen Reizmodalitäten bezieht.“ (Metzner, 1999, S.4). Im Umkehrschluss hieße dies, dass weniger Reize eine ungenauere Zeitwahrnehmung zur Folge hätten. Ohne sensorische Stimulation wäre der Zeitsinn demnach deutlich ungenauer (*Hypothese 1*).

Nach Repp (2006) kann jedoch bereits eine mentale Einteilung einer Zeitspanne (wie z.B. Zählen im Kopf) helfen, ein genaueres Ergebnis in der Reproduktion zu erzielen (*Hypothese 2*). Dies fällt bereits in den Bereich der Rhythmusproduktion und weniger den der Zeitschätzung.

Eine Verbalisierung, wie z.B. durch lautes Zählen könnte diesen Effekt möglicherweise noch verstärken (*Hypothese 3*). Dazu müssten weitere körpereigene Systeme herangezogen werden. Zudem steigt die sensorische Rückmeldung, da Sprache auf Bewegung basiert und auch die akustische Rückmeldung der eigenen Stimme als Orientierung dienen kann.

Als ein weiteres Hilfsmittel für die korrekte Einschätzung von Zeit wird eigene zyklische Bewegung in Betracht gezogen. Diese bietet zusätzlich zum Feedback durch den visuellen Sinn weitere Rückmeldungen über die Propriozeption. Wird die Berührung einer Oberfläche eingefügt (z.B. gleichmäßiges Schlagen mit der Hand), erhält man zusätzlich auditives und taktiles Feedback.

Dies ist gerade im speziellen Fall von Musikern hilfreich, da es ihnen genau um diese gleichmäßige Einteilung geht. Demnach wäre zyklische Bewegung mit taktilem und akustischer Rückmeldung die beste Strategie, um das Metrum eines Stückes stabil zu halten (*Hypothese 4*).

3 Methode

Die im vorherigen Abschnitt aufgestellten Hypothesen wurden in einem Versuch empirisch überprüft.

Personen ohne größere rhythmische Vorerfahrungen sollten hier eine Zeitspanne so korrekt wie möglich reproduzieren und verwendeten dabei verschiedene Strategien. Einschätzen eines leeren Intervalls, ohne Hilfsmittel und unter Ausschluss von sensorischer Rückmeldung, wurde mit vier Methoden der Rhythmusproduktion verglichen.

3.1 Versuchsaufbau

Die Probanden sitzen bei diesem Test aufrecht an einem normalen Schreibtisch vor einem Triggerpad⁶ eines elektronischen Schlagzeuges der Marke Yamaha. Dieses liegt zur Stabilisation in einem Stoffring. Das Pad ist über ein Audio-Interface⁷ (Digidesign Mbox2) mit einem Laptop verbunden (Betriebssystem: Windows 7, 64 bit). Zur Aufnahme der Daten wurde das Programm *REAPER* (Rapid Environment for Audio Prototyping and Efficient Recording, Cockos Incorporated), in der Version 4.32, verwendet. Über dieses Programm wird das Metronom gesteuert, das die Probanden teils in den Tests über Kopfhörer hören. Diese Metronomtöne werden in der Zeitskala des Programms optisch als Gitter dargestellt. In dieses Gitter werden gleichzeitig auch die Daten der über das Pad erhaltenen Signale eingegliedert.

Hierbei entstehen zwangsläufig Verzögerungen, sowohl in der Weitergabe der Töne an die Kopfhörer, als auch in der Verarbeitung der Signale des Triggerpads. Um diese soweit als möglich auszuschließen, wurde die Funktion „interface reported latency“ in *REAPER* verwendet, durch die das Zeitraster automatisch die Verzögerungen berücksichtigt und sie damit im Endergebnis eliminiert. Diese Funktion wurde mit einem Loopback-Test⁸ überprüft. Es bestand keine Latenz in der Aufzeichnung der Daten im Verhältnis zum abgespielten Metronomton.

⁶ Ein *Triggerpad* ist eine elektronische Sensor-Oberfläche.

⁷ Ein *Interface* (oder deutsch *Schnittstelle*) ist ein Teil eines Systems, der zur Kommunikation dient. Ein Audio-Interface verbindet ein Musikinstrument mit dem Computer. Über das Interface können z.B. Latenzen wahrgenommen und eliminiert werden.

⁸ Für diesen Loopback-Test wurde das Signal des Metronoms anstatt an die Kopfhörer wieder direkt an das Interface zurückgegeben und darüber an den PC und in *REAPER*. Das Signal wurde in der Zeitskala im selben Moment dargestellt, zu dem es ausgesandt wurde. Dies zeigt, dass die entstandene Latenz korrekt eliminiert wurde.

Der Versuchsleiter sitzt während der Tests hinter dem Probanden, um diesen nicht unbewusst zu beeinflussen.

Der Proband trägt einen Kopfhörer der Marke Metrophones, der nach Herstellerangaben Außengeräusche um bis zu 29 dB abschwächt. So soll eine Beeinflussung, bzw. Ablenkung, ausgeschlossen werden.

3.2 Testinhalte

Die Untersuchung ist in fünf unterschiedliche Tests untergliedert.

In den Tests Nr. 1-4 tragen die Probanden eine Augenbinde, um visuelle Beeinflussung auszuschließen.

Test 1: Dem Probanden wird ein leeres Intervall präsentiert, das durch zwei Töne (1000 Hz, 10 ms) begrenzt ist. Die Dauer des Intervalls beträgt 6,857 Sekunden. Der Teilnehmer soll diese Zeitspanne unmittelbar reproduzieren, indem er den dritten Ton im gleichen Abstand selbst setzt. Dies geschieht durch einen Schlag mit der rechten Hand auf das Triggerpad.

Er wird gebeten, sich dabei lediglich auf sein „Zeitgefühl“ zu verlassen und keinerlei Hilfsmittel wie Bewegung oder Zählen zu verwenden, sowie sich nicht auf Herz- oder Atemrhythmus etc. zu konzentrieren.

Test 2: Der Proband hört 13 Metronomtöne (1000 Hz, 10 ms), mit einer Intervalllänge von 0,857 Sekunden. Dies entspricht einem Tempo von 70 bpm. Der erste, fünfte, neunte und 13. Ton ist jeweils betont (1500 Hz, 10 ms). Dies entspricht drei Vierteltakten mit Betonungen auf den ersten Schlag jedes Taktes und dem ersten Schlag eines weiteren Taktes. Der Proband wird angewiesen, sich ab dem fünften Schlag mit dem Metronom zu synchronisieren. Dies tut er, indem er innerlich jeden Schlag eines Taktes mitzählt („eins, zwei, drei, vier, eins, zwei ...“). Dies soll weitergeführt werden, auch wenn das Metronom aussetzt. Nach zwei weiteren Takten, in denen der Proband ohne akustische Hilfe eigenständig innerlich weiterzählt, soll er wieder auf das Pad schlagen um damit die „Eins“ des dann folgenden Taktes zu kennzeichnen.

Die ersten vier Töne dienen hierbei als „Einzählen“, die weiteren dazu, das Tempo aufzunehmen und sich mit dem Metronom zu synchronisieren. Der Abstand vom letztgehörten Metronomton und dem Zeitpunkt, zu dem genau zwei Takte vergangen sind und der Proband auf das Pad schlagen sollte (im folgenden *Zielton* genannt), entspricht wie in Test 1 ebenfalls 6,857 s. Allerdings wird diese Zeitspanne in diesem Test durch das innere Zählen mental eingeteilt. Andere Hilfsmittel, wie Bewegung oder lautes Zählen werden den Teilnehmern auch in diesem Test untersagt.

Test 3: Dieser Test entspricht Test 2, jedoch wird der Proband nun angewiesen, ab dem zweiten Takt *laut* mitzuzählen, bis zum verlangten Schlag auf das Pad.

Test 4: Dieser Test entspricht wiederum Test 3. Er wird jedoch dahingehend erweitert, dass der Proband zusätzlich jede gesprochene Zahl mit einem gleichzeitigen Schlag der rechten Hand auf das Pad verbinden soll. Dieser Schlag soll als Hilfsmittel dienen, das Tempo beizubehalten.

Test 5: Dieser Test entspricht nun Test 4, jedoch trägt der Proband keine Augenbinde, er erhält so zusätzlich visuelle Rückmeldung.

Die Inhalte und Abläufe der fünf Tests werden in Abbildung 1 dargestellt.

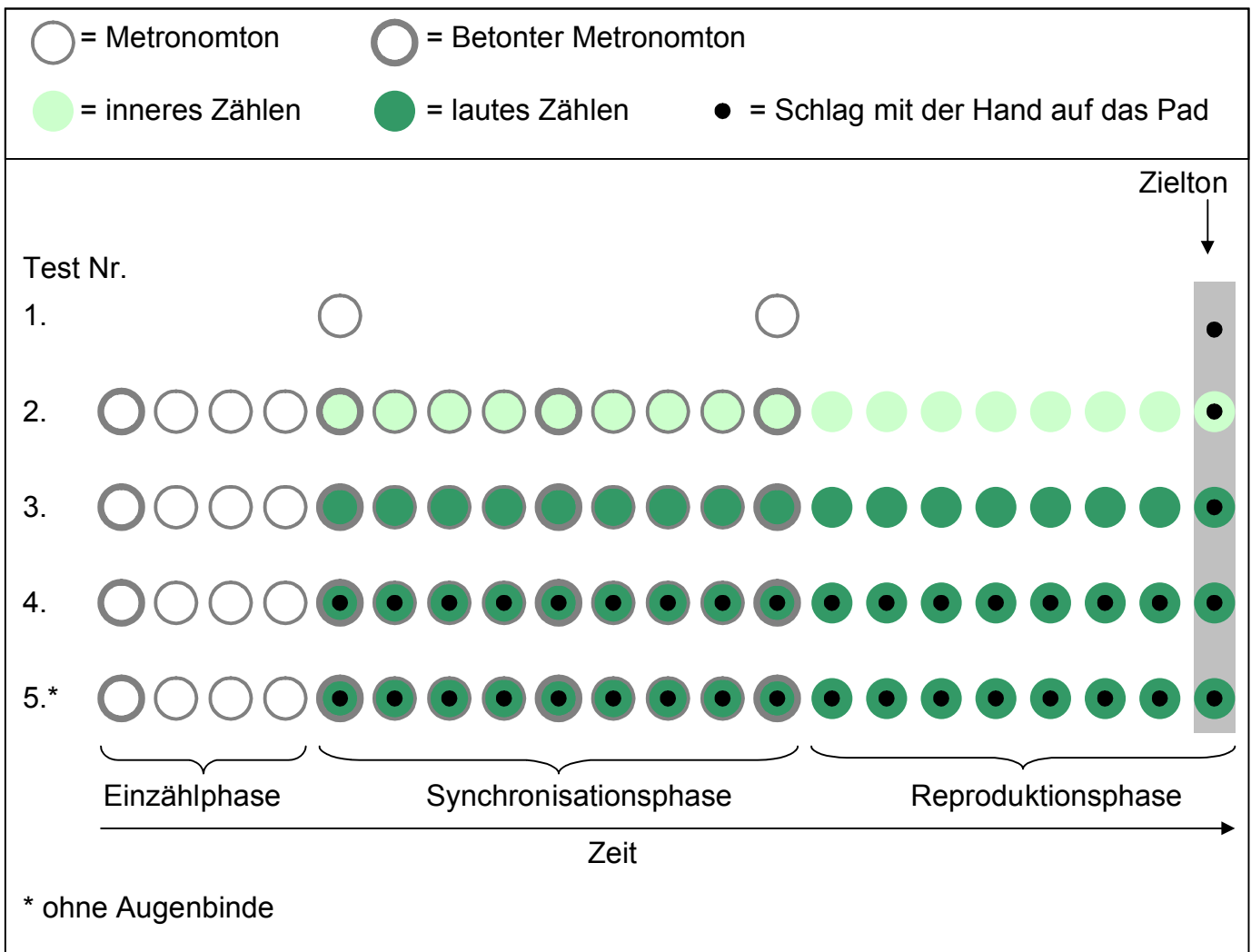


Abb. 1: Inhalte und Abläufe der fünf durchgeführten Tests.

Zwar ist das Zählen im Vergleich zum Schlagen nicht völlig gleichmäßig, da nicht immer das gleiche Wort gesprochen wird; allerdings hilft den Probanden gerade

dies bei den acht Schlägen ohne Metronom, sich nicht zu verzählen. Die Versuchsteilnehmer müssten trotzdem die Anzahl der Schläge mitzählen, was besonders aufgrund der zweisilbigen Zahl Sieben zu Fehlern führen könnte. Zudem zielt diese Untersuchung auf die Anwendbarkeit in der Musik ab und der Viervierteltakt ist eine in der westlichen Musik viel verwendete Taktart. Dies ist auch der Grund dafür, dass es für die Teilnehmer keine ungewohnte Anforderung darstellen sollte, in dieser Taktart zu zählen.

Das Tempo von 70 bpm wurde gewählt, da in dieser Geschwindigkeit ein entspanntes Zählen möglich ist, ebenso wie eine lockere Schlagbewegung. Zudem unterscheidet es sich von 60 bpm, was dem Sekudentakt entspricht. Da dieser eine häufig verwendete Größe im Alltag ist, wäre ein Gewöhnungseffekt zu vermuten.

Laut Timo Fischinger (2009) sind die physikalischen Anfänge („Onsets“) von Tönen meist nicht identisch mit den tatsächlich wahrgenommenen. Deshalb sollten bei *Tapping-Experimenten*⁹ „extrem kurze Klänge mit steiler Ein-schwingkurve“ (siehe Abb. 2) verwendet werden, „um reliable Messungen im Millisekundenbereich zu erhalten.“ (Fischinger, 2009, S. 63).

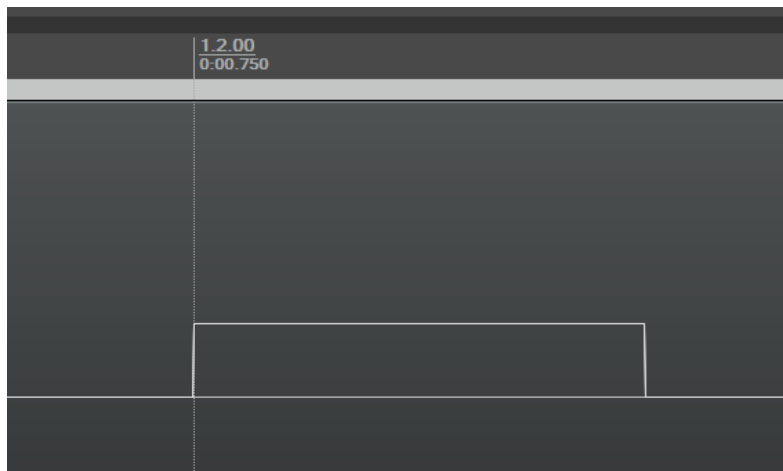


Abb. 2: Tonkurve der verwendeten Metronomtöne. Deutlich sichtbar ist, dass der Ton direkt beginnt und keine „Einschwingkurve“ vorhanden ist.

Die entspricht der P-Center-Hypothese, nach der sich Probanden bei längeren Tönen nicht mit dem Beginn, sondern mit der wahrgenommenen Mitte („Perceptual Center“) synchronisieren (Vos, Mates & van Kruysbergen, 1995). Aus diesen Gründen wurden hier sehr kurze Metronomtöne verwendet (10 ms), um damit auch den Punkt für eine gelungene Synchronisation möglichst genau zu definieren.

Allerdings folgen Tests 4 und 5 nicht der bei Tapping-Experimenten üblichen Vorgehensweise. Die Probanden werden angewiesen, statt mit nur einem Finger die ganze Hand für den Schlag zu verwenden und aufgrund der größeren

⁹ *Tapping-Experimente* werden häufig in der Rhythmusforschung durchgeführt. Das Wesen dieser Art von Test ist, dass die Probanden lediglich mit einem Finger einer Hand im geforderten Rhythmus tippen (engl. *to tap*) und damit die kleinstmögliche Bewegung ausführen, an der die jeweilige Fähigkeit gemessen werden kann. Häufig werden Tapping-Experimente eingesetzt, um verschiedene Aspekte von SMS zu untersuchen.

Feinfühligkeit mit allen Fingerspitzen das Pad zu berühren. Dabei soll darauf geachtet werden, keine Schräge Schlagbewegung auszuführen und mit allen Fingern gleichzeitig das Pad zu berühren, damit die erzielte und tatsächliche Berührung möglichst identisch sind und der genaue Schlagmoment besser definiert werden kann.

Die Probanden sollen so viel sensorisches Feedback wie möglich erhalten. Durch eine größere Bewegungsamplitude und Kontaktfläche mit dem Pad erhöht sich die Zahl der Stimuli, da alle Sinne im größeren Maße Informationen senden.

Die letztendliche Ausführung liegt jedoch im Ermessen der Probanden, um die Konzentration durch ungewohnte Bewegungen nicht zu beeinflussen.

3.3 *Stichprobe*

An der Untersuchung nahmen 32 Rechtshänder zwischen 19 und 65 Jahren teil (\bar{X} = 34; Verhältnis Männlich/Weiblich: 16/16).

Neben der Händigkeit waren weitere Teilnahmevoraussetzungen, dass die Probanden keine überdurchschnittlichen Erfahrungen an einem Musikinstrument besaßen. Das gleiche galt für Sportarten, die ein gutes Rhythmusgefühl voraussetzen, wie Tanzen, Reiten, Voltigieren, Rhythmische Sportgymnastik, Synchronschwimmen etc. Intensives aktives Betreiben einer solchen Sportart, sowie aktives Spiel eines Musikinstrumentes zur Zeit der Untersuchung, bzw. professionelles Ausüben in der Vergangenheit galten als Ausschlusskriterium. Regelmäßiges Tanzen galt hingegen nicht als ein solcher Grund, aufgrund der großen Verbreitung dieser Freizeitbeschäftigung.

3.4 *Durchführung*

Die Untersuchung wurde zwischen dem 26. Februar und dem 14. April 2013 durchgeführt.

Jeder Proband erhielt vor der eigentlichen Untersuchung einen anonymen Fragebogen¹⁰, auf dem genauere Angaben zu Alter, Händigkeit, Vorerfahrungen im Bereich Rhythmus (gespielte Musikinstrumente, ausgeübte Sportarten) und konsumierten Stimulanzen (Koffein, Alkohol, Cannabis etc.) verlangt wurden.

Zudem enthielt der Fragebogen 40 Fragen zum aktuellen Gemütszustand. Als Vorlage hierfür diente der „Profile of Mood States“ (POMS; Short Form) Fragebogen.

Vor den Tests absolvierte jeder Proband eine Übungsphase. Die Teilnehmer hörten hier ein Metronom im Tempo von 80 bpm und sollten in der selben Geschwindigkeit auf das Pad schlagen und sich so mit dem Metronom für etwa 10 Takte synchronisieren. Sie erhielten dann eine visuelle Rückmeldung über das zeitliche Raster in REAPER, sodass sie ihre Genauigkeit einschätzen konnten. Danach wurde das gleiche noch einmal wiederholt. Diese Übungsphase diente zum einen

¹⁰ Siehe Anhang.

dazu, den Versuchsaufbau einzustellen (Sitzhöhe, Lautstärke der Kopfhörer etc.) und zum anderen als Vorbereitung auf die Testreihe. Für die meisten musikalischen Laien ist das Synchronisieren von Bewegung mit einem auditiven Stimulus eine ungewohnte Anforderung. Diese Fähigkeit sollte in der Übungsphase verbessert werden, um die Tests korrekt durchführen zu können.

Nach dieser Phase führte jeder Proband die fünf Tests durch. Die Reihenfolge wurde hierbei randomisiert, um einen Lerneffekt auszubalancieren.

Test 1 unterscheidet sich im Ablauf von den vier weiteren. Aus diesem Grund wurde hier vor der eigentlichen Messung eine gesonderte Übungsphase eingeschaltet, um sicherzustellen, dass der Test korrekt durchgeführt werden kann. Da Tests 2-5 sich prinzipiell ähnlich sind, wurde nur derjenige, den der jeweilige Proband als erstes durchführen sollte, geübt, bis er richtig ausgeführt werden konnte. Die darauf folgenden Tests wurden dann als Abwandlungen erläutert und nicht einzeln geübt.

Zur Unterstützung wurde eine visuelle Hilfe verwendet, auf der die Metronomtöne, sowie die selbst zu produzierenden Schläge als Punkte auf einer horizontalen Linie dargestellt waren (vgl. Abb. 1).

Jeder dieser fünf Tests wurde drei mal hintereinander, ohne größere Pausen durchgeführt.

Zwischen den fünf Tests hörten die Probanden Ausschnitte aus verschiedenen Musikstücken. Diese besaßen die Tempi 105 bpm, 181 bpm, 55 bpm und 96 bpm und waren zwischen 45 und 65 s lang. Diese dienten zum einen zur Überbrückung zwischen den Tests; zum anderen sollten sie eine zu starke Gewöhnung an das Tempo der Versuche verhindern und damit einen Lerneffekt unterbinden.

Nach der Durchführung von Test 1 werden die Probanden befragt, wie sie die Zeitspanne wahrgenommen hatten und als wie schwierig sie es empfanden, diese exakt zu reproduzieren.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse einer Versuchsperson wurden wegen der Einnahme von Drogen am Tag der Untersuchung (Cannabis und Kokain) und den schwer einschätzbaren Einflüssen auf die Zeitwahrnehmung nicht verwendet. Die Ergebnisse eines Probanden, der zwei Tage vor der Untersuchung Speed konsumiert hatte, wurden jedoch verwendet, da die Wirkung zum Zeitpunkt der Untersuchung vermutlich bereits abgeklungen war. Das gleiche gilt für einen Probanden, der angab, innerhalb von drei Tagen vor dem Test Cannabis konsumiert zu haben.

Zwar kann neben Amphetaminen, wie z.B. Speed oder Kokain (Matell, King & Meck, 2004) auch Koffein eine Überschätzung von Dauer verursachen (Ornstein, 1969). Aufgrund des verbreiteten Konsums von koffeinhaltigen Getränken wurde dieser jedoch nicht als Ausschlusskriterium gewertet.

Ein Proband war nicht in der Lage, Test 1 korrekt auszuführen, zwei weitere konnten Test 3 nicht wie verlangt umsetzen. Die entsprechenden Testergebnisse wurden eliminiert.

Es ist sehr schwierig, den definitiven Zeitpunkt des Schlages auf das Pad festzustellen. Aus diesem Grund wurde für alle Probanden immer der Beginn der Tonkurve, die in REAPER sichtbar ist, als „Schlag“ definiert (siehe Abbildung 3). Der eigentlich anvisierte Zielton liegt aus



Abb. 3: Definition des „Schlages“. Die rote Linie markiert den Beginn der Tonkurve. Dieser wurde als „Zeitpunkt des Schlages“ definiert.

diesem Grund vermutlich einige Millisekunden dahinter, ist jedoch deutlich schwieriger zu ermitteln. Hier wurde der Vergleichbarkeit der Ergebnisse Vorrang gewährt.

4.1 Ermittelte Kennwerte

Die Berechnung der Daten erfolgte in MATLAB (Version R 2012b), die statistische Auswertung in „SPSS“.

Es werden zwei Parameter für die Genauigkeit der Zeitschätzung bzw. des Rhythmusgefühls betrachtet:

1. Der arithmetische Mittelwert der Abweichung vom Zielton
2. Der arithmetische Mittelwert der absoluten Abweichung (es wird der Betrag ohne Vorzeichen betrachtet).

Zudem wurde die Variabilität in der Zeitschätzung über folgende Parameter ermittelt:

3. Die jeweils durchschnittliche Spanne vom frühesten zum spätesten Ton der drei Versuche in den fünf Tests.
4. Die Standardabweichung der fünf Tests.

4.2 Durchschnitt der Abweichung

Für die Berechnung dieses Parameters wurde von allen Probanden für alle fünf Tests das arithmetische Mittel aus der durchschnittlichen Abweichung der drei Versuche gebildet. Die Vorzeichen wurden dabei miteinbezogen. Negative Werte bedeuten, dass die Probanden zu früh geschlagen haben, positive Werte bedeuten einen Schlag, der zeitlich hinter dem Zielton lag.

Tab. 1: Werte der durchschnittlichen Abweichung vom Zielton

Test Nr.	Wert der Abweichung [s]
1	-1,0723
2	-0,0519
3	-0,1057
4	-0,0876
5	-0,1508

Tabelle 1 zeigt die genauen Werte der Abweichungen.

Diese werden in Abbildung 4 im Verhältnis zueinander dargestellt.

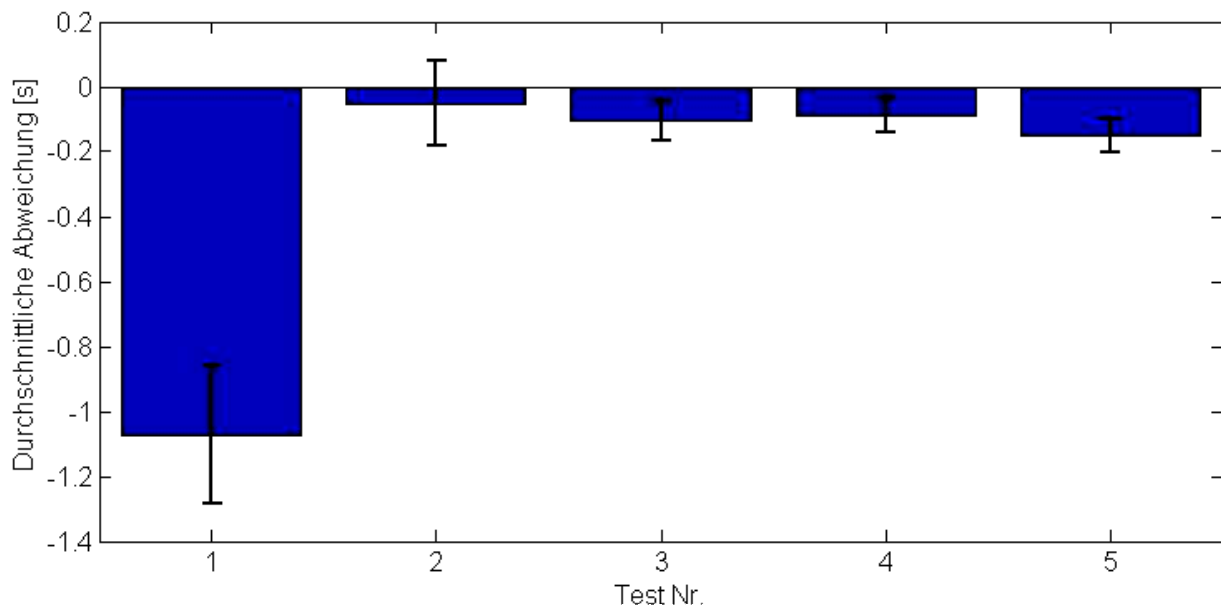


Abb. 4: Die durchschnittliche Abweichung vom Zielton in den fünf Tests. Die Fehlerbalken zeigen ein Konfidenzintervall von 95%. Ein negativer Wert bedeutet eine Unterschätzung, ein positiver eine Überschätzung der Zeitspanne.

Für den Test auf Normalverteilung ergaben sich für diesen Parameter keine signifikanten Abweichungen in allen fünf durchgeführten Tests. Die Normalverteilung ist somit gegeben.

Der Messwiederholungseffekt zwischen den unterschiedlichen Tests ist hoch signifikant ($p < 0,001$). Auch die Effektstärke σ^2 ist als groß zu bewerten (0,506).

Der multiple Mittelwert-Test (post-hoc) ergab, dass nur zwischen den Ergebnissen von Test 1 und allen weiteren ein signifikanter Unterschied besteht. Alle weiteren Differenzen sind nicht signifikant.

4.3 Durchschnittlicher Betrag der Abweichung

Im Unterschied zu Punkt 3.3.2 wurden bei dieser Berechnung die Vorzeichen vernachlässigt und nur der absolute Wert der Abweichung in die Durchschnittsberechnung einbezogen. Die Richtung der Abweichung wird in diesem Fall also nicht betrachtet. Auch für diese Ergebnisse wurde aus allen drei Versuchen der Mittelwert gebildet und hieraus wiederum der Durchschnitt für alle Probanden gebildet. Die Daten werden in Tabelle 2 aufgeführt und in Abbildung 5 graphisch dargestellt.

Tab. 2: Werte des durchschnittlichen Betrags der Abweichung vom Zielton.

Test Nr.	Wert der Abweichung [s]
1	1,2755
2	0,5067
3	0,2367
4	0,2152
5	0,2373

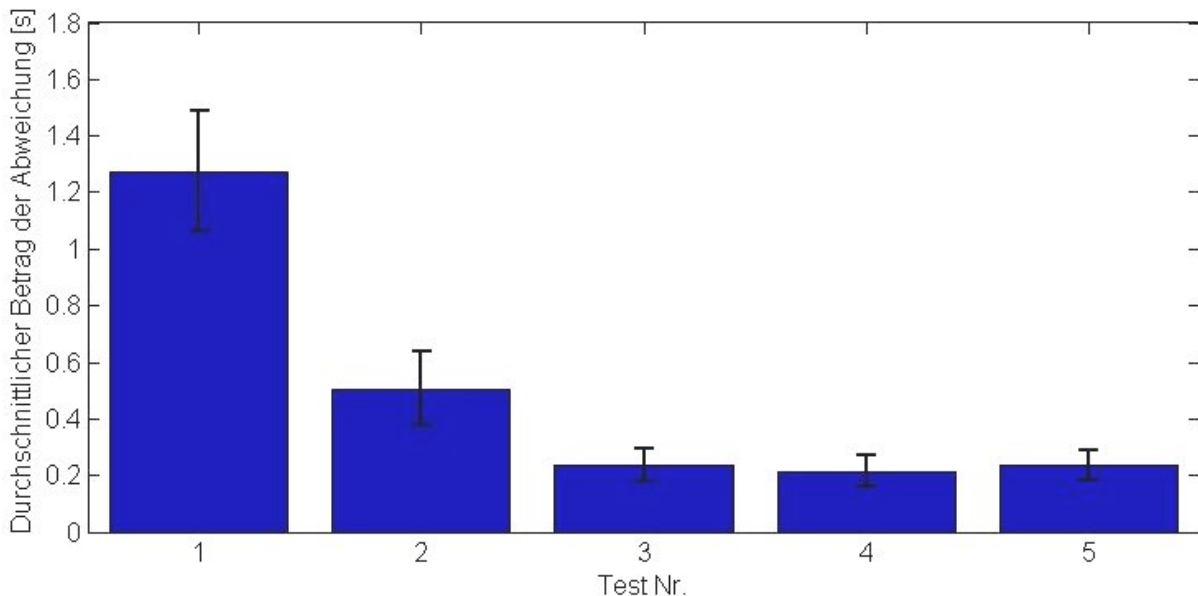


Abb. 5: Durchschnittlicher Betrag der Abweichung vom Zielton in den fünf Tests. Die Vorzeichen finden keine Berücksichtigung. Das Konfidenzintervall beträgt 95%.

Der Test auf Normalverteilung ergab hier, dass diese nicht gegeben ist für Tests 3, 4 und 5.

Auch hier ergab sich für den Messwiederholungseffekt ein hochsignifikanter Wert ($p < 0,001$). Die Effektstärke beträgt mit 0.804 einen hohen Wert.

Signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen bestehen hier zwischen Tests 1 und allen weiteren Tests, sowie zwischen Test 2 und Tests 3, 4 und 5.

4.4 Durchschnittliche persönliche Streuung

Für diesen Parameter wurde bei allen Probanden in jedem Test der Abstand vom frühesten zum

Tab. 3: Durchschnittlicher Wert der persönlichen Streuung / min-max Differenzen der Werte aus den drei Wiederholungen eines jeden Tests.

spätesten Schlag der drei Versuche gemessen, den die jeweilige Testperson setzte. Dies ist auch als „Difference limen“ (DL; Blaschke, 2009, S.21) bekannt. Hieraus wurde für jeden Test der Durchschnitt aus allen Probanden ermittelt. Ein geringerer Wert bedeutet eine

Test Nr.	Wert der Streuung [s]
1	1,2800
2	0,4379
3	0,2376
4	0,2045
5	0,2189

kleinere persönliche Streuung und damit ein stabileres Rhythmusgefühl, auch wenn dieses vom geforderten Metrum abweichen kann, bzw. der Zielton verfehlt wurde.

Tabelle 3 führt die genauen Werte des durchschnittlichen DL auf.

Abbildung 6 zeigt diese im Verhältnis zueinander.

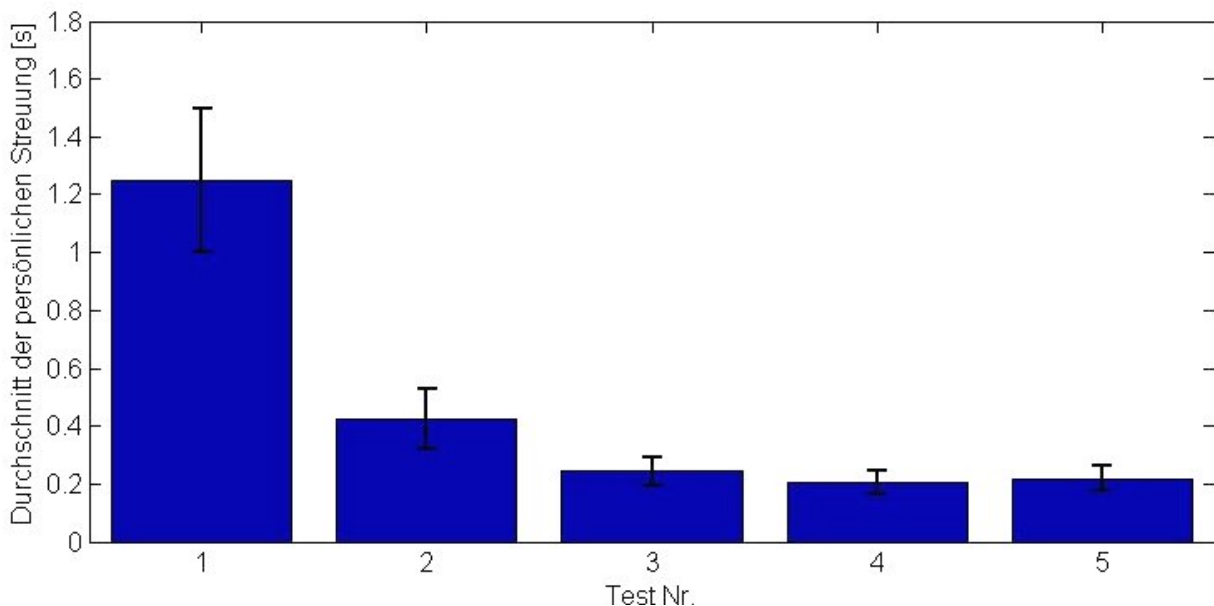


Abb. 6: Durchschnittliche persönliche Streuung (Differenz min- zu max-Werte der drei Wiederholungen jedes Tests). Konfidenzintervalle = 95%.

Die Varianzanalyse ergab, dass die Normalverteilung für die Werte in allen fünf Tests gegeben ist. Der Unterschied der Ergebnisse von Test 1 zu allen weiteren ist hoch signifikant ($p < 0,001$). Für die Ergebnisse von Test 2 ergab sich eine signifikante Differenz zu Test 1, 4 und 5, nicht jedoch zu Test 3. Die Unterschiede von Test 3-5 sind untereinander als nicht signifikant zu bewerten.

4.5 Standardabweichung

Die Standardabweichungen der fünf Tests wurden hier als ein Maß der Variabilität der Zeitschätzungen verwendet.

Tabelle 4 führt die ermittelten Werte auf, Abbildung 7 stellt diese im Verhältnis dar.

Tab. 4: Werte der Standardabweichung für die Ergebnisse in allen fünf Tests.

Test Nr.	Ergebnisse der Standardabw.
1	1,0365
2	0,6455
3	0,2852
4	0,2642
5	0,2591

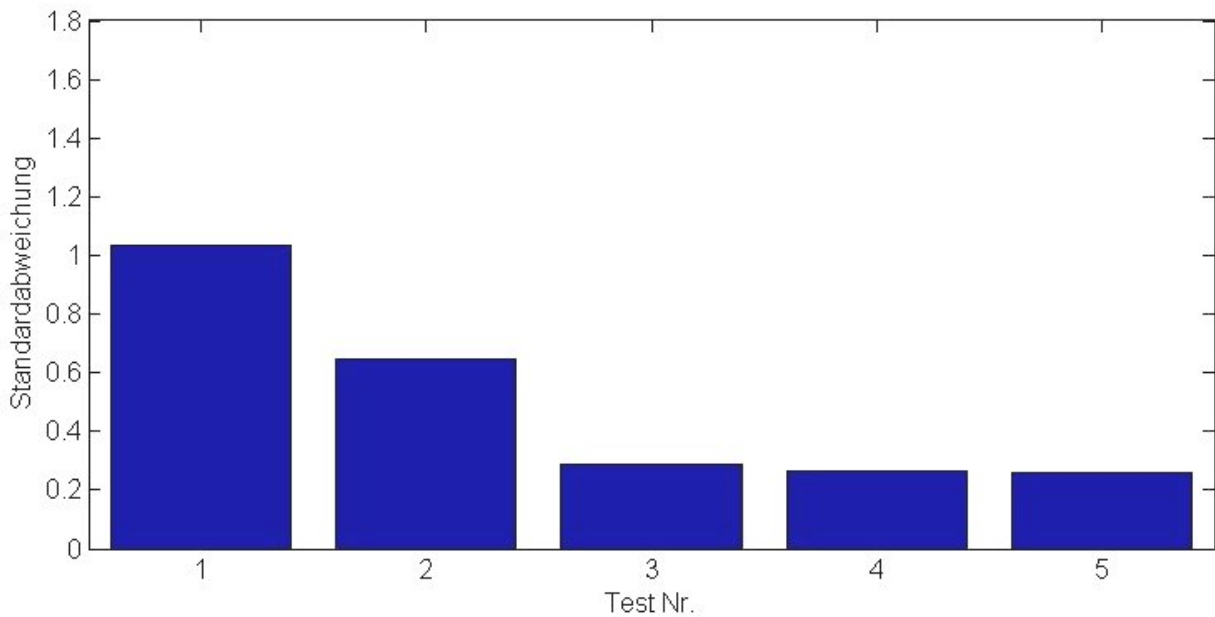


Abb. 7: Standardabweichung der Ergebnisse aller Probanden in den fünf Tests. Ermittelt in MATLAB.

4.6 *Persönliche Aussagen der Probanden*

An dieser Stelle sollen die Antworten der Probanden auf die Fragen nach der jeweils verwendeten Strategie zur Zeitschätzung und persönlichen Empfindung zusammengefasst werden. Des Weiteren äußerten einige Probanden auch andere Meinungen zur Fähigkeit der Zeitschätzung, bzw. Rhythmus-Stabilität. Diese sollen hier Erwähnung finden.

4.6.1 *Bewertung der Schwierigkeit von Test 1*

Auf die Frage, ob die Probanden diesen Test als leicht oder schwierig empfinden, antworteten die meisten mit „schwierig“ oder „sehr schwierig“. Mehrfach wurde geäußert, dass ein Hilfsmittel oder eine Referenz fehle, an der man sich orientieren kann, um die Zeit einzuschätzen oder dass es ohne solche Hilfsmittel sogar unmöglich sei, den gesuchten Zeitpunkt genau zu treffen.

Viele Probanden erklärten, dass ein externer Rhythmus, wie z.B. ein Metronom, eigenes Zählen oder Bewegungen helfen würden, die Zeit genauer zu schätzen. Diese subjektive Empfindung stützt die Theorie, dass Zeitwahrnehmung aus anderen Sinnen abgeleitet wird, da bei diesem Test die Reizwahrnehmung so weit als möglich verhindert wurde.

Zudem sind Zählen und zyklische Bewegungen, wie Nicken mit dem Kopf oft verwendete Methoden, die viele Menschen unwillkürlich einsetzen, wenn es gilt, eine Zeitspanne zu reproduzieren. Das automatische Zurückgreifen auf diese Art der Hilfsmittel zeigt, wie sehr eine Orientierung beim Schätzen von Zeit benötigt wird. Zudem stützt es die Hypothese, dass zyklische Bewegungen hierbei hilfreich sein können.

Einige Probanden berichteten, dass eine mehrfache Wiederholung der zu schätzenden Zeitspanne geholfen hätte, sich an diesen Abstand zu gewöhnen. Hierin äußert sich möglicherweise der Wunsch nach einem gleichmäßigen Rhythmus in der Aufgabe. Allerdings liegt die Zeitspanne von 6,857 s weit über der von Pöppel beschriebenen subjektiven Gegenwart. Eine Wiederholung dieses Intervalls würde deshalb keinen wahrnehmbaren Rhythmus entstehen lassen.

Einige Versuchsteilnehmer äußerten, dass ihr Schlag nur „grob geschätzt“ gewesen sei und sie sich sicher seien, den gesuchten Punkt weit verfehlt zu haben. Allerdings waren die Schätzungen der Probanden, die dies äußerten teilweise ziemlich genau. Diese Form der Diskrepanz zwischen der eigenen Einschätzung und der tatsächlichen Leistung zeigt zusätzlich, dass die Zeitwahrnehmung ohne externe Referenz stark getrübt ist.

Weiterhin empfanden manche Probanden die Zeitspanne in Test 1 bei den drei Versuchen trotz der kurzen Pausen zwischen den Wiederholungen sogar als verschieden lang.

Nur wenige Probanden empfanden Test 1 als einfach. Eine Testperson äußerte sich sogar dahingehend, dass das Wahrnehmen und Reproduzieren der Zeit ein „angenehmer Zustand“ gewesen sei. Ein weiterer Proband gab an, dass die Genauigkeit in diesem Test auch von der eigenen Konzentration abhängig ist.

4.6.2 Strategien der Zeitwahrnehmung

Obwohl den Testpersonen Hilfsmittel, wie Zählen, Bewegen, Achten auf Atem- oder Herzrhythmus etc., verboten waren, wurden sie befragt, ob sie sich einen Mechanismus zu Hilfe genommen hatten und wenn ja, wie dieser geartet gewesen war. Es zeigte sich, dass überraschend vielseitige Ansätze verfolgt wurden. Dies kam allerdings oft nur in der Übungsphase vor. Zudem gaben viele Probanden an, dass sie diese Hilfsmittel vielmehr unterdrücken mussten, als dass sie sie anwendeten. Nur wenn bewusst unterstützende Strategien angewendet wurden, wurden die Ergebnisse eliminiert.

Lediglich 13 Probanden gaben an, sich rein intuitiv auf ihr Zeitgefühl verlassen zu haben. Mehrfach wurde auch das Wort „warten“ erwähnt. So entsteht laut einigen Probanden nach dem ersten Ton eine steigende Erwartungshaltung, bis der zweite erfolgt. Obwohl vorher keine Aussage über die Dauer des Intervalls gemacht wurde, gaben Probanden teilweise an, sie hätten den Ton früher erwartet. Ebenso berichteten sie dann, dass sie sich bei der direkten Reproduktion vor dem Schlag hätten zurückhalten müssen, um nicht zu früh zu sein. Eine Person gab an, sich selbst wörtlich „warte, warte!“ innerlich zugeredet zu haben, um nicht zu früh zu schlagen. Auch an anderer Stelle sagten Probanden aus, dass sie allgemein lieber zu früh als zu spät geschlagen hätten.

Ein weiterer Proband gab an, dass die Einschätzung, wann es Zeit sei, zu schlagen „aus innen heraus“ kam und er nur „ausführendes Organ“ gewesen sei. Die Person fühlte nach eigenen Angaben die Anweisung „Warte nicht länger, es ist an der Zeit!“.

Elf Probanden gaben an, dass sie unwillkürlich auf Atem- oder Herzrhythmus geachtet hätten, bzw. dies unterdrücken mussten, was oft als sehr schwierig empfunden wurde.

Eine Testperson gab an, die Atmung ungewollt umgestellt zu haben, um sich an einer gleichmäßigen Stoßatmung zu orientieren.

Zudem konstruierten manche Probanden sich weitere interessante Orientierungshilfen für diesen Test. So berichtete ein Proband, im Kopf einen Summton gehört zu haben, der geholfen habe, die Zeit wahrzunehmen. Zwar widerspricht dies Epsteins Hypothese, dass wir Markierungen in der Zeit benötigen, um sie besser wahrzunehmen, da dieser Summton gleichmäßig ist und keine Markierungen bildet; allerdings könnte es ein möglicher Hinweis dafür sein, dass man unwillkürlich nach irgendeiner Orientierungen sucht (so erklärte eine weitere Person, dass ihr Straßenlärm, der trotz gedämpfter Kopfhörer zu hören war, geholfen habe). Dieselbe Person gab zudem an, sich beim dritten Versuch des Tests einen Uhrzeiger bildlich vorgestellt zu haben.

Diese Art der bildlichen Vorstellung einer Bewegung findet sich auch bei anderen Probanden. So stellten sich zwei Probanden eine Welle vor, wobei bei einer Person die beiden tiefsten Punkte den Beginn und das Ende der Zeit darstellten. Die Teilnehmer gaben an, beim ersten Ton die Welle „entlang gegangen“ zu sein, bis der zweite Ton erfolgte und diesen „Weg“ dann bis zum Schlag wiederholt zu haben. Bei der zweiten Person waren Start- und Endpunkt die *höchsten* Punkte und die Welle hatte nach eigener Aussage die Form einer typischen „Atemkurve“. Außerdem gab jeweils eine Person an, sie habe gleichmäßige Bewegung (Wippen), bzw. gleichmäßiges Zählen unterdrücken müssen.

Dass sich mehr als die Hälfte der Probanden Orientierungshilfen für die Zeitwahrnehmung gesucht und teilweise selbst produziert hat zeigt, dass ein rein intuitives Einschätzen von Dauern eine ungewohnte Anforderung ist und man sich natürlicherweise Fixpunkte sucht. Das wird besonders daran deutlich, dass manche Probanden angaben, es sei sehr schwer gewesen, sich zu zwingen, bei diesem Versuch nicht zu zählen, sich zu bewegen oder auf körpereigene Rhythmen zu achten.

Besonders auffällig ist, dass beinahe alle Probanden bei den Übungsversuchen solche Strategien verwendeten, wenn sie nicht erneut darauf hingewiesen wurden, dies zu unterlassen.

4.6.3 Weitere Auffälligkeiten und subjektive Einschätzungen

Obwohl es für viele Probanden offensichtlich natürlich erscheint, sich an Hilfsmitteln, wie Zählen oder zyklischer Bewegung zu orientieren, um sich Zeitdauern einzuteilen oder ein Metrum zu halten, fällt auf, dass viele Probanden sehr leise zählen (teilweise für den Versuchsleiter nicht hörbar) oder sehr kleine Schläge ausführen, die eher *Tapping*-Bewegungen ähneln.

Eine weitere Auffälligkeit ist, dass viele Probanden bei den Tests, die lautes Zählen beinhalten (3-5), die „Eins“ jedes Taktes betonen. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass diese den Beginn eines Zähl-Zyklus und damit einen wichtigen Orientierungspunkt darstellt.

Eine Person sagte aus, dass bei Test 5 die optische Wahrnehmung mit dem generellen Zählen und Fühlen des Metrums „verschmolzen“ wäre. Diese subjektive Empfindung steht im Einklang mit der Hypothese, dass der Mensch Informationen aus allen Sinnesmodalitäten bezieht, die dann zusammen im „Zeitsinn“ aufgehen (Metzner, 1999).

Ein Proband erklärte, dass die Geschwindigkeiten der Musikstücke zwischen den Tests auch die Versuche selbst beeinflusst hätten. Man gewöhnt sich an diese Geschwindigkeit und möchte diese auch im Test weiterführen.

Eine Testperson, die von sich selber sagte, große Probleme zu haben, das Metrum eines Musikstückes zu finden, z.B. beim Tanzen, sagte aus, dass die Tests ihr geholfen hätten, die Metren der Musikstücke zwischen den Tests besser zu erkennen. Die kurze intensive Konzentration auf einen gleichbleibenden Rhythmus scheint also einen starken kurzfristigen Lerneffekt zu produzieren und das Rhythmusgefühl zu verbessern.

5 Diskussion

5.1 Methodenkritik

An dieser Stelle sollen Aspekte des Testdesigns hervorgehoben werden, die die Ergebnisse in ungewissem Maße beeinflussen könnten. Diese könnten die Aussagekraft der Untersuchung schmälern.

Der hier vorgestellte Test beinhaltet die eingangs erwähnten sensorischen Rückmeldungen, wie taktil, visuell, kinästhetisch etc.. Allerdings fällt durch die gedämmten Kopfhörer der Einfluss des auditiven Feedbacks nur sehr gering aus. Hier wurde dem Ausschluss von Ablenkungen Vorrang gewährt. Die Aussagekraft leidet also in Bezug auf die Frage, ob durch das Korrektiv des zeitlich besonders hochauflösenden Gehörsinnes, die Genauigkeit in der Rhythmusproduktion verbessert werden kann.

Des Weiteren stellt sich die Frage, ob die Musikstücke zwischen den einzelnen Tests tatsächlich einen Gewöhnungseffekt an das Tempo verhindern. Falls solch ein Effekt vorliegt, würden diese Ausschnitte eher dafür sorgen, dass man sich an das jeweilige Tempo der Musik gewöhnt und beim darauffolgenden Test zuerst wieder auf dasjenige des Tests einstellen müsste. Dies könnte die Ergebnisse eher verfälschen, als einen Lerneffekt auszubalancieren.

Da die Reihenfolge der Musikstücke bei jedem Probanden gleich war, die Testreihenfolge allerdings randomisiert, würde sich ein solcher Effekt ebenfalls ausbalancieren.

5.2 Zur durchschnittlichen Abweichung vom Zielton

Es konnte in dieser Untersuchung zum einen gezeigt werden, dass beim Reproduzieren einer kurzen Zeitspanne (in diesem Fall 6,857 s), ohne Orientierungshilfen und bei weitest möglichem Ausschluss von Sinneseindrücken, diese im Durchschnitt um mehr als eine Sekunde unterschätzt wird. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit früheren Studien und der von Pöppel beschriebenen Dauer der subjektiven Gegenwart, die auf 3 s begrenzt ist:

„Ein typischer Befund solcher Versuche ist, dass eine Versuchsperson die Dauer eines vorgegebenen Reizes nur bis zu etwa drei Sekunden recht genau reproduzieren kann und dass längere Zeitstrecken zu sehr ungenauen Wiederholungen führen. Dieser Befund kann so gedeutet werden, dass ein Geschehnis nur innerhalb einer bestimmten Zeitstrecke als Ganzes überblickt werden kann.“ (Pöppel, 1999, S. 624)

Es ist ein mehrfach beschriebenes Phänomen, dass die Ungenauigkeit bei Zeitschätzungen zusammen mit der Dauer steigt und der Schätzfehler im Verhältnis zur Dauer auch relativ konstant bleibt (Treisman, 1963; Pape, 2010). Eine längere Dauer geht also mit einer entsprechend ungenaueren Schätzung bzw. Reproduktion einher.

Die Aussagen einiger Probanden in dieser Untersuchung, dass ihr Schlag in Test 1 nur grob geschätzt gewesen sei und sie das Gefühl hatten, lieber zu früh als zu spät schlagen zu sollen, bilden einen Erklärungsansatz für die starke negative Tendenz in diesem Test (Siehe Abschnitt 4.2). Zudem behaupten einige Autoren, dass leere Intervalle generell unterschätzt werden, im Gegensatz zu solchen, in denen sich viel ereignet (Buffardi, 1971; Thomas & Brown, 1974; Poynter, 1983).

Des Weiteren deutet der Vergleich der Ergebnisse von Test 1 zu Test 2 darauf hin, dass mentale Einteilung dabei hilft, eine solche Zeitspanne besser wahrzunehmen. Da in diesem Test keine weiteren Sinneseindrücke hinzukamen und die Einteilung lediglich durch inneres Zählen vorgenommen wurde, zeigt dies deutlich, dass hier bereits ein durchgehendes Metrum hilft, um Zeit genauer einzuschätzen. Die signifikante „Verbesserung“ bei Test 2 im Vergleich zu Test 1 bestätigt damit *Hypothese 2*. Es ist zudem ein Hinweis auf die Vermutung von Repp (2006, siehe Abschnitt 2.3), wonach SMS auch bei Intervalllängen von mehr als 2 s möglich ist, wenn die Pause zwischen den Stimuli durch mentale Einteilung „überbrückt“ wird.

Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass durch diesen Vorgang des inneren Zählens andere körpereigene Mechanismen in Gang gesetzt werden, die zusätzlichen Einfluss auf die Zeitwahrnehmung haben.

Weiterhin ist nicht völlig auszuschließen, dass Probanden automatisch zyklische Bewegungen ausgeführt haben, die einfach äußerlich nicht sichtbar waren.

Demnach wäre diese Verbesserung möglicherweise nicht auf das mentale Zählen allein zurückzuführen.

Die Ergebnisse von Test 3 zeigen – zumindest im durchschnittlichen Betrag der Abweichung – wiederum eine signifikant höhere Genauigkeit, im Vergleich zu Tests 1 und 2. Das verringerte DL im Vergleich zu Test 2 ist jedoch, wie oben dargestellt, nicht signifikant. Die Verbalisierung des Zählens verbessert demnach die Fähigkeit, ein Metrum stabil zu halten. In einer früheren Studie konnte bereits nachgewiesen werden, dass lautes Zählen („explicit counting“) eine hilfreiche Strategie ist, um Intervalle von mehr als 1,18 s korrekt einzuschätzen (Grondin, Meilleur-Wells & Lachance, 1999). Zusammen bestätigen diese Befunde *Hypothese 3*.

Für Tests 4 und 5 hingegen zeigen sowohl die Parameter der Genauigkeit, als auch diejenigen der Streuung keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu Test 3. Zudem sind auch keine signifikanten Differenzen zwischen den beiden Tests selbst festzustellen. Die zusätzliche gleichmäßige Bewegung und die visuelle

Rückmeldung zeigen also, entgegen der *Hypothese 4*, keine Verbesserungen, sowohl in der persönlichen Streuung, als auch in der Genauigkeit.

Mehrere Probanden berichteten einstimmig, dass sie sich bei Test 5 (ohne Augenbinde) eher abgelenkt gefühlt hätten. Nach subjektivem Empfinden half die visuelle Rückmeldung bei diesem Test also nicht, sondern störte teilweise sogar die Konzentration. Diese persönlichen Aussagen allein reichen jedoch nicht als Erklärung für diese Ergebnisse.

Da es sich bei der Stichprobe um Personen handelte, die wenig musikalische Vorerfahrung hatten, ist zu vermuten, dass das Synchronisieren von Bewegung mit einem Metronom eine für die meisten Teilnehmer ungewohnte Anforderung darstellt. Laut Grondin ist es in Studien zur Zeitwahrnehmung eine verbreitete Annahme, dass nur ein begrenzter „pool“ (Grondin, 2010, S. 566) an Aufmerksamkeit vorhanden ist. Demnach müssten in Tests 4 und 5 größere Anteile der Konzentration auf die rein motorische Ausführung der Aufgabe verwendet werden, als bei Tests 1-3. Es stehen daher weniger Kapazitäten für den zeitlichen Aspekt der Aufgabe zur Verfügung. Die hypothetisierten positiven Effekte der zyklischen Bewegung können deshalb möglicherweise nicht zum Tragen kommen, da die Konzentration stärker auf die korrekte Ausführung der Aufgabe gerichtet werden muss.

5.3 *Zur Richtung der Abweichung*

In den meisten Studien zu SMS fand sich eine negative Tendenz (Repp, 2005). Das bedeutet, dass Personen in dem Moment, in dem sie denken, sich mit einem auditiven Stimulus synchronisiert zu haben, tatsächlich bei jedem Schlag um ein paar Hundertstelsekunden vor diesem sind.

Die Gründe für diese „Negative Asynchronie“ (Aschersleben, 2000, S. 138) oder „Negative Mean Asynchrony“ (NMA; Repp, 2005) sind noch nicht geklärt. Es gibt verschiedene Hypothesen, wie z.B. die Nervenleitungshypothese, nach der die Reizleitung der taktilen und kinästhetischen Informationen bis zum Gehirn länger dauert als diejenige des akustischen Reizes vom Ohr bis ins Gehirn. Demnach müsste die Bewegung früher stattfinden, damit die mentale Repräsentation im Gehirn gleichzeitig erfolgt (Aschersleben, 2000; Aschersleben & Prinz, 1995, 1997; Fraise, 1980; Paillard, 1949).

Zwar enthalten Tests 2-5 alle ein Element der Synchronisation mit einem auditiven Stimulus, jedoch nur zu Beginn eines jeden Durchlaufs. Die eigenständige Produktion geschieht ohne externe Information und fällt damit nicht mehr in den Bereich der SMS. Dennoch ist zu vermuten, dass der Effekt der NMA erhalten bleibt, da aus Erfahrung möglicherweise auch einzelne Schläge früher gesetzt werden, um die sensorische Rückmeldung zum anvisierten Zeitpunkt zu erhalten.

In diesem speziellen Versuch gibt es jedoch noch viele weitere Einflussfaktoren, sodass die generelle Unterschätzung in allen Tests nicht vollständig durch die NMA zu erklären ist.

Es wurde bereits erwähnt, dass derjenige Zeitpunkt, der als der jeweilige „Schlag“ des Probanden definiert wurde, vermutlich nicht dem entspricht, den der Proband anvisierte, sondern zeitlich davor liegt. Der in REAPER sichtbare Ausschlag der Kurve ist meist nicht länger als einige Hundertstelsekunden. Es ist zu vermuten, dass Personen bei einem solchen Schlag nicht den Anfang, sondern die Mitte als exakten „Zeitpunkt“ des Schlages anvisieren. Demnach könnte sich eine negative Tendenz von einigen Millisekunden mit derjenigen der NMA addieren und möglicherweise zum Teil zur Abweichung nach „zu früh“ beitragen.

Ein Grund für die starke negative Tendenz in Test 1 könnte in dem erwähnten Bestreben liegen, lieber zu früh, als zu spät zu schlagen. Eventuell ist dieses auf eine Art „Überfokussierung“ zurückzuführen: Ein näher kommender Punkt in der Zeit möchte nicht „verpasst“, werden. Deshalb verspüren die Teilnehmer eventuell den Drang, möglichst „rechtzeitig“ zu schlagen, anstatt das Intervall so genau wie möglich zu reproduzieren. Wie bereits erwähnt, können nur sehr kurze Intervalle korrekt reproduziert werden. Die Zeitspanne von über 6 s in Test 1 kann nicht mehr als Rhythmus wahrgenommen werden, weshalb andere Strategien verfolgt werden, was die persönlichen Aussagen der Probanden belegen.

So ist dieser Drang, den geforderten Schlag nicht zu verpassen, eine mögliche Erklärung für die starke Tendenz zur Unterschätzung in Test 1.

5.4 Zur persönlichen Streuung

Besonders auffällig ist, dass die Ergebnisse des durchschnittlichen persönlichen DL sehr stark denen des durchschnittlichen Betrags der Abweichung gleich und auch die Verhältnisse untereinander sehr ähnlich sind. Es lässt sich daher feststellen, dass die Genauigkeit der Zeitschätzung, bzw. Rhythmusfähigkeit und die persönliche Konstanz in der Ausführung stark miteinander korrelieren. Ein Verfehlen des Zieltons geht also mit einer persönlichen Streuung einher: Wenn Personen bei der eigenständigen Produktion eines gleichmäßigen Rhythmus' vom Zielton abweichen, tun sie dies durchschnittlich im selben Maße, wie ihre Ergebnisse streuen.

5.5 Fazit

Nach Auswertung der Testergebnisse und der Aussagen der Probanden lässt sich festhalten, dass das Einschätzen, bzw. Reproduzieren einer Zeitperiode im Bereich von ca. sieben Sekunden ohne externe oder selbst produzierte Referenz nur sehr ungenau möglich ist. Es besteht eine große Diskrepanz zwischen der physikalischen und der subjektiv wahrgenommenen Zeit, da erstere nicht durch Sinneswahrnehmungen erfahrbar gemacht werden kann.

Bereits eine mentale Einteilung durch stummes Zählen verbessert die Genauigkeit in der Reproduktion bei ungeübten Personen deutlich.

Durch lautes Zählen kann noch eine weitere signifikante Verbesserung erreicht werden.

Der durchschnittliche Betrag der Abweichung, sowie der persönlichen Streuung, verringern sich durch diese Strategie merklich.

Rhythmische Bewegung, sowie zusätzliche visuelle Rückmeldung wirkt sich hingegen im Vergleich zum lauten Zählen nicht signifikant auf die Ergebnisse aus, obwohl diese eine oft verwendete Strategie ist. Das oben vorgeschlagene Modell zur Zeitwahrnehmung und Rhythmusproduktion ist deshalb als unzureichend zu bewerten.

Hypothese 1 lässt sich hingegen weder eindeutig be- noch widerlegen. Die beobachteten Ergebnisse lassen sich auf verschiedene Effekte zurückführen. Dass vielfältige sensorische Rückmeldung also das Zeitgefühl des Menschen verbessert, kann nicht eindeutig bewiesen werden.

5.5.1 Praktische Anwendbarkeit der Testergebnisse

Aufgrund der verwendeten Stichprobe beziehen sich die Ergebnisse lediglich auf Personen ohne größere Vorerfahrung in Sachen Rhythmus.

Zudem wurden die Testergebnisse in einer künstlichen Umgebung ermittelt und sind nicht ohne weiteres auf andere Situationen übertragbar. So sind Musiker nur selten mit einer Generalpause¹¹ konfrontiert. Es bestehen also häufig immer noch zeitliche, bzw. rhythmische Orientierungspunkte, wenn ein Musiker in seinem Spiel aussetzt.

Aber auch andere Einflüsse verändern die Wahrnehmung von Zeit. In einer alltäglichen Situation können die verschiedenen Sinneseindrücke nicht systematisch eliminiert werden, wie in der Testumgebung. Aus diesem Grund erreichen uns viele Informationen über unsere Sinne, die die Zeit strukturieren. Je stärker diese Strukturierung ist, als desto länger nimmt man die vergangene Zeit wahr (Mark, 2003). Dieser Effekt nennt sich „filled duration illusion“ (Fraisse, 1985, S. 136; Macar, 1985).

Zudem ist zu vermuten, dass auch Gemütszustand und Erwartungshaltungen in Bezug auf ein Musikstück die Zeitwahrnehmung beeinflussen können. Hinzu kommt die soziale Komponente der Interaktion zwischen Musikern.

Aus diesen Gründen ist eine Übertragbarkeit der Testergebnisse auf eine reale musikalische Situation nur schwer möglich, da hier eher grundlegende Prinzipien unter Laborbedingungen betrachtet wurden.

So lassen sich, basierend auf den hier dargelegten Testergebnissen und Aussagen der Probanden, nur sehr bedingt Empfehlungen aussprechen, welche Strategien

¹¹ Generalpause: Alle Musiker eines Orchesters/Ensembles pausieren gleichzeitig.

zur Zeitwahrnehmung und Rhythmusproduktion Personen anwenden sollten, die wenig musikalische oder sonstige rhythmische Vorerfahrung haben.

Es ist aber zu vermuten, dass es in Situationen, in denen es gilt, eine vorgegebene Zeitspanne zu wiederholen oder ein Metrum genau zu halten, die beste Strategie ist, das Intervall durch lautes Zählen zu überbrücken oder das Metrum weiterzuzählen. Damit kann die Zeit markiert, eingeteilt und dadurch genauer wahrgenommen werden.

Nur in Situationen, in denen lautes Zählen nicht möglich ist (z.B. in einer musikalischen Darbietung o.ä.) wäre es demnach zu empfehlen, dass ungeübte Personen auf die Strategie des inneren Zählens zurückgreifen.

5.6 *Ausblick*

Um Empfehlungen aussprechen zu können, welche Strategien Musiker verwenden sollten, um das Tempo eines Stückes zu halten, sollte dieser Test mit erfahrenen Musikern wiederholt werden. Zudem könnten weitere Strategien getestet werden. So wurde der Effekt von zyklischer Bewegung ohne gleichzeitiges Zählen hier nicht getestet. Außerdem ließen sich noch andere Bewegungsformen betrachten, wie z.B. kreisförmige, oder Bewegungsmuster wie Dirigenten sie vollführen. Vor allem eine Betrachtung von Schlägen auf den eigenen Körper (z.B. auf den Oberschenkel oder Klatschen der Hände) erscheint sinnvoll, da dies eine Technik ist, die eher verwendet wird, als das Schlagen auf eine körperfremde Oberfläche.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob die hier beobachteten Effekte auf andere Tempi übertragbar sind und wie wichtig die Synchronisationsphase ist.

Um die praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse zu unterstützen, wäre es sinnvoll, die Trainierbarkeit der verschiedenen Strategien zu untersuchen. Die hier ermittelten Ergebnisse basieren lediglich auf der Beobachtung der Leistung bei einmaliger Ausführung. Es besteht die Möglichkeit, dass manche Strategien nach Training und damit Gewöhnung an die Ausführung, bessere Leistungen erbringen. Hier sei noch einmal auf die Hypothese verwiesen, dass die Schwierigkeit der Ausführung möglicherweise die Ergebnisse verschlechtern könnte.

Der hier gewählte Ansatz, ein musikwissenschaftliches Thema anhand von Aspekten aus der Bewegungswissenschaft zu betrachten zeigt zudem, dass diese Disziplinen sich gegenseitig befruchten können. Es bleibt zu hoffen, dass diese Chance auch in Zukunft ergriffen wird.

6 Literaturverzeichnis

- Adlung, J., 1758: Anleitung zu der musikalischen Gelahrtheit". Erfurt. Zitiert in: Rötter, G., 1997: Musik und Zeit. Kognitive Reflexion versus rhythmische Interpretation. Frankfurt a. M.: Lang.
- Altenmüller, E., Schuppert, M., Kuck, H., Bangert, M., Großbach, M. (2000): Neuronale Grundlagen der Verarbeitung musikalischer Zeitstrukturen. In: K. Müller & G. Aschersleben (Hrsg.): Rhythmus. Ein interdisziplinäres Handbuch. Bern: Huber. S. 59-78.
- Aschersleben, G., 2000: Zeitliche Steuerung einfacher motorischer Handlungen. In: Müller, K., Aschersleben, G. (Hrsg.), 2000: Rhythmus. Ein interdisziplinäres Handbuch. Bern: Huber. S. 137-158.
- Aschersleben, G., Prinz, W., 1995: Synchronizing actions with events: The role of sensory information. *Perception & Psychophysics*, 57 (S. 305-317)
- Aschersleben, G., Prinz, W., 1997: Delayed auditory feedback in synchronization. *Journal of Motor Behaviour*, 29 (S. 35-46).
- Balasubramaniam, R., Wing, A.M., Daffertshofer, A., 2004: Keeping with the beat: movement trajectories contribute to movement timing. *Exp Brain Res* (2004) 159: S. 129–134.
- Blaschke, S., 2009: Zeitwahrnehmung in isochronen Sequenzen: Ein Vergleich verschiedener Modelle zum Einfluss des Kontextes auf die Wahrnehmungsleistung. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen.
- Buffardi, L., 1971.: Factors affecting the filled-duration illusion in the auditory, tactual, and visual modalities. *Perception & Psychophysics*, 10, S. 292-294.
- Darlington, T.K., Wager-Smith, K., Ceriani, M.F., Staknis, D., Gekakis, N., Steeves, T.D., Weitz, C. J., Takaahsi, J.S., & Kay, S.A., 1998: Closing the circadian loop: CLOCK-induced transcription of its own inhibitors per and tim. *Science*, 280, S. 1599-1603.
- Engström, D. A., Kelso, J. A. S., Holroyd, T., 1996: Reaction-anticipation transitions in human perception-action patterns. *Human Movement Science*, 15, 809-832.
- Epstein, D., 1992: "Das Erlebnis der Zeit in der Musik. Struktur und Prozeß." In: „Die Zeit. Dauer und Augenblick“ R. Piper GmbH & Co. KG, München.
- Fischinger, T., 2009: Zur Psychologie des Rhythmus. Präzision und Synchronisation bei Schlagzeugern. kassel university press GmbH, Kassel.
- Fraisse, P., 1980: Les synchronisations sensori-motrices aux rythmes. In: Requin, J. (Ed.): *Anticipation et comportement*, S. 233-257, Paris: Centre National.
- Fraisse, P., 1985: Psychologie der Zeit: Konditionierung, Wahrnehmung, Kontrolle, Zeitschätzung, Zeitbegriff (übersetzt aus der französischen Originalausgabe: *Psychologie du temps*, Presses Universitaires de France, Paris 1957). München: Ernst Reinhardt.
- Galway, J., 1988: Die Flöte. Frankfurt a.M., Berlin: Ullstein
- Gibbons, H., Brandler, S., Rammsayer, T.H. 2003: Dissociating aspects of temporal and frequency processing: A functional ERP study in humans. *Cortex*. 2003 Sep-Dec;39(4-5):947-65.
- Grondin, S., 2010: Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception & Psychophysics*, 73 (3), S. 561-582.
- Grondin, S., Meilleur-Wells, G. & Lachance, R., 1999: When to start explicit counting in a time-intervals discrimination task: A critical point in the timing process of humans. *Journal of Experimental Psychology*, 25 (4), S. 993-1004.
- Großbach, M., 2004: Neuronale Grundlagen des Erwerbs mentaler Repräsentationen musikalischer Zeitstrukturen (Rhythmus und Metrum), Dissertation Universität Hannover:
- Infeld, L., Einstein, A., 1938: The Evolution of Physics. Simon and Schuster.
- Ivry, R.B., Spencer, R. MC., 2004: The neural representation of time. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 225-232
- Macar, F., 1985: Time Psychophysics and Related Models. In: Michon, J.A. & J. Jackson, J.L. (Hrsg.): Time, Mind, and Behavior. Berlin: Springer, S. 112-130.
- Mark, A. M., 2003: Ist die Zeit wirklich relativ? Eine Untersuchung zur subjektiven, menschlichen Wahrnehmung von Zeitverläufen mittlerer Länge, in Abhängigkeit von vorgegebenen Bewertungen von Handlungssituationen, unter Berücksichtigung der theoretischen Modelle

- der Veränderungsmenge (VM), des Speicherbedarfs (SB) und des Verarbeitungsaufwands (VA). Dissertation Fernuniversität Hagen.
- Matell, M. S., & Meck, W. H., 2000: Neuropsychological mechanisms of interval timing behavior. *BioEssays*, 22, 94-103.
- Matell, M. S., King, G. R., Meck, W. H., 2004: Differential modulation of clock speed by the administration of intermittent versus continuous cocaine. *Behavioral Neuroscience*, 118, 150-156.
- Mates, J., Radil, T., Müller, U., & Pöppel, E., 1994: Temporal integration in sensorimotor synchronization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 332-340.
- Metzner, M.S., 1999: Zeiterleben und Empfindungsqualität – Zeitpsychologische Grundlagen und Ergebnisse einer empirischen Studie – Diplomarbeit Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Müsebeck, K., 1997: Umgang mit Ichzeiten: synchrones Programmieren von Bio-, Mental- und Sozialzeiten, Frankfurt (Main): Fischer.
- Naumann, A., 1998: Zeit, Raum und Bewegung als Kriterien der Kunstbetrachtung. Antrittsvorlesung an der FH Ottersberg (Fachbereich Kunstgeschichte), Zugriff am 13. August 2013 unter <http://www.kunst-kontext.de/downloads/texten/zeit-raum-bewegung.pdf>.
- Ornstein, R.E., 1969: On the Experience of Time, Penguin Books.
- Paillard, J., 1949: Quelques données psychophysiologiques relatives au déclenchement de la commande. *L'Année Psychologique*, 48 (S. 28-47).
- Pape, N., 2010: Berechenbare quantitative Modelle der Dauerschätzung. Dissertation Technische Universität Berlin.
- Piaget, J., 1974: Die Bildung des Zeitbegriffs beim Kinde. Suhrkamp, Frankfurt a.M..
- Pöppel, E., 1996: Reconstruction of subjective time on the basis of hierarchically organized processing system. In: M. A. Pastor, & J. Artieda (Hrsg.), Time, Internal Clocks and Movement (pp. 165-185). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Pöppel, E., 1997: A hierarchical model of temporal perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, S. 56-61.
- Pöppel, E., 1999: "Eine zu große Herausforderung? Einige Fragen über die Zeit." In: *Forschung & Lehre*, 12/99, S. 623-625.
- Pöppel, E., 2000: Grenzen des Bewußtseins. Wie kommen wir zur Zeit, und wie entsteht Wirklichkeit? Frankfurt a.M.: Insel Verlag (3. Auflage).
- Poynter, W. D., 1983: Duration judgment and the segmentation of experience. *Memory and Cognition*, 11, S. 77-82.
- Repp, B. H., 2005: Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. In: *Psychonomic Bulletin & Review*, 2005, 12 (6), 969-992.
- Repp, B. H., 2006: Musical synchronization. In: Altenmüller, E., Wiesendanger, M., Kesselring, J.: Music, Motor Control and the Brain. Oxford University Press.
- Röthig u.a. (Hrsg.), 1992: Sportwissenschaftliches Lexikon: Hofmann: Schorndorf.
- Rötter, G., 1997: Musik und Zeit. Kognitive Reflexion versus rhythmische Interpretation. Frankfurt a.M.: Lang.
- Shaffer, L.H., 1982: Rhythm and timing in skill. *Psychological Review*, 89 (2), S. 109-122.
- Schöner, G., 2001: Timing, Clocks, and Dynamical Systems. *Brain and Cognition* 48, S. 31-51.
- Schubotz, R.I., Friederici, A.D., von Cramon, D.Y., 2000: Time Perception and Motor Timing: A Common Cortical and Subcortical Basis Revealed by fMRI - in: *NeuroImage* 11, S. 1-12.
- Sternberg, S., Knoll, R.L., 1984: Perception, Production, and Imitation of Time Ratios by Skilled Musicians. In: Gibbon, J., & Allan, L. (Hrsg.): Timing and Time Perception, *Annals of the New York Academy of Sciences* (423), New York, 1984, S. 429-441.
- Szelag, E., von Steinbüchel, N., Reiser, M., de Langen, E. G., & Pöppel, E., 1996: Temporal constraints in processing of nonverbal rhythmic patterns. *Acta Neurobiologica Experimentalis*, 56, S. 215-225.
- Thomas, E. A. C. & Brown, I. Jr., 1974: Time perception and the filled-duration illusion. *Perception & Psychophysics*, 16, S. 449-458.
- Treisman, M., 1963: Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs: General and Applied*, 77 (13), S. 1-31.
- Vos, P.G., Mates, J. & van Kruysbergen, N.W., 1995: The perceptual centre of a stimulus as the cue for synchronization to a metronome: evidence from asynchronies. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48 (4), S. 1024-1040.

- Wang, C., 2008: Das chinesische Presto. In: GLOBArt (Hrsg.), 2009: Entschleunigung. Die Entdeckung der Langsamkeit. SpringerWienNewYork, S. 50-56.
- Wittmann, M., Kagerer, F. & Pöppel, E., 1999: Wie, wann und was können wir lernen? Zeitliche und räumliche Merkmale sensomotorischer Koordination. *Zentralblatt für Chirurgie*, 124, S. 876-883.
- Wittmann, M., & Pöppel, E., 1999/2000: Temporal mechanisms of the brain as fundamentals of communication — with special reference to music perception and performance. *Musicæ Scientiæ* (Special issue), S. 13-28.
- Wyss, D., 1973: Beziehung und Gestalt. Entwurf einer anthropologischen Psychologie und Psychopathologie, Göttingen Vandenhoeck & Ruprecht.
- http://www.artawakeningsprojects.com/uploads/6/5/4/7/6547025/poms_sf_profile_of_mood_states.pdf (Zugriff am 13. Februar 2013).

7 Anhang

7.1 Fragebogen zur Untersuchung

Probandennummer:

Unten findest du eine Liste mit Wörtern von Gefühlszuständen die Leute haben. Bitte lies dir alle genau durch und umkreise rechts von dem Wort **eine** Antwort, die beschreibt, wie du dich **in den letzten 24 Stunden** gefühlt hast.

0 = gar nicht

1 = ein wenig

2 = mittelmäßig

3 = recht stark

4 = sehr stark

- | | |
|--------------------|-----------|
| 1. Angespannt | 0 1 2 3 4 |
| 2. Wütend | 0 1 2 3 4 |
| 3. Überarbeitet | 0 1 2 3 4 |
| 4. Unglücklich | 0 1 2 3 4 |
| 5. Lebhaft | 0 1 2 3 4 |
| 6. Verwirrt | 0 1 2 3 4 |
| 7. Sauer | 0 1 2 3 4 |
| 8. Traurig | 0 1 2 3 4 |
| 9. Aktiv | 0 1 2 3 4 |
| 10. Gereizt | 0 1 2 3 4 |
| 11. Missmutig | 0 1 2 3 4 |
| 12. Melancholisch | 0 1 2 3 4 |
| 13. Voller Energie | 0 1 2 3 4 |
| 14. Verzweifelt | 0 1 2 3 4 |
| 15. Unruhig | 0 1 2 3 4 |
| 16. Ruhelos | 0 1 2 3 4 |
| 17. Unkonzentriert | 0 1 2 3 4 |

18. Müde	0 1 2 3 4
19. Verärgert	0 1 2 3 4
20. Mutlos	0 1 2 3 4
21. Aufgebracht über etwas	0 1 2 3 4
22. Nervös	0 1 2 3 4
23. Elend	0 1 2 3 4
24. Fröhlich	0 1 2 3 4
25. Niedergeschlagen	0 1 2 3 4
26. Erschöpft	0 1 2 3 4
27. Ängstlich	0 1 2 3 4
28. Hilflos	0 1 2 3 4
29. Lustlos	0 1 2 3 4
30. Durcheinander	0 1 2 3 4
31. Wutentbrannt	0 1 2 3 4
32. Voller Elan	0 1 2 3 4
33. Wertlos	0 1 2 3 4
34. Vergesslich	0 1 2 3 4
35. Kräftig	0 1 2 3 4
36. Unsicher	0 1 2 3 4
37. Entkräftet	0 1 2 3 4
38. Gehetzt	0 1 2 3 4
39. Außer Atem	0 1 2 3 4
40. Unter Zeitdruck	0 1 2 3 4

7.2 Gesamte Testergebnisse

--- = Ergebnis eliminiert / Proband Nr. 32 wurde wegen Einnahme von Drogen komplett ausgeschlossen

Probandennummer	Reihenfolge	Test 1	-Test 1	-Test 1	-
		Ergebnis 1	Ergebnis 2	Ergebnis 3	
1	15423	-0,31	0,09	-0,06	
2	42135	-0,94	-1,46	-0,06	
3	45213	0,1	-0,29	-1,65	
4	51423	-1,44	0,24	-0,68	
5	14235	-1,6	-1,29	-2,15	
6	15234	-2,17	-0,37	-0,41	
7	43152	-1,73	-1,08	-0,48	
8	21354	-----	-----	-----	
9	35142	-2,19	-2,11	-1,22	
10	43125	-1,82	-2,03	-2,09	
11	25431	-1,17	-0,89	-0,3	
12	23154	-0,92	-1,57	-0,83	
13	21534	-1,58	-1,54	-0,51	
14	14325	-1,71	-1,2	-0,98	
15	35421	-0,67	-0,61	-1,73	
16	24315	1,63	0,05	0,82	
17	53142	-2,32	0,54	-1,76	
18	54231	-1,88	-2,38	-3,25	
19	52143	-1,85	-0,63	-0,29	
20	34125	-2,28	-2,1	-1,47	
21	41523	-0,71	1,96	-1,52	
22	45123	-1,62	-2,81	-1,76	
23	53241	0,07	-1,79	-1,05	
24	14253	-1,75	-2,45	-2,47	
25	43521	0,76	1,06	0,81	
26	52314	-0,74	-0,28	-0,98	
27	21543	-0,02	-1,89	-1,69	
28	13452	-2,74	-1,82	-2,39	
29	24351	0,91	-0,76	0,11	
30	21453	-0,68	-1,22	-2,21	
31	32145	-1,09	-1,06	-2,13	
Probandennummer	Reihenfolge	Test 2	-Test 2	-Test 2	-
		Ergebnis 1	Ergebnis 2	Ergebnis 3	

1	15423	-0,06	-0,01	0,11
2	42135	0,73	0,86	0,84
3	45213	-0,96	-0,71	-0,77
4	51423	0,23	0,41	0,7
5	14235	-0,58	-0,96	-0,74
6	15234	0,61	1,42	1,61
7	43152	-0,65	0,27	0,28
8	21354	-0,13	-0,42	-0,2
9	35142	-0,26	-0,1	-0,24
10	43125	0,22	0,16	0,32
11	25431	0,06	-0,44	-0,14
12	23154	0,41	0,98	0,8
13	21534	-1,01	-0,45	-1,12
14	14325	1,06	0,59	0,94
15	35421	0,24	0,65	0,8
16	24315	-0,1	0,26	0,35
17	53142	-1,08	-0,98	-0,74
18	54231	0,07	-0,07	-0,17
19	52143	-0,5	-0,38	-0,35
20	34125	0,06	-0,15	0,14
21	41523	-1,11	-1,02	-0,81
22	45123	0,4	0,68	0,46
23	53241	-0,41	-0,05	0,04
24	14253	-0,47	-0,42	-0,34
25	43521	-0,01	0,11	-0,01
26	52314	-0,39	0,03	-0,25
27	21543	-1,67	-1,5	-1,12
28	13452	0,54	0,59	0,19
29	24351	-1,2	-0,72	0,31
30	21453	0,22	0,02	0,1
31	32145	-0,04	0,64	0,65

Test 3 -Test 3 -Test 3 -
 Probandennummer Reihenfolge Ergebnis 1 Ergebnis 2 Ergebnis 3

1	15423	-0,31	-0,25	-0,13
2	42135	0,01	-0,37	-0,17
3	45213	-0,9	-0,7	-0,33

4	51423	0,15	-0,06	-0,08
5	14235-----	-----	-----	-----
6	15234	0,24	0,49	0,69
7	43152	0,07	-0,29	-0,04
8	21354	-0,07	0,05	0,32
9	35142	-0,03	-0,08	0,2
10	43125	0,19	0,15	0,08
11	25431	-0,1	-0,06	-0,15
12	23154	0,16	-0,36	-0,12
13	21534	-0,41	-0,19	-0,29
14	14325	-0,04	0,09	0,07
15	35421	0,08	0,08	0,04
16	24315	-0,08	-0,17	-0,2
17	53142	-0,09	-0,08	0,36
18	54231	0,05	-0,19	-0,11
19	52143	-0,51	-0,35	-0,52
20	34125-----	-----	-----	-----
21	41523	-0,32	-0,37	-0,5
22	45123	-0,02	-0,02	-0,31
23	53241	-0,17	0,04	-0,17
24	14253	-0,69	-0,45	-0,54
25	43521	-0,19	-0,27	-0,39
26	52314	-0,24	-0,16	-0,07
27	21543	-0,55	-0,54	-0,71
28	13452	0,26	0,29	0,22
29	24351	0,35	0,25	0,2
30	21453	-0,13	-0,28	0,03
31	32145	0,09	0,15	0,26

Test 4 -Test 4 -Test 4 -
 Probandennummer Reihenfolge Ergebnis 1 Ergebnis 2 Ergebnis 3

1	15423	-0,07	-0,12	-0,2
2	42135	0,2	0,01	0,12
3	45213	-0,74	-0,53	-0,16
4	51423	0,05	0,04	-0,22
5	14235	-0,06	-0,06	-0,13
6	15234	0,43	0,58	0,56

7	43152	-0,08	-0,28	-0,35
8	21354	-0,26	-0,16	0,13
9	35142	0,14	0,14	0,04
10	43125	-0,12	0,05	0,03
11	25431	-0,3	-0,05	-0,15
12	23154	-0,14	-0,11	0,03
13	21534	-0,12	-0,35	-0,25
14	14325	0,52	0,14	0,36
15	35421	0,22	0,14	0,18
16	24315	-0,26	-0,25	-0,31
17	53142	-0,4	-0,22	-0,14
18	54231	0,1	0,12	0,1
19	52143	-0,46	-0,47	-0,58
20	34125	0	0,07	-0,08
21	41523	-0,26	-0,04	-0,21
22	45123	-0,39	-0,21	-0,11
23	53241	0,04	0,02	-0,17
24	14253	-0,25	-0,31	-0,22
25	43521	-0,08	-0,16	-0,26
26	52314	-0,06	0,01	-0,11
27	21543	-0,55	-0,73	-0,69
28	13452	0,02	0,21	0,13
29	24351	0,03	0,17	0,35
30	21453	-0,53	-0,31	-0,28
31	32145	0,33	0,1	0,05

Test 5 -Test 5 -Test 5 -
 Probandennummer Reihenfolge Ergebnis 1 Ergebnis 2 Ergebnis 3

1	15423	-0,03	-0,1	-0,2
2	42135	0,08	0,07	0,18
3	45213	-0,44	-0,36	-0,46
4	51423	-0,19	-0,16	-0,13
5	14235	-0,34	-0,43	-0,2
6	15234	0,23	-0,01	0,31
7	43152	-0,56	-0,24	-0,23
8	21354	-0,01	0,1	-0,07
9	35142	-0,21	-0,02	-0,04

10	43125	-0,25	-0,2	-0,21
11	25431	0,05	-0,37	-0,23
12	23154	0,02	0,01	0,08
13	21534	-0,47	-0,52	-0,42
14	14325	0,16	-0,15	-0,08
15	35421	0,05	0,02	-0,15
16	24315	-0,3	0,11	0,27
17	53142	-0,3	-0,35	-0,49
18	54231	0,11	0,21	0,24
19	52143	-0,17	-0,38	-0,32
20	34125	-0,08	-0,22	0,03
21	41523	-0,11	-0,42	-0,28
22	45123	-0,72	-0,83	-0,69
23	53241	-0,11	-0,04	-0,06
24	14253	-0,34	-0,29	-0,44
25	43521	-0,09	-0,31	-0,24
26	52314	-0,14	-0,12	0,03
27	21543	-0,56	-0,62	-0,51
28	13452	0,29	-0,07	0,19
29	24351	0,59	0,13	0,42
30	21453	-0,43	-0,2	-0,08
31	32145	-0,07	0,05	-0,2

7.3 Ergebnisse der statistischen Auswertung (SPSS)

7.3.1 Zum durchschnitt der Abweichung:

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
T1MW	,135	28	,200*	,955	28	,270
T2MW	,100	28	,200*	,985	28	,954
T3MW	,123	28	,200*	,975	28	,716
T4MW	,100	28	,200*	,984	28	,930
T5MW	,072	28	,200*	,993	28	1,000

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MASS_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Faktor1	Linear	7,760	1	7,760	27,622	,000	,506
	Quadratisch	8,040	1	8,040	23,580	,000	,466
	Kubisch	2,823	1	2,823	14,888	,001	,355
	Ordnung 4	,783	1	,783	8,283	,008	,235
Fehler(Faktor1)	Linear	7,585	27	,281			
	Quadratisch	9,206	27	,341			
	Kubisch	5,119	27	,190			
	Ordnung 4	2,553	27	,095			

Paarweise Vergleiche

Maß: MASS_1

(I)Faktor1	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.b	95% Konfidenzintervall für die Differenzb		
				Untergrenze	Obergrenze	
1	2	-,997*	,210	,000	-1,427	-,567
	3	-,906*	,174	,000	-1,263	-,550
	4	-,929*	,172	,000	-1,282	-,575
	5	-,867*	,159	,000	-1,192	-,541
2	1	,997*	,210	,000	,567	1,427
	3	,091	,096	,353	-,107	,289
	4	,069	,092	,462	-,120	,257

	5	,131	,105	,225	-,085	,346
3	1	,906*	,174	,000	,550	1,263
	2	-,091	,096	,353	-,289	,107
	4	-,022	,030	,469	-,085	,040
	5	,040	,043	,365	-,049	,128
4	1	,929*	,172	,000	,575	1,282
	2	-,069	,092	,462	-,257	,120
	3	,022	,030	,469	-,040	,085
	5	,062	,035	,089	-,010	,134
5	1	,867*	,159	,000	,541	1,192
	2	-,131	,105	,225	-,346	,085
	3	-,040	,043	,365	-,128	,049
	4	-,062	,035	,089	-,134	,010

Basiert auf den geschätzten Randmitteln

*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

b. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Geringste signifikante Differenz (entspricht keinen Anpassungen).

7.3.2 Zum durchschnittlichen Betrag der Abweichung

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
T1MW	,126	28	,200*	,940	28	,113
T2MW	,155	28	,084	,933	28	,072
T3MW	,205	28	,004	,835	28	,000
T4MW	,184	28	,016	,858	28	,001
T5MW	,158	28	,070	,898	28	,011

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MASS_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Faktor1	Linear	14,521	1	14,521	110,823	,000	,804
	Quadratisch	6,029	1	6,029	41,251	,000	,604
	Kubisch	,458	1	,458	6,155	,020	,186
	Ordnung 4	,002	1	,002	,053	,820	,002
Fehler(Faktor1)	Linear	3,538	27	,131			
	Quadratisch	3,946	27	,146			
	Kubisch	2,008	27	,074			
	Ordnung 4	1,000	27	,037			

Paarweise Vergleiche

Maß: MASS_1

(I)Faktor1	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.b	95% Konfidenzintervall für die Differenzb		
				Untergrenze	Obergrenze	
1	2	,716*	,133	,000	,444	,989
	3	,997*	,115	,000	,760	1,234
	4	1,010*	,116	,000	,772	1,248
	5	,992*	,107	,000	,773	1,210
2	1	-,716*	,133	,000	-,989	-,444
	3	,281*	,059	,000	,159	,403
	4	,294*	,058	,000	,176	,412
	5	,276*	,064	,000	,144	,407
3	1	-,997*	,115	,000	-1,234	-,760
	2	-,281*	,059	,000	-,403	-,159
	4	,013	,024	,603	-,037	,063

	5		-,005	,034	,880	-,075	,064
4	1		-1,010*	,116	,000	-1,248	-,772
	2		-,294*	,058	,000	-,412	-,176
	3		-,013	,024	,603	-,063	,037
	5		-,018	,030	,556	-,080	,044
5	1		-,992*	,107	,000	-1,210	-,773
	2		-,276*	,064	,000	-,407	-,144
	3		,005	,034	,880	-,064	,075
	4		,018	,030	,556	-,044	,080

Basiert auf den geschätzten Randmitteln

*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

b. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Geringste signifikante Differenz (entspricht keinen Anpassungen).

7.3.3 Zur durchschnittlichen persönlichen Streuung

Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von Test1 ist normal mit Mittelwert 1,280 und Standardabweichung 0,71.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,707	Nullhypothese behalten.
2	Die Verteilung von Test2 ist normal mit Mittelwert 0,438 und Standardabweichung 0,31.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,474	Nullhypothese behalten.
3	Die Verteilung von Test3 ist normal mit Mittelwert 0,235 und Standardabweichung 0,13.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,460	Nullhypothese behalten.
4	Die Verteilung von Test4 ist normal mit Mittelwert 0,205 und Standardabweichung 0,11.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,663	Nullhypothese behalten.
5	Die Verteilung von Test5 ist normal mit Mittelwert 0,219 und Standardabweichung 0,13.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,721	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Test	Sphärizität angenommen	23,646	4	5,911	47,943	,000	,640
	Greenhouse-Geisser	23,646	1,484	15,932	47,943	,000	,640
	Huynh-Feldt	23,646	1,550	15,252	47,943	,000	,640
	Untergrenze	23,646	1,000	23,646	47,943	,000	,640
Fehler(Test)	Sphärizität angenommen	13,317	108	,123			
	Greenhouse-Geisser	13,317	40,073	,332			
	Huynh-Feldt	13,317	41,859	,318			
	Untergrenze	13,317	27,000	,493			

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MASS_1

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Test Niveau 1 vs. Niveau 2	19,854	1	19,854	32,965	,000	,550
Niveau 2 vs. Niveau 3	1,124	1	1,124	9,444	,005	,259
Niveau 3 vs. Niveau 4	,031	1	,031	1,582	,219	,055
Niveau 4 vs. Niveau 5	,006	1	,006	,192	,664	,007
Fehler (Test) Niveau 1 vs. Niveau 2	16,262	27	,602			
Niveau 2 vs. Niveau 3	3,212	27	,119			
Niveau 3 vs. Niveau 4	,523	27	,019			
Niveau 4 vs. Niveau 5	,810	27	,030			

Paarweise Vergleiche

Maß: MASS_1

(I)Test	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.b	95% Konfidenzintervall für die Differenzb
---------	--------------------------	----------------	-------	---

					Untergrenze	Obergrenze
1	2	,842*	,147	,000	,394	1,290
	3	1,042*	,129	,000	,647	1,437
	4	1,075*	,132	,000	,670	1,480
	5	1,061*	,135	,000	,648	1,475
2	1	-,842*	,147	,000	-1,290	-,394
	3	,200*	,065	,048	,001	,400
	4	,233*	,059	,005	,055	,412
	5	,219*	,054	,004	,055	,383
3	1	-1,042*	,129	,000	-1,437	-,647
	2	-,200*	,065	,048	-,400	-,001
	4	,033	,026	1,000	-,047	,113
	5	,019	,041	1,000	-,106	,144
4	1	-1,075*	,132	,000	-1,480	-,670
	2	-,233*	,059	,005	-,412	-,055
	3	-,033	,026	1,000	-,113	,047
	5	-,014	,033	1,000	-,114	,086
5	1	-1,061*	,135	,000	-1,475	-,648
	2	-,219*	,054	,004	-,383	-,055
	3	-,019	,041	1,000	-,144	,106
	4	,014	,033	1,000	-,086	,114

Basiert auf den geschätzten Randmitteln

*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

b. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni.

Deskriptive Statistik

			Statistik	Standardfehler
Test1 Mittelwert			1,2800	,13421
95% Konfidenzintervall Mittelwerts	des Untergrenze	Obergrenze	1,0046	1,5554
5% getrimmtes Mittel			1,2234	

Median			1,1510	
Varianz			,504	
Standardabweichung			,71016	
Minimum			,27	
Maximum			3,48	
Spannweite			3,20	
Interquartilbereich			,89	
Schiefe			1,297	,441
Kurtosis			2,616	,858
Test2 Mittelwert			,4379	,05931
95% Konfidenzintervall		des Untergrenze	,3162	
Mittelwerts		Obergrenze	,5596	
5% getrimmtes Mittel			,4040	
Median			,4075	
Varianz			,098	
Standardabweichung			,31383	
Minimum			,12	
Maximum			1,51	
Spannweite			1,39	
Interquartilbereich			,39	
Schiefe			1,740	,441
Kurtosis			4,010	,858
Test3 Mittelwert			,2376	,02545
95% Konfidenzintervall		des Untergrenze	,1854	
Mittelwerts		Obergrenze	,2898	
5% getrimmtes Mittel			,2311	
Median			,2045	
Varianz			,018	
Standardabweichung			,13467	
Minimum			,03	
Maximum			,56	
Spannweite			,53	
Interquartilbereich			,16	
Schiefe			,909	,441
Kurtosis			,250	,858
Test4 Mittelwert			,2045	,02092
95% Konfidenzintervall		des Untergrenze	,1616	

Mittelwert	Obergrenze	,2475	
5% getrimmtes Mittel		,1967	
Median		,1895	
Varianz		,012	
Standardabweichung		,11068	
Minimum		,02	
Maximum		,58	
Spannweite		,55	
Interquartilbereich		,14	
Schiefe		1,283	,441
Kurtosis		3,627	,858
Test5 Mittelwert		,2189	,02500
95% Konfidenzintervall	des Untergrenze	,1676	
Mittelwert	Obergrenze	,2702	
5% getrimmtes Mittel		,2105	
Median		,1910	
Varianz		,017	
Standardabweichung		,13228	
Minimum		,05	
Maximum		,57	
Spannweite		,52	
Interquartilbereich		,21	
Schiefe		,866	,441
Kurtosis		,248	,858