

1.3.2. Mechanozeptische Diskrimination

Eine Untersuchung von Rasch im Jahr 1988 ermittelte Schwankungen von rund 30 sowie 50ms bei den Einsatzzeiten der Instrumente in Bläser- und Streichertrios³⁵. Die Werte entsprechen der Dauer, bis zu der sich das Klangcharakteristikum des jeweiligen Instrumentes vollständig aufgebaut hat. Zwei Schlussfolgerungen können daraus gezogen werden: Die Akustik der Instrumente ist als Resultat des Instrumentenbaus an der Güte unseres Gehörs orientiert. Gleichermaßen ist die mechanozeptische Diskrimination in der von Rasch untersuchten Umgebung nicht präziser als die zeitliche Hörschwelle.

Indes bezogen sich die Untersuchungen von Rasch auf das Spiel im Ensemble. Im Gegensatz zum Solovortrag ist den Instrumentalisten dort der so genannte intramodale Vergleich³⁶ möglich: Die Instrumentalisten müssen innerhalb der auditiven Sinnesmodalität auch akustische Informationen benachbarter Instrumente auswerten, um die eigene Motorik zu steuern. Neuere Studien von Keller et al. (2007) deuten an, dass die Vorstellung über den Einsatz im Ensemble bei Instrumentalisten stärker als bislang angenommen vom eigenen Spiel beeinflusst wird. So zeigten Klavierspieler eine präzisere Synchronisation zu Aufnahmen des eigenen als zum Spiel anderer Pianisten. Auch erkannten sie den eigenen Vortrag eher als fremde Mitschnitte. Dabei synchronisierten jene Teilnehmer der Studie die eigene Aufnahme am besten, die diese am sichersten identifizieren konnten³⁷.

Der Befund von Keller lässt annehmen, dass hoch geschulte Instrumentalisten mentale Repräsentationen des eigenen Spiels besitzen, die weit über einzelne Noten hinausgehen. Indes ist nicht klar, wann und wie der Abgleich zwischen fremder und eigener Akustik und der eigenen Erwartung (aufgrund mentaler Repräsentation) über diese externen Reize stattfindet. Für ein sinnvolles Experiment zur Untersuchung etwaiger Schwellenwerte der Kopplung von Gehör, Motorik und einer möglichen mentalen Repräsentation (oder motorischem Programm) im Duett (Trio, Orchesterverband) wären wohl weitere Untersuchungen wie die von Keller und Rasch nötig, um die Einflüsse fremden Spiels auf das Verhalten der Probanden zu prüfen.

Die hiesige Studie beschränkt die Frage deshalb auf den intermodalen Vergleich zwischen den Sinnen. Gefragt wird, um welche Dauer (Schwellenwert) die beim Instrumentalspiel resultierende Akustik von der ursächlichen Motorik zusätzlich verzögert (Entkopplung) werden muss – wie stark also die sensomotorische Integration nach Bangert strapaziert –

³⁵ Rasch 1988, S. 78. Der Mittelwert betrug 36ms.

³⁶ Aschersleben 2000, S. 150f.

werden muss, bis eine auffällige motorische Reaktion folgt. Auch sucht diese Studie zur Beantwortung der Fragen 1 bis 1b nach einer etwaig zweiten Dauer, ab der die verzögerte akustische Rückmeldung die Folgemotorik nicht weiter stört, das fortgeführte Tempo sich also nicht signifikant von dem Tempo vor der Entkopplung (Störstelle) unterscheidet.

1.3.3. Größe verwendeter Entkopplungen

Aus Erkenntnissen der Tapping-Forschung (Vos 1992, Prinz 1997, Aschersleben 2000a, Fischer 2004) lässt sich die Größenordnung des zu ermittelnden neurophysiologischen Schwellenwertes für eine Kopplung von Gehör und Motorik bereits grob auf einen Bereich von 20 bis 120ms Zeitunterschied zwischen Reiz und Reaktion – oder einer Handlungsplanung samt Wahrnehmung ihrer erfolgreichen Ausführung – eingrenzen. Beim Spiel eines mechanoakustischen Klaviers liegt die Differenz zwischen Tastendruck und Toneinsatz – abhängig von der Anschlagstärke – zwischen 30 und 100ms³⁸. Dies stellt die selbstverständliche Spanne zwischen motorischer Ursache und akustischer Wirkung dar, in der Pianistinnen und Pianisten ihre Erwartungshaltung als erfüllt ansehen. Hingegen nehmen die Spieler zusätzliche Entkopplungen von 60ms am Klavier bewusst als Manipulation wahr³⁹. Die kleinste Störstelle dieser Studie muss deshalb zur Sicherheit einen geringeren Wert besitzen und wird auf 50ms festgesetzt. Für die längste Verzögerung bietet sich ein Wert von 120ms an. Denn in Versuchen zur so genannten Negativen Asynchronie erkannten Probanden bei Aschersleben (2000a) eine verzögerte akustische Rückmeldung auf eine ursächliche motorische Handlung nicht, wenn diese unter 100ms lag⁴⁰. Die längste Störstelle im hiesigen Experiment ist aus Sorgfalt deshalb mit 120ms um 20ms größer. Die von Aschersleben genannte Schwelle von 100ms ist sinnvoll auch selbst als Störgröße einzusetzen.

In einem Tapping-Versuch mit Führungssignal konnte Müller (2000b) in bildgebenden Verfahren beobachten, dass rund 80ms nach dem motorisch zu synchronisierenden akustischen Signal eine Region im primären somatosensorischen Kortex der Probanden aktiv wurde⁴¹. Dieser Region wird unter anderem die Funktion zugeschrieben, Signale verschiedener Sinne miteinander zu vergleichen⁴². Zudem war eine Negative Asynchronie

³⁷ Keller 2007, S. 102.

³⁸ Mäki-Patola 2005, S. 3.

³⁹ Ebda.

⁴⁰ Aschersleben 2000a, S. 145.

⁴¹ Müller 2000b, S. 302.

⁴² Schmidt 2000, S. 251.

zu beobachten: Die Probanden eilten dem akustischen Signal motorisch um zirka 80ms voraus und empfanden dies dennoch als zeitgleich. Für die meisten Probanden beschreibt Aschersleben den gleichen Wert als Obergrenze Negativer Asynchronien⁴³. Wurde bei Müller das Führungssignal taktil gegeben, verschwand die Asynchronie vollständig⁴⁴.

Zudem wanderte die kognitive Aktivierung in den posterior-parietalen Assoziationskortex, der an der Entwicklung von Bewegungsabläufen beteiligt ist⁴⁵. Müller schließt daraus, dass diese Regionen im Gehirn vermittelnde Funktionen übernehmen⁴⁶, etwa zur Auswertung der Bewegung. Demnach könnte es sein, dass zwischen ursächlich auditiv-motorisch gekoppelten Ereignissen – wie dem Klavierspiel – generell eine Zeit von mindestens 80ms vergehen muss, ehe die zeitliche oder gar ursächliche Kopplung in Frage gestellt werden kann. Deshalb wird auch dieser Wert als Störgröße eingesetzt und mit ihm die Annahme verbunden, er stelle einen Schwellenwert dar, ab dem auditiv-sensomotorisches Handeln anders organisiert wird (Hypothese B, siehe unten).

1.4. Hypothesen

Auf Grundlage vergleichbarer Versuchsanlagen (Finney 1997, Bangert 2001) sind kurzfristige Abweichungen im lokalen Tempo beim Klavierspiel des jeweiligen Probanden zu vermuten⁴⁷, wenn einzelne Tasten der Klaviatur zeitlich verzögert (entkoppelt) werden. Zeitliche Entkopplung meint im Rahmen dieser Studie dabei ausschließlich eine durch äußere Einwirkung (Manipulation) erwirkte, gegenüber der bautechnisch typischen Anschlagverzögerung mechanoakustischer Klaviere zusätzliche Verzögerung des Toneinsatzes. Sofern mechanoakustische Klaviere nach Mäki-Patola (2005) ohnehin je nach Anschlagstärke einen um 30 bis 100ms verzögerten Toneinsatz aufweisen, führt eine Entkopplung von 50ms im Rahmen dieser Studie mithin zu einer Gesamtverzögerung von 80 bis 150ms.

Abweichungen im lokalen Tempo infolge eines zusätzlich verzögerten Tones (Störstelle) könnten dabei von der Größe dieser zusätzlichen Verzögerung abhängig sein. Jede der fünf denkbaren Reaktionen der Probanden nach einer Störstelle wird dabei als Folgemotorik definiert: Die Pianisten schlagen die Folgezahlzeit genau im ursprünglichen Tempo an, zu früh (Temposteigerung), zu spät (Tempoverlangsamung) oder sie drücken

⁴³ Aschersleben 2000a, S. 139.

⁴⁴ Müller 2000b, S. 306.

⁴⁵ Schmidt 2000, S. 119.

⁴⁶ Müller 2000b, S. 307.

eine falsche (Tonhöhenfehler) oder keine Taste. Unterscheiden sich Temposteigerung- oder Verringerung auf signifikante Art von der vorausgehenden Tempogestaltung, ist dies in dieser Studie als Tempofehler definiert.

Beobachtet werden insbesondere die drei auf die Störstelle folgenden Zählzeiten. Sofern die Probanden ab der Störstelle eine signifikante lokale Tempoabweichung zeigen und diese bis zum Ende der dritten Folgezählzeit in Betrag und Richtung auf statistisch nicht zufällige Weise auszugleichen versuchen, gilt dies im Rahmen dieses Versuchs als Korrekturverhalten.

Ab einer Entkopplungsdauer (Störstelle) von 50 bis 80ms weisen die Pianisten eine verzögerte Folgemotorik beim nächsten Tastenanschlag auf: Jedoch wird ihnen dieses nicht bewusst. Die Probanden empfinden Handlung und resultierende Perzeption im Einklang. Es kommt weder zu einer dauerhaften Tempoveränderung, noch zu einem kurzfristigen Korrekturverhalten. Lediglich der feste Grundschlag verschiebt sich auf der Zeitleiste nach hinten.

Hypothese A

Des Weiteren ist interessant, ob sich auch in der zweiten oder gar dritten Zählzeit nach der Manipulation noch Effekte zeigen. So bestünde die Möglichkeit, dass die Probanden in Zählzeit zwei oder drei nach einer Störstelle zu einem Ausgleichsverhalten neigen, insofern ihnen ihr Tempofehler bewusst wurde:

Oberhalb von 80ms Manipulationsgröße zeigt sich ein anderes Verhalten. Wiederum wirkt die Verzögerung zunächst irritierend und die Teilnehmer schlagen die direkte Folgezählzeit zeitverzögert an. Die darauf folgenden Zählzeiten werden jedoch so lange in kürzeren Zeitintervallen gespielt (kurzfristig gesteigertes Tempo), bis die Tastenanschläge wieder auf den Grundschlag fallen, der dem Tempo vor der Störstelle innewohnt.

Hypothese B

Die Hypothesen A und B sowie eine noch zu formulierende Hypothese C gelten im Sinn der schließenden (induktiven⁴⁸) Statistik als Alternativhypothesen. Zu ihnen wird im statistischen Verfahren eine jeweilige Nullhypothese aufgestellt, die mit Methoden der schließenden Statistik zu testen ist. Sie besagt jeweils das Gegenteil der Alternativhypothesen. In dieser Studie bedeutete dies, dass die Verteilungen der

⁴⁷ Vergleiche dazu auch Pfordresher 2003, S. 954.

Messergebnisse – zum Beispiel beim Spiel mit verzögerten Tönen gegen unbeeinflusste Spielsituationen – nicht oder nur zufällig voneinander abweichen, die Störstellen also keinen der Einflüsse A bis C auf das Spiel der Probanden ausübten.

1.4.1. Kognitionsmodelle über die Steuerung musikalisch motorischer Prozesse

Sollten die Messergebnisse die Hypothese B bestätigen, läge in einer Entkopplungsgröße von 80ms zwischen Gehör und Sensomotorik im Sinne der Frage 1b ein neurophysiologischer Schwellenwert vor. Er stellt die Grenze der Erwartungshaltung dar, bis zu der sich das Resultat Klangbestätigung ereignen muss. Tritt dieser Fall nicht ein, sieht der Proband sich zu einer bewussten Korrektur veranlasst, bis er in den Grundschlag zurückkehren kann.

Allerdings wird hieraus nicht ersichtlich, ob den Pianisten dies – übertragen auf die Grundsatzdebatte der Forschung zur musikalischen Psychomotorik – mittels einer auditiven Rückkopplungsschleife samt erinnerten Referenzintervall oder anhand eines motorischen Programms mit Innerem Taktgeber gelingt. Insbesondere die Rückkehr in das Grundschlagschema ließe fragen, woher beide denkbaren Kontrollmechanismen ihre zeitlichen Informationen beziehen:

Die Perzeption von auditiven Zeitintervallen steht beim Instrumentalspiel in einem stetigen Abgleich mit kognitiven Repräsentationen vorangegangener Zeitdauern (Rückkopplungsschleife in Verbindung mit einem vom Arbeitsgedächtnis erinnerten Referenzintervall).

Kognitionsmodell A

Wird diese auditiv-sensomotorische Rückkopplungsschleife um eine Zeitdauer oberhalb des neurophysiologischen Schwellenwertes unterbrochen, so wird eine motorische Korrektur veranlasst. Die Probanden bemessen anhand des Referenzintervalls (einer im Gedächtnis erinnerten Zeitdauer) die auditive Manipulationsgröße und ihren daraus zunächst resultierenden motorischen Folgefehler. Darauf verkürzen sie den Zeitraum bis zur folgenden Handlung entsprechend, um in das Grundschlagschema zurückkehren zu können und das ursprüngliche Tempo erneut aufzunehmen.

⁴⁸ mathematischen oder beurteilenden.

Die Versuchspersonen beziehen ihre Informationen über Zeitdauern aus einer rein kognitiv-sensomotorischen Ebene (Theorie der Inneren Uhr in Verbindung mit einem motorischen Programm) oder sie verlagern im Moment der fehlerhaften auditiven Rückmeldung ihre Aufmerksamkeit auf jene Ebene – sie schalten ihr Gehör quasi aus.

Kognitionsmodell B

Die Vermutung, die Probanden schalteten ihr Gehör quasi aus, klingt zunächst plausibel. Ein hoch geschultes motorisches Programm erzeugte so nach einem ersten Fehler in Folge der Störstelle korrektive, neuronale Impulse im motorischen Kortex des Gehirns, bis einer der daraus folgenden Tastenanschläge mit den Pulsationen (Grundschlag) der Inneren Uhr wieder übereinstimmt⁴⁹. Das Gehör würde praktisch überflüssig. Lediglich ein Abgleich zwischen Tastsinn und Innerer Uhr fände statt.

1.4.2. Erweiterung der Fragestellung

Sollten die Versuchsdaten Hypothese B bestätigen, wäre ein motorisches Programm qualitativ abhängig von auditiver Wahrnehmung. Oberhalb von 80ms bedeutete die auditive Rückmeldung dann zumindest eine qualitative Information für das motorische Programm, sich neu auszurichten. Indes ist damit nicht gesagt, dass sich das motorische Programm des Hörsinns auch als Informations-Quelle für die Größe der vorzunehmenden Korrektur bedient.

Frage 2) Dient eine Auditive Rückkopplungsschleife dem motorischen Programm lediglich zur qualitativen, nicht aber quantitativen Fehlerdetektion?

Um dennoch eine Aussage über die Ursächlichkeit und den Maßstab für ein Korrekturverhalten treffen zu können, muss das auditiv-sensomotorische Bindeglied Erwartungshaltung hier nicht nur gelockert (Frage 1 bis 1b), sondern völlig entfernt werden. Die Versuchssituation wird dazu in ausgewählten Durchläufen um eine künstliche Situation fehlender auditiver Rückmeldung ergänzt: Im Nachfeld bestimmter Störstellen wird die Klangerzeugung ausgewählter Noten ausgesetzt.

⁴⁹ Im Rahmen dieses Versuchsansatzes ist allerdings keine Überprüfung kognitiver Prozesse bei den Probanden mittels bildgebender Verfahren (MEG etc.) vorgesehen.