

Erwerb zeitlicher Relationen und Erleben von Zeit im Handlungskontext

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der

Philosophischen Fakultät II

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Vorgelegt von

Carola Häring

aus Ludwigshafen

Würzburg

2009

Erstgutachter: Prof. Dr. J. Hoffmann

Zweitgutachter: PD Dr. A. Kiesel

Tag des Kolloquiums: 11.02.2010

Danksagung

Diese Arbeit wäre nicht ohne die Unterstützung durch viele Personen zustande gekommen.

An erster Stelle möchte ich Joachim Hoffmann danken für die Betreuung, die vielfältigen Anregungen und Ratschläge und sein stets offenes Ohr für Fragen und neue Ideen. Desweiteren gilt mein Dank allen Kollegen am Lehrstuhl für die vielen Anregungen, Ideen und Hilfestellungen. Dabei möchte ich insbesondere Andrea Kiesel, Annika Wagener und Roland Thomaschke für die vielen konstruktiven Gespräche, Ratschläge und Ermutigungen danken sowie Georg Schüssler und Gerulf Pedersen für die Unterstützung bei technischen Fragen und Problemen. Besonderer Dank gilt auch den vielen Studenten, die mich bei der Erhebung der Daten unterstützt haben sowie allen Versuchspersonen. Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie danken, ohne die ich vermutlich nie so weit gekommen wäre. Insbesondere danke ich dabei Mondrian, der mich stets unterstützt und ermutigt hat.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	1
2.	Einleitung	3
2.1.	Einfluss zeitlicher Relationen auf Reaktionen	5
2.2.	Erleben von Zeit im Handlungskontext	10
2.3.	Zeitwahrnehmung und Kausalität	21
3.	Erwerb zeitlicher Relationen im Handlungskontext	29
3.1.	Experiment 1	29
3.2.	Experiment 2	41
3.3.	Experiment 3	54
4.	Erleben von Zeitintervallen im Handlungskontext	61
4.1.	Experiment 4	62
4.2.	Experiment 5	71
4.3.	Experiment 6	75
4.4.	Experiment 6a	78
4.5.	Experiment 6b	80
4.6.	Experiment 6c	82
4.7.	Experiment 6d	85
4.8.	Experiment 7	90
4.9.	Experiment 7a	91
4.10.	Experiment 7b	93
5.	Kausalität und Zeitwahrnehmung	97
5.1.	Experiment 8	97
5.2.	Experiment 9	111
6.	Gesamtdiskussion	121
6.1.	Der Erwerb zeitlicher Relationen im Handlungskontext	121
6.2.	Die Repräsentation von Zeit im Handlungskontext	127
6.3.	Das Zusammenspiel von Kausalität und Zeitwahrnehmung	136
7.	Literaturverzeichnis	141
8.	Anhang	149
9.	Lebenslauf	151

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1.....	32
ABBILDUNG 2.....	37
ABBILDUNG 3.....	45
ABBILDUNG 4.....	49
ABBILDUNG 5.....	57
ABBILDUNG 6.....	67
ABBILDUNG 7.....	68
ABBILDUNG 8.....	69
ABBILDUNG 9.....	106
ABBILDUNG 10.....	107

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1.....	33
TABELLE 2.....	36
TABELLE 3.....	46
TABELLE 4.....	48
TABELLE 5.....	58
TABELLE 6.....	62
TABELLE 7	79
TABELLE 8.....	93
TABELLE 9.....	104

1. Zusammenfassung

Das Wissen um die Zeitpunkte des Eintretens von Handlungseffekten und die Repräsentation dieser Zeitpunkte ist unerlässlich, um adäquat mit der Umwelt interagieren zu können. Der Erwerb zeitlichen Wissens im Handlungskontext sowie Einflüsse auf die Repräsentation von Zeitdauern im Handlungskontext sollen in dieser Arbeit untersucht werden. Die Experimente 1-3 untersuchen den Erwerb zeitlicher Relationen im Handlungskontext. In den Experimenten 1 und 2 sagen in zwei Gruppen entweder Aktionen oder sensorische Reize Zeitpunkt und Identität eines nachfolgenden Ereignisses voraus, auf das reagiert werden muss. Die Dauer von Zeitintervallen wird besser erlernt, wenn eine Aktion sie vorhersagt, als wenn ein Reiz sie vorhersagt. Die Kovariation der Aktion/des Reizes mit dem Ereignis und die damit verbundene Kovariation des Zeitintervalls mit dem Ereignis beeinflusst eine Reaktion auf das Ereignis nur, wenn die Aufgabe eine Diskrimination des Ereignisses fordert. Experiment 3 zeigt, dass der Erwerb zeitlicher Relationen im Handlungskontext auch dann nachzuweisen ist, wenn die exakte motorische Reaktion unabhängig von sowohl Zeitintervall als auch Identität des Ereignisses ist. Die Experimente 4-7 explorieren die Wahrnehmung der Dauer von Zeitintervallen im Handlungskontext. Konkret wird dabei die Einschätzung der Dauer von Aktions-Effekt-Intervallen und von Effekten betrachtet. Untersuchungen zur Repräsentation von Zeitpunkten im Handlungskontext haben gezeigt, dass Aktions- und Effektzeitpunkte näher beieinander wahrgenommen werden als sie tatsächlich sind. Bisher wurde nicht überprüft, ob dementsprechend auch die Dauer eines Aktions-Effekt-Intervalls kürzer eingeschätzt wird als sie ist. Diese Lücke soll in dieser Arbeit mit Hilfe einer psychophysischen Methode zur Einschätzung der Dauer von Zeitintervallen geschlossen werden. Tatsächlich wird die Dauer eines Aktions-Effekt-Intervalls kürzer eingeschätzt (Experiment 4-6). Allerdings tritt diese Unterschätzung gleichermaßen für Aktions-Effekt-Intervalle wie für Reaktions-Effekt-Intervalle auf (Experiment 4). Bei der

Einschätzung von Zeitpunkten werden eine passive taktile Reizung und ein folgender Reiz weiter voneinander entfernt wahrgenommen als die Zeitpunkte einer Aktion und ihres Effekts. Die Einschätzung der Zeitdauer ist dagegen zwischen einer Aktion und ihrem Effekt länger als zwischen taktile Reizung und einem Reiz (Experiment 5). Die Experimente 6a-d zeigen, dass für eine kürzere Einschätzung des Aktions-Effekt-Intervalls das Auftreten eines intendierten Effekts nicht notwendig ist. Stattdessen ist das Auftreten eines kausal durch die Aktion verursachten unspezifischen Effekts hinreichend. Die wahrgenommene Dauer eines 400 ms dauernden Effekts hängt dagegen von der Kontingenz seines Auftretens ab (Experiment 7b), nicht aber die eines 250 ms dauernden Effekts (Experiment 7a). Die Experimente 8 und 9 untersuchen den Zusammenhang von Kausalitäts- und Zeitwahrnehmung. Experiment 8 zeigt, dass Abweichungen vom erlernten Effektzeitpunkt sowohl bei häufig verzögerten Effekten als auch bei häufig unmittelbaren Effekten erkannt werden, sich jedoch die zeitliche Auflösung unterscheidet. Dabei werden Effekte im gleichen Ausmaß als kausal verursacht wahrgenommen, in dem der Effektzeitpunkt als „wie üblich“ wahrgenommen wird. Experiment 9 untersucht, ob eine Manipulation der angenommenen Anzahl von Ursachen zweier kurz nacheinander auftretender Reize einerseits und die Verursachung dieser Reize durch eine Aktion vs. den Computer andererseits dazu führt, dass sie eher als gleichzeitig wahrgenommen werden. Während die Verursachung der Reize durch eine Aktion dazu führt, dass die Reize tendenziell wahrscheinlicher als gleichzeitig wahrgenommen werden, lässt sich kein Einfluss durch die Manipulation der angenommenen Anzahl von Ursachen finden. Insgesamt zeigt sich, dass zeitliche Relationen im Handlungskontext besonders gut erlernt werden. Darüber hinaus wird mit einer psychophysischen Methode bestätigt, dass Zeitintervalle in Handlungskontexten kürzer eingeschätzt werden als in anderen Kontexten. Verschiedene Einflüsse auf die Einschätzung der Dauer von Zeitintervallen im Handlungskontext, insbesondere Kausalität, werden näher untersucht und diskutiert.

2. Einleitung

„Auf das Timing kommt es an“ besagt eine bekannte Redewendung, und in der Tat ist für jegliche Interaktion mit unserer Umwelt nicht nur vonnöten, dass wir die richtigen Handlungen auswählen, sondern auch, dass wir sie zum richtigen Zeitpunkt ausführen. Um einen Ball zu fangen, müssen wir beispielsweise die Hand zur richtigen Zeit ausstrecken. Beim Umschalten einer Ampel müssen wir zügig loslaufen, um sicher bei Grün über die Straße zu gelangen. Häufig wird dabei der richtige Moment für eine Reaktion zusammen mit dem vorhersagbaren Effekt durch eigene vorangehende Handlungen hergestellt. Um eine Straßenbahn zu verlassen, muss ich zuerst durch einen Knopfdruck die Tür öffnen, aber dann mit dem Ausstieg warten bis sich durch meinen Knopfdruck die Tür geöffnet hat. Laufe ich zu früh los, stoße ich gegen die noch geschlossene Tür, starte ich dagegen zu spät, schließt die Tür bereits wieder.

Um erfolgreich mit der Umwelt interagieren zu können, ist es also hilfreich, nicht nur zu wissen, *welches* Ereignis wahrscheinlich eintreten wird, sondern auch *wann* das Ereignis wahrscheinlich eintreten wird. Zur Vorhersage von Zeitpunkt und Ereignis können wir häufig vorhergehende Ereignisse verwenden, so wird z.B. eine Fußgängerampel grün, kurz nachdem die Ampel für die Autofahrer auf Rot umgeschaltet hat. Diese Ereignisse können wie im eben genannten Beispiel externe sensorische Reize sein. Es können jedoch auch Aktionen sein, die ebenfalls Identität und Zeitpunkt des nachfolgenden Ereignisses – in dem Fall des Handlungseffekts – vorhersagen, z.B. wirft der Toaster eine Weile nach Betätigen des Hebels knuspriges Toastbrot aus. In diesem Fall ist das zweite Ereignis nicht nur vorhersagbar, sondern die Aktion wird ausgeführt mit der Intention, den Handlungseffekt zu erzeugen.

Das Wissen, welche Handlungen welche Effekte erzeugen, muss erst erworben werden. Die ideomotorische Hypothese (Harleß, 1861; Herbart, 1825; James, 1890; Lotze, 1852) und darauf aufbauende Ansätze (z.B. Greenwald, 1970; Hoffmann, 1993, 2001; Hommel, 1998; Prinz, 1998) postulieren bidirektionale Aktions-Effekt-Beziehungen als Grundlage für intentionales Handeln. Wenn eine Handlung wiederholt dieselben sensorischen Konsequenzen nach sich zieht, werden Aktions-Effekt-Beziehungen gelernt (z.B. Elsner & Hommel, 2001). Diese Verbindung ermöglicht es einerseits, bei Ausführung einer Handlung bereits zu antizipieren, welchen Effekt die Aktion haben wird. Umgekehrt kann die Antizipation der sensorischen Konsequenzen genutzt werden, um die passende Aktion auszuwählen, die den aktuell intendierten Effekt reliabel erzeugt (Goschke, 2003; Kiesel & Hoffmann, 2004; Kunde, 2001; Kunde, Hoffmann, & Zellmann, 2002; Prinz, 1998, 2000). Bevorzugt werden solche bidirektionalen Beziehungen zwischen Aktionen, also frei von äußeren Einflüssen gewählten Handlungen (Herwig, Prinz, & Waszak, 2007; Herwig & Waszak, 2009), und ihren Effekten ausgebildet. Allerdings lassen sich auch Hinweise auf die Ausbildung zwischen instruierten Reaktionen und Effekten finden (Elsner & Hommel, 2004; Kühn, Elsner, Prinz, & Brass, 2009).

In dieser Arbeit sollen drei Fragen bezüglich zeitlicher Aspekte in Aktions-Effekt-Beziehungen näher betrachtet werden: Das dritte Kapitel widmet sich der Frage, ob Aktionen besser zur Vorhersage des Zeitpunkts und der Identität ihres antizipierten Handlungseffekts genutzt werden können als ein visueller Stimulus, der gleich gut Zeitpunkt und Identität eines nachfolgenden Ereignisses vorhersagt. Im vierten Kapitel soll das Erleben von Zeitdauer im Handlungskontext untersucht werden. Verschiedene Studien haben Unterschiede in der Repräsentation von Zeitpunkten und Zeitdauer im Handlungskontext gegenüber anderen Bedingungen gefunden und begründen diese mit der bidirektionalen Verbindung von Aktion und

Effekt. Es soll mit Hilfe einer psychophysischen Methode die zeitliche Wahrnehmung im Handlungskontext weiter exploriert werden. Kapitel 5 widmet sich der Frage, inwiefern Erleben von Effektzeitpunkten im Handlungskontext mit dem Erleben von Kausalität übereinstimmt, und ob eine Manipulation der Kausalitätswahrnehmung ihrerseits die Zeitwahrnehmung verändern kann.

2.1. Einfluss zeitlicher Relationen auf Reaktionen

Der erste Teil dieser Arbeit widmet sich der Frage, ob sich für das Erlernen zeitlicher Zusammenhänge Handlungskontexte besser eignen, d.h. ob der Zusammenhang zu folgenden Zeitpunkten und Ereignissen besser erlernt wird, wenn diese Ereignisse die Effekte intendierter Aktionen sind gegenüber sensorischen Ereignissen, die auf andere sensorische Ereignisse folgen. Da vorhersagbare Zeitpunkte gewöhnlich mit vorhersagbaren Ereignissen einhergehen, d.h. der Toaster liefert meist knuspriges Toastbrot, werden darüber hinaus Kovariationen zwischen Aktionen bzw. Reizen mit der Identität nachfolgender Ereignisse berücksichtigt. Generell stellt sich die Frage, ob das Wissen über den typischen Zeitpunkt des Eintretens eines Ereignisses in Kovariation mit seiner Identität implizit erworben wird, d.h. ob auch ohne explizite Informationen über vorliegende Kovariationen erlernt wird, welches Ereignis nach einer Aktion bzw. einem Ereignis eintritt und v.a. wann es zu erwarten ist.

Zahlreiche Studien zum zeitlichen Cueing belegen, dass explizite Informationen darüber, nach welchem Zeitintervall wahrscheinlich ein Reiz zu erwarten ist, genutzt werden (Correa, Lupiáñez, & Tudela, 2004; Coull, Frith, Büchel, & Nobre, 2000; Coull & Nobre, 1998; Miniussi, Wilding, Coull, & Nobre, 1999; Nobre, 2001). In einer Studie von Coull und Kollegen (2000) sind beispielsweise Reaktionen auf das Eintreten eines Reizes in den 80 % der Trials schneller, in denen der Cue

den Zeitpunkt seines Auftretens richtig vorhersagt, gegenüber den 20 % der Trials, in denen der Cue einen anderen Zeitpunkt vorhersagt. Auch die Identifikation von Reizen ist schneller (MackKay & Juola, 2007) und besser (Correa, Lupiáñez, & Tudela, 2005), wenn sie zum erwarteten Zeitpunkt auftreten. Dieser Effekt lässt sich dadurch erklären, dass die gegebene Information die Ausrichtung der Aufmerksamkeit in der Zeit auf einen bestimmten Zeitpunkt bewirkt. Daher können zu diesem Zeitpunkt Reize besser verarbeitet werden (Correa et al., 2005) und die generelle Reaktionsbereitschaft ist zu diesem Zeitpunkt erhöht (Correa, Lupiáñez, & Tudela, 2004). Häufig lässt sich jedoch ein Einfluss der zeitlichen Ausrichtung der Aufmerksamkeit in den Reaktionen nur durch verzögerte Reaktionen bei ungewöhnlich frühem Erscheinen eines Reizes zeigen, nicht aber, wenn er später als erwartet eintritt (Correa, Lupiáñez, et al., 2004; Coull, Frith, Büchel, & Nobre, 2000; Miniussi, Wilding, Coull, & Nobre, 1999; Nobre, 2001). Es wird daher angenommen, dass die zeitliche Aufmerksamkeit nach dem Verstreichen des frühen Zeitpunkts, ohne dass ein Reiz auftritt, auf einen späteren möglichen Zeitpunkt reorientiert wird (Correa et al., 2004).

Als eine Folge der Ausrichtung der Aufmerksamkeit in der Zeit wird der Vorperiodeneffekt angesehen (z.B. Bertelson & Tisseyre, 1968; Niemi & Näätänen, 1981). In Paradigmen, in denen das Zeitintervall bis zum Auftreten des Targetstimulus von Trial zu Trial zufällig variiert, sind Reaktionen auf den Reiz schneller, wenn er relativ spät in einem Trial auftritt. Dies wird mit der sich über die Zeit verändernden konditionalen Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Reizes erklärt. Sind beispielsweise zwei Zeitpunkte als Auftretenszeitpunkt eines Reizes möglich, entspricht die Wahrscheinlichkeit, dass er zum frühen Zeitpunkt tatsächlich eintritt der a-priori-Wahrscheinlichkeit von 50 %. Ist dagegen der frühe Zeitpunkt

bereits verstrichen, jedoch der Reiz nicht erschienen, steigt die Wahrscheinlichkeit auf 100 %, dass der Reiz zum späten Zeitpunkt erscheinen wird.

Neben der Wirkung expliziter Informationen über zeitliche Zusammenhänge auf die Ausrichtung der Aufmerksamkeit in der Zeit, wurde auch die *implizite* Ausbildung zeitlicher Erwartungen in verschiedenen Kontexten gezeigt. So wird schneller auf Reize reagiert, wenn sie häufig zu einem bestimmten Zeitpunkt auftreten (Wagener & Hoffmann, im Druck-a, im Druck-b) oder auch wenn sie an einer Lokation auftreten, an der nach diesem Zeitintervall nach Trialbeginn besonders häufig ein Reiz erscheint gegenüber anderen Lokationen. Ebenso kommt es zu schnelleren Reaktionen, wenn ein Ton im gleichen Zeitabstand entsprechend einem vorher dargebotenen Rhythmus erscheint, als wenn er zu einem vom vorhergehenden Rhythmus abweichenden Zeitabstand präsentiert wird (z.B. Correa & Nobre, 2008; Salidis, 2001). Vergleichbare Ergebnisse finden sich auch für bewegte visuelle Reize. Verschwindet ein bewegter Reiz hinter einer Verdeckung, so ist die Reaktion auf das erneute Erscheinen des Reizes an der anderen Seite der Verdeckung schneller, wenn sich der Zeitpunkt des Wiedererscheinens aufgrund der anfangs gezeigten Bewegung vorhersagen lässt (Doherty, Rao, Mesulam, & Nobre, 2005).

Im Kontext von Handlungen untersuchten Albinet und Fezzani die Anpassung an zeitliche Sequenzen (2003). Hier war es Aufgabe der Versuchspersonen (Vpn), eine Aktion so auszuführen, dass ihr verzögerter Effekt, ein Kanonenschuss, einen erst nach der Aktion auftretenden Zielreiz trifft. Die zeitlichen Abstände zwischen Aktion und dem Erreichen der Zielregion durch den Reiz folgten einer den Vpn nicht explizit bekannten Sequenz. Trotzdem erlernten die Vpn die Sequenz, d.h. sie konnten sich an das zeitliche Muster anpassen und trafen den Zielreiz häufiger, wenn die Verzögerung nicht zufällig aus allen möglichen ausgewählt, sondern

gemäß der Sequenz zu erwarten war. Aktionen in Form von Tastendrücken zu frei gewählten Zeitpunkten, mussten für eine erfolgreiche Ausführung der Aufgabe so geplant werden, dass der verzögerte Effekt zu einem festgelegten Zeitpunkt auftrat. Die Aktion wurde also gewissermaßen als „vorwegnehmende Reaktion“ ausgeführt. Hierbei war nur der Zeitpunkt, nicht aber die auszuführende Aktion frei gewählt, so dass auch mit dieser Studie bisher nur ein eingeschränkter Handlungskontext betrachtet wurde.

Es ist also evident, dass wiederholt auftretende zeitliche Strukturen auch implizit erlernt werden können. Dies lässt vermuten, dass die Bedeutung eines prädiktiven zeitlichen Cues auch dann erlernt wird, wenn seine Bedeutung nicht explizit der Vp mitgeteilt wird. Allein die Kovariation des Cues mit dem folgenden Zeitintervall könnte ausreichen, dass sich die Vpn an das zeitliche Muster anpassen. Darüber hinaus kovariieren im Alltag häufig Zeitintervalle nicht nur mit *vorhergehenden* Ereignissen bzw. Aktionen. Auch die Kovariation eines Zeitintervalls mit der Identität eines *nachfolgenden* Ereignisses wird erlernt (Wagener & Hoffmann, im Druck-b, Experiment 1). Wenn auf ein Ereignis oder eine Aktion nach einem häufig auftretenden Zeitintervall ein weiteres Ereignis folgt, kovariiert zudem auch die Identität der beiden Ereignisse und auch diese Kovariation wird erlernt. Das Erlernen der Kovariation zweier aufeinander folgender Reize ist umfassend erforscht (Pavlov & Anrep, 1927; Rescorla, 1968; Wagner, 1969) und soll hier nicht gesondert behandelt werden.

Alles in allem erscheint es plausibel anzunehmen, dass sowohl der Zeitpunkt eines Ereignisses als auch seine Identität aufgrund eines mit beiden kovariierenden vorhergehenden Ereignisses vorhergesagt werden können. In Kapitel 3 dieser Arbeit soll untersucht werden, wie sich diese Vorhersagbarkeit sowie die Interaktion von Ereignis und Zeitpunkt auf eine Reaktion auf das Eintreten des zweiten Ereignisses

auswirkt. Das Erlernen des Zusammenhangs eigener Aktionen und ihrer Effekte kann als spezieller Fall des Kovariationslernens angesehen werden (z.B. Allan, 1979; Gibbon, Berryman, & Thompson, 1974; Hoffmann & Sebold, 2005; Shanks, 1985a).

Generell nehme ich an, dass Aktionen als implizite prädiktive Cues größere Verhaltenseffekte bewirken als externe sensorische Reize, auch wenn Aktionen und Reize jeweils den gleichen prädiktiven Wert bezüglich der Identität des folgenden Ereignisses und des Zeitintervalls bis zu seinem Erscheinen haben. Hinweise für die generelle Überlegenheit frei gewählter Aktionen über Beobachtungen für Lernen finden sich in Studien über das Erlernen von Regularitäten in komplexen Systemen. Das freie Explorieren des Systems führte dabei zu einem besseren Abschneiden in anschließenden Tests, als die Beobachtung der Exploration, die eine andere Vp durchgeführt hatte (z.B. Sobel & Kushnir, 2006). Allerdings fanden Osman und Heyes (2005) keinen Unterschied zwischen einer Explorations- und einer Beobachtungsgruppe, so dass die Evidenz für die Überlegenheit frei gewählter Aktionen unklar bleibt. Für das Erlernen zeitlicher Zusammenhänge zeigten allerdings Lagnado und Sloman (2006), dass nur die Gruppe, die ein System mit systematisch variierenden Latenzzeiten durch frei gewählte Aktionen exploriert hatte, in der schwierigsten Testbedingung nicht schlechter abschnitt als in einer Bedingung ohne variierende Zeiten. Eine Gruppe, welche die Exploration einer Joch-Vp lediglich beobachtet hatte, zeigte dagegen bei variierenden Verzögerungen schlechtere Leistungen als bei konstanten Verzögerungen. Dieses Ergebnis liefert erste Evidenz für eine Überlegenheit frei gewählter Aktionen in einer Aufgabe, in der für eine erfolgreiche Interaktion zeitliche Aspekte erlernt werden müssen.

In dieser Arbeit sollen mehrere Annahmen bezüglich des Erlernens zeitlicher Zusammenhänge im Handlungskontext geprüft werden. Erstens soll generell geklärt werden, ob der Zusammenhang impliziter prädiktiver Cues mit darauf folgenden

Zeitintervallen und sensorischen Ereignissen erlernt wird. Diesbezüglich vermute ich, dass sowohl Aktionen als auch externe sensorische Ereignisse als implizite prädiktive Cues erlernt werden, so dass auf nachfolgende Ereignisse dann schneller und weniger fehlerhaft reagiert werden kann, wenn ein Cue dem ihm häufig nachfolgenden Ereignis und dem häufig folgenden Zeitintervall vorausgeht (im folgenden jeweils als valide Bedingung bezeichnet), als wenn ein nach diesem Cue seltenes Ereignis oder Zeitintervall folgt (im folgenden als invalide Bedingung bezeichnet). Da Aufmerksamkeit in der Zeit reorientiert werden kann, wenn die frühe Erwartung eines Ereignisses nicht erfüllt wird, erwarte ich einen solchen Einfluss der Validität für unerwartet frühe, jedoch nicht für unerwartet späte Ereignisse. Generell ist aufgrund des Vorperiodeneffekts zu erwarten, dass aufgrund steigender Reaktionsbereitschaft in einem Trial Reaktionen auf späte Ereignisse schneller sind als auf frühe Ereignisse (z.B. Niemi & Näätänen, 1981). Von zentraler Bedeutung ist in dieser Arbeit, ob eigene Aktionen, verglichen mit beobachteten sensorischen Stimuli, besonders gut als implizite prädiktive Cues wirken für das Erlernen des nachfolgenden Zeitintervalls, aber auch des Zusammenhangs mit nachfolgenden sensorischen Ereignissen. Ich vermute, dass für Aktionen als Cues beide Validitätseffekte größer ausfallen verglichen mit sensorischen Stimuli als ebenso prädiktiven Cues.

2.2. Erleben von Zeit im Handlungskontext

Das Erlernen der Dauer immer wiederkehrender Zeitintervalle setzt voraus, dass diese Zeitintervalle und die sie umschließenden Zeitpunkte repräsentiert werden. Sowohl die Wahrnehmung der Dauer von Zeitintervallen einerseits als auch die Repräsentation von Zeitpunkten andererseits ist in einer Vielzahl von Studien untersucht worden. Allerdings wird bisher die Wahrnehmung der Dauer von

Zeitintervallen weitgehend ohne besondere Berücksichtigung des Handlungskontexts untersucht (für Ausnahmen siehe Engbert, Wohlschläger, Thomas, & Haggard, 2007; Humphreys & Buehner, 2009; Hunt, Chapman, & Kingstone, 2008; Park, Schlag-Rey, & Schlag, 2003). Im Gegensatz dazu gibt es eine große Anzahl von Studien bezüglich der Wahrnehmung von Zeit im Handlungskontext, welche die Repräsentation von Zeitpunkten in Handlungskontexten untersucht hat.

Die Erforschung der Wahrnehmung von Zeitpunkten im Handlungskontext erfolgt mit einer Komplikationsuhr (Wundt, 1887). Diese wurde konstruiert, um festzustellen, zu welchen Zeitpunkten externe Ereignisse von einer Vp wahrgenommen werden. Dazu dreht sich ein Zeiger in definierten Zeiträumen im Kreis, und die Vp muss nach einem Ereignis angeben, an welcher Position der Uhr sich der Zeiger zum Zeitpunkt eines externen Ereignisses befand. In neuerer Zeit wurde diese Methode vor allem durch die Arbeiten von Libet zum Zeitpunkt des Bewusstwerdens von Intentionen bekannt (Libet, 1985; Libet, Gleason, Wright, & Pearl, 1983).

Aufgegriffen wurde die Methode von Haggard und Libet (2001), um die Wahrnehmung von Zeitpunkten im Handlungskontext zu untersuchen. Dabei führt die Vp einen frei gewählten Tastendruck aus, der nach einem fixen Zeitintervall einen Effekt erzeugt. Im Anschluss muss sie entweder die Position des Zeigers zum Zeitpunkt des Tastendrucks oder des Effekts angeben. Die so erhaltenen Schätzungen werden dann mit der Einschätzung von Zeitpunkten in anderen Bedingungen verglichen, z.B. bei passiver Stimulation (Wohlschläger, Engbert, & Haggard, 2003; Wohlschläger, Haggard, Gesierich, & Prinz, 2003), bei unabhängig vom Willen der Vp durch transkranielle Magnetstimulation (TMS) ausgelösten Tastendrücken (Haggard, Clark, & Kalogeras, 2002) oder in Abhängigkeit von der

Kontingenz von Aktionen und Effektreizen (Moore & Haggard, 2008; Moore, Lagnado, Deal, & Haggard, 2009).

Bei der Erforschung der Wahrnehmung von Zeitpunkten im Handlungskontext ergibt sich ein typisches Befundmuster. Aktionen werden später wahrgenommen, als sie tatsächlich stattfinden, ihre Effekte werden hingegen früher erlebt (Engbert & Wohlschläger, 2007; Haggard, 2006; Haggard, Aschersleben, Gehrke, & Prinz, 2002; Haggard, Clark et al., 2002; Haggard & Cole, 2007; Wohlschläger, Engbert et al., 2003; Wohlschläger, Haggard et al., 2003). Tastendrucke werden dagegen nicht später erlebt, wenn sie keine Effekte produzieren oder wenn sie ohne den Willen einer Person nach TMS ausgeführt wurden. Dieselben Töne, die als Effekte von Aktionen früher erlebt werden, werden dagegen nicht früher erlebt, wenn sie unabhängig von einem Handlungskontext präsentiert werden (Haggard & Cole, 2007).

Der Effekt des zeitlichen Aneinanderrückens von Aktion und Effekt wird mit „intentional binding“¹ erklärt (Haggard, Clark et al., 2002; Haggard & Cole, 2007); im Folgenden wird der Begriff „intentionale Verbundenheit“ verwendet. Die intentionale Verbundenheit zwischen Aktion und Effekt bewirkt eine verzerrte Zeitwahrnehmung. Die zeitliche Nähe zwischen Ausführung einer Aktion und Eintreten des Effekts wird überschätzt, so dass intendierte Effekte früher und eigene Aktionen später wahrgenommen werden, als sie tatsächlich stattfinden.

Der Befund des zeitlichen Aneinanderrückens von Aktion und Effekt wurde in zahlreichen Studien repliziert und der Erklärungsansatz der intentionalen Verbundenheit scheint allgemein akzeptiert (Engbert & Wohlschläger, 2007;

¹ Der ebenfalls geläufige Begriff *temporal binding* wird hier nicht verwendet, um eine Verwechslung mit anderen Phänomenen gleicher Bezeichnung zu vermeiden (z.B. Engel, Fries, König, Brecht, & Singer, 1999).

Haggard, 2005; Haggard, Clark et al., 2002; Haggard & Libet, 2001; Moore & Haggard, 2008; Moore et al., 2009; Tsakiris & Haggard, 2003). Dabei ist der Ansatz bisher eher deskriptiv, und es gibt offene Fragen bezüglich des Befundes. Im Folgenden werden vier Kritikpunkte genauer erläutert.

Erstens ist die Komplikationsuhr als Methode, um Zeitwahrnehmung abzubilden, generell umstritten. So kann das Urteil über die wahrgenommene Zeigerposition durch die Teilung der Aufmerksamkeit auf das Generieren eines Tastendrucks einerseits und auf die externe Uhr andererseits beeinflusst werden. So kann beispielsweise durch den Flash-Lag-Effekt ein sich bewegendes Stimulus, in diesem Fall der Uhrzeiger, an einer Position weiter in seiner Bewegungsrichtung wahrgenommen werden, als er tatsächlich zum betrachteten Zeitpunkt war (Eagleman & Sejnowski, 2007; Nijhawan, 2008). Alternativ könnte durch den Prior-Entry-Effekt eine der beiden beachteten Entitäten, d.h. in dem Fall der Zeiger oder die eigenen Aktion, allein aufgrund eines unterschiedlichen Ausmaßes an Aufmerksamkeit früher wahrgenommen werden als die andere (Shore, Spence, & Klein, 2001). Außerdem könnte die Aktionsplanung selbst nach der Uhr ausgerichtet werden, so dass die Taste immer an einer bestimmten Position des Zeigers gedrückt wird und nicht zu einem tatsächlich frei gewählten Zeitpunkt (Engbert et al., 2007). Da mit der Methode der Komplikationsuhr die Aufmerksamkeit von vorneherein entweder auf den Zeitpunkt der Aktion oder auf den Effektzeitpunkt ausgerichtet wird, erscheint fraglich, ob sie sich dazu eignet zeitliche Beziehungen von Aktionen und Effekten abzubilden. Statt dessen werden evtl. eher kurzfristige Aufmerksamkeitseffekte abgebildet (Humphreys & Buehner, 2009). Tatsächlich ist der übliche Befund der intentionalen Verbundenheit nicht mehr nachweisbar, wenn die Aufmerksamkeit nicht mehr von vorneherein auf entweder den Aktions- oder den Effektzeitpunkt, sondern auf beide gleichermaßen gerichtet werden soll und die Vp

erst nach Ende der Aktions-Effekt-Episode erfährt, welchen der beiden Zeitpunkte sie angeben soll. In diesem Fall unterscheiden sich die geschätzten Zeitpunkte von Aktion und Effekt nicht mehr, sondern liegen beide im Mittel zwischen den physikalisch wahren Zeitpunkten von Aktion und Effekt (Haggard & Cole, 2007).

Zweitens unterscheiden sich die Befunde zur intentionalen Verbundenheit von Aktion und Effekt je nach verwendeter Methode. Das zeitliche Aneinanderrücken von Aktion und Effekt wurde für eigene Handlungen und für die Beobachtung der Aktionen anderer Personen berichtet, wenn die Vpn den Zeitpunkt von Aktion oder Effekt mittels einer virtuellen Uhr bestimmten (Wohlschläger, Engbert et al., 2003). Waren die Vpn aufgefordert eine explizite verbale Zeitschätzung in Bezug auf das Intervall zwischen Aktion und Effekt abzugeben, also zu schätzen, nach wie vielen Millisekunden der Effekt erschien, wurde eine kürzere Einschätzung des Aktions-Effekt-Intervalls nur für eigene Handlungen beobachtet, während kein Unterschied der zeitlichen Einordnung bei beobachteten Handlungen im Vergleich zu Bewegungen einer Gummihand auftrat (Engbert, Wohlschläger, & Haggard, 2008; Engbert et al., 2007).

Drittens macht der Erklärungsansatz der intentionalen Verbundenheit keine Prozessannahmen und keine Aussagen über die Mechanismen, die dem Befund des zeitlichen Aneinanderrückens von Aktion und Effekt zugrunde liegen. Der Begriff „intentionale Verbundenheit“ ist eigentlich nur ein Name im Sinne einer Beschreibung des beobachteten Phänomens. Haggard und Kollegen haben den Erklärungsansatz der intentionalen Verbundenheit in Verbindung mit der bidirektionalen Beziehung zwischen Aktion und Effekt gemäß der ideomotorischen Hypothese gebracht (Engbert et al., 2007). Allerdings machen Haggard und Kollegen keine Aussagen darüber, inwiefern bidirektionale Aktions-Effekt-Beziehungen oder die Antizipation

intendierter Effekte intentionale Verbundenheit bzw. den Effekt des zeitlichen Aneinanderrückens von Aktion und Effekt bedingen.

Mehrere mögliche Einflüsse auf die Schätzungen von Zeitintervallen zwischen Aktion und Effekt ergeben sich aus Studien zur Zeitwahrnehmung und werden in diesem Zusammenhang im folgenden Absatz gesondert diskutiert. Desweiteren könnte das wahrgenommene zeitliche Aneinanderrücken auf Kausalitätserleben zurückgehen. Schon Hume nahm an, dass die Wahrnehmung von Kausalität unter anderem durch die zeitliche Nähe zweier Ereignisse entsteht (1739). Nach Haggard (2008) gehen willentliche Handlungen mit dem Erleben von Intention und Kausalität einher. Werden Tastendrucke selbst initiiert aber aufgrund der experimentellen Manipulation als durch transkranielle Magnetstimulation und somit nicht willentlich erzeugt betrachtet, rücken auch der wahrgenommene Aktions- und Effektzeitpunkt nicht aufeinander zu. Eine Analyse des Zusammenhangs von Kausalitätserleben und zeitlicher Wahrnehmung in Handlungskontexten steht allerdings noch aus. Kapitel 5 soll einen Beitrag leisten, diese Lücke zu schließen.

Viertens wurde der Effekt des zeitlichen Aneinanderrückens von Aktion und Effekt bisher nicht in Verbindung gebracht mit Befunden aus dem Bereich der Zeitwahrnehmung. Dabei gibt es in diesem Forschungsbereich ähnliche Befunde der verzerrten Zeitwahrnehmung in Abhängigkeit von Aufmerksamkeit und Erwartungen über Reizereignisse. In einer Reihe von Studien wurde berichtet, dass unerwartete Ereignisse als länger andauernd wahrgenommen werden als aufgrund der Häufigkeit ihres Auftretens erwartete Ereignisse (z.B. Seifried & Ulrich, 2008; Tse, Intriligator, Rivest, & Cavanagh, 2004; Ulrich, Nitschke, & Rammsayer, 2006). Dieser Effekt wird durch zwei unterschiedliche Hypothesen erklärt. Einerseits wird angenommen, dass unerwartete Ereignisse zu erhöhtem Arousal führen (Sokolov, 1963). Für Zeitwahrnehmung wird häufig eine innere Uhr mit Schrittmacher (Pacemaker) und

Schrittzähler (Akkumulator) postuliert (z.B. Treisman, 1963; Treisman, Faulkner, Naish, & Brogan, 1990). Erhöhtes Arousal beschleunigt den Schrittmacher der internen Uhr (Penton-Voak, Edwards, Percival, & Wearden, 1996), so dass im selben Zeitintervall mehr Zeitschritte gezählt werden. Andererseits wurde verstärkte Aufmerksamkeit als vermittelnder Prozess angenommen. Unerwartete Ereignisse ziehen Aufmerksamkeit auf sich und Aufmerksamkeit verlängert die wahrgenommene Dauer von Reizen (Enns, Brehaut, & Shore, 1999; Mattes & Ulrich, 1998; Tse et al., 2004).

Unklar ist jedoch, wie Aufmerksamkeit die Zeitwahrnehmung beeinflusst. Thomas und Weaver (1975) nahmen an, dass der Zähler (Akkumulator) der inneren Uhr Pulse verpasst und deshalb unter Bedingungen verminderter zeitlicher Aufmerksamkeit Zeitintervalle zu kurz geschätzt werden. Andererseits könnte die längere Wahrnehmung der mit visueller Aufmerksamkeit belegten Reize an einer veränderten Wahrnehmung des On- oder Offsets der Reize liegen. Enns und Kollegen (1999) berichteten, dass der Onset eines beachteten Reizes als früher eingeschätzt wird (siehe auch Stelmach & Herdman, 1991; Stelmach, Herdman, & McNeil, 1994), werteten diesen Befund aber als unabhängig von der Schätzung der Dauer des Reizereignisses. Rolke, Ulrich und Bausenhardt (2006) fanden, dass visuelle Aufmerksamkeit zu einer verzögerten Wahrnehmung des Offsets eines Reizes führt und erklärten diesen Effekt durch verschlechterte zeitliche Auflösung unter Bedingungen verstärkter visueller Aufmerksamkeit (für eine neurophysiologische Erklärung siehe Yeshurun & Levy, 2003).

Die bisher berichteten Befunde des zeitlichen Aneinanderrückens von Aktion und Effekt könnten zumindest teilweise durch veränderte Aufmerksamkeit und Reizerwartungen in den untersuchten Handlungskontexten erklärt werden. Die Möglichkeit, dass bei der Methode der Schätzung von Zeitpunkten erhöhte

Aufmerksamkeit auf einen Reiz zu einer früheren Wahrnehmung desselben führt (Shore et al., 2001), wurde bereits genannt. Ebenso wurde die Möglichkeit diskutiert, dass es durch die Aufteilung der Aufmerksamkeit zwischen Uhr und Aktion bzw. Effekt zu einem Flash-Lag-Effekt (Eagleman & Sejnowski, 2007; Nijhawan, 2008) kommen könnte. Darüber hinaus wird in den angeführten Untersuchungen als Folge der Ausführung der Aktion (das Drücken der Reaktionstaste zu einem selbst gewählten Zeitpunkt) nach einem bestimmten Intervall immer derselbe Effekt präsentiert. Das heißt, die Vpn können an einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmtes Reizereignis erwarten. Im Einklang mit den Befunden von Enns und Kollegen (1999), lässt sich annehmen, dass selbst erzeugte Effekte stärker erwartet werden als andere Reize und deshalb der Onset des erwarteten Effekts früher eingeschätzt wird. Alternativ lassen sich die Befunde mittels verstärkter zeitlicher Aufmerksamkeit interpretieren. Selbst ausgeführte Aktionen ermöglichen im Vergleich zu passiver Stimulation des Fingers eine bessere zeitliche Erwartung darüber, wann der Effektreiz eintreten wird.

Einige Studien versuchen, die mit der Methode der Komplikationsuhr verbundenen Probleme zu umgehen, indem sie eine Methode der Zeitschätzung verwenden, bei der die Vp ein verbales Urteil über die Dauer eines Intervalls in Millisekunden abgibt. Diese Methode ist zur Abbildung der Zeitwahrnehmung nur bedingt geeignet. Erstens kann die Aufgabe nicht mit der nötigen Genauigkeit ausgeführt werden, so dass die erhaltenen Schätzwerte immer nur in Relation zu Schätzwerten der gleichen Versuchspersonengruppe in anderen Bedingungen interpretierbar sind, sich jedoch weder mit der tatsächlichen Dauer einerseits noch mit den Ergebnissen anderer Experimente oder anderer Gruppen vergleichen lassen

(Engbert et al., 2007).² Zweitens sind solch verbale Schätzungen immer explizit beeinflussbar, indem die Vp beispielsweise ihre Antwort mit der davor abgegebenen Antwort abgleicht oder entsprechend ihrer Annahme über die Hypothesen ihre Antwort bewusst oder unbewusst verfälscht. Drittens muss für diese Methode die Dauer des Zeitintervalls variiert werden (Engbert et al., 2007). Dies wiederum erscheint in Hinsicht auf Befunde zur zeitlichen Kontiguität (Elsner & Hommel, 2004; Michotte, 1963) zwischen Aktion und Effekt problematisch für die Ausbildung stabiler Aktions-Effekt-Beziehungen.

Die beschriebene methodische Problematik der Erforschung intentionaler Verbundenheit wird mit Hilfe der verbalen Einschätzung von Zeitintervallen nur unzureichend gelöst. Der Nachweis einer kürzeren Einschätzung des Intervalls zwischen Aktion und Effekt mit einer etablierten psychophysischen Methode der Zeitschätzung steht meines Wissens bisher noch aus. Diese Lücke soll mit dieser Arbeit geschlossen werden. Zudem sollen die Ergebnisse in Bezug gesetzt werden zu Ergebnissen aus dem Bereich der Zeitwahrnehmung. Möglicherweise geben die Ergebnisse ersten Aufschluss über die bisher fehlenden Prozessannahmen des Konzepts der intentionalen Verbundenheit.

Um Einflüsse auf die Wahrnehmung von Zeitintervallen zu messen, wird in der vorliegenden Arbeit die Methode konstanter Stimuli genutzt (Gescheider, 1997; Lapid, Ulrich, & Rammsayer, 2008). Dabei wird in jedem Trial die Dauer eines Standardintervalls mit der eines darauf folgenden Vergleichsintervalls verglichen und angegeben, ob dieses länger oder kürzer als das Standardintervall war. Im Gegensatz

² Generell ist der Vergleich von geschätzten mit physikalischen Zeitdauern faktisch nicht möglich, da sie immer eine Wahrnehmung, und damit eine subjektive Abbildung der physikalischen Realität darstellen. Dennoch gibt es eine Vielzahl von Studien, in denen die subjektive Schätzung und das physikalische Maß relativ nah beieinander liegen (Grondin & Rammsayer, 2003; Seifried & Ulrich, 2008; Ulrich et al., 2006).

zum immer gleichen Standard variiert die Länge der Vergleichsintervalle, so dass es solche gibt, die mit hoher Wahrscheinlichkeit als kürzer erkannt werden und solche, die mit hoher Wahrscheinlichkeit als länger als der Standard beurteilt werden. An die Antwortwahrscheinlichkeiten über die verschiedenen Vergleichsintervalle wird eine ogive Funktion angepasst und aus ihr der Punkt subjektiver Gleichheit (englisch Point of Subjective Equality, PSE), d.h. der 50 %-Wert der Funktion ermittelt. Dies ist die aus den Daten geschätzte Dauer des Vergleichsintervalls, an dem die V_p nicht mehr unterscheiden kann, ob das Vergleichsintervall länger oder kürzer als der Standardreiz ist, und daher gezwungen ist zu raten.

Generell stellt sich das Problem, dass sowohl in den Studien mit der Komplikationsuhr als auch in den Studien, die sich der subjektiven Zeitschätzung bedienen, die „frei gewählte“ und damit per Definition intendierte Aktion, die einzig mögliche war. Es lagen also keine Handlungsalternativen vor, lediglich der Zeitpunkt der Aktion war frei wählbar. Um eine wirklich freie Wahl zu realisieren, sind in allen in dieser Arbeit vorgestellten Experimenten zur Repräsentation von Zeitintervallen immer zwei Aktionen möglich. Dies ermöglicht den V_p n tatsächlich eine freie Wahl der Aktion. Dadurch lässt sich zudem überprüfen, ob für das Auftreten einer verkürzten Wahrnehmung eines Aktions-Effekt-Intervalls auch tatsächlich der intendierte, also der spezifische, kontingent auftretende Effekt eintreten muss, oder ob auch ein mit einer anderen Aktion verbundener, also mit der ausgeführten Aktion nicht intendierter Reiz, zur gleichen Wahrnehmungstäuschung führt.

In Kapitel 4 dieser Arbeit soll mit der Erweiterung der Methode auf zwei Tasten und der Verwendung einer psychophysischen Methode zur Zeitschätzung zunächst geklärt werden, ob Aktions-Effekt-Intervalle kürzer eingeschätzt werden, als sie tatsächlich sind. Darüber hinaus sollen vier Fragen geklärt werden, die möglicherweise Aufschluss über die vermittelnden Prozesse geben.

Erstens soll untersucht werden, ob die postulierte kürzere Wahrnehmung nur bei Aktions-Effekt-Beziehungen zu finden ist (Haggard, Clark et al., 2002; Haggard & Cole, 2007; Wohlschläger, Engbert et al., 2003), oder ob eine gleichermaßen kürzere Wahrnehmung auch nach Reaktionen auftritt (Experiment 4).

Zweitens soll untersucht werden, ob auch mit der verwendeten psychophysischen Methode die kürzere Wahrnehmung eines Aktions-Effekt-Intervalls gegenüber einem Intervall zwischen einer passiven taktilen Reizung und einem Reiz, welcher dem Effekt in der Aktions-Effekt-Bedingung gleicht, beobachtet werden kann (Experiment 5).

Die dritte Frage bezieht sich auf die Spezifität der eintretenden Effekte. Diese ergibt sich aus dem Bezug des Phänomens intentionaler Verbundenheit auf das ideomotorische Prinzip. Wenn es sich, wie häufig angeführt (Engbert et al., 2007; Haggard & Cole, 2007), bei der kürzeren Wahrnehmung von Aktions-Effekt-Intervallen tatsächlich um eine Folge der Ausbildung von Aktions-Effekt-Beziehungen gemäß dem ideomotorischen Prinzip handelt, sollte ein Aktions-Effekt-Intervall nur dann kürzer eingeschätzt werden, wenn einer Aktion stets ihr kontingent eintretender, spezifischer und daher antizipierter Effekt folgt, nicht jedoch wenn ein beliebiger sensorischer Stimulus folgt (Experiment 6).

Viertens könnte aufgrund der Effektantizipation nicht nur die wahrgenommene Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls, sondern auch die Dauer des Effekts selbst durch die unterschiedliche Erwartbarkeit beeinflusst sein (Experiment 7). Wenn ein in einem Trial unerwarteter, da für die Aktion nicht spezifischer, Effekt auftritt, könnte dies durch die Lenkung der Aufmerksamkeit auf diesen Reiz zu einer unterschiedlich langen Einschätzung führen, als wenn derselbe Reiz in einem Trial als spezifischer und somit erwarteter Effekt auftritt (Ulrich et al., 2006).

2.3. Zeitwahrnehmung und Kausalität

Das Konzept der intentionalen Verbundenheit wird wie beschrieben bisher deskriptiv in Verbindung gesetzt mit der bidirektionalen Beziehung zwischen Aktion und Effekt. Es wurden dagegen bisher kaum Prozessannahmen darüber getroffen, warum die Repräsentation von Zeitpunkten in Aktions-Effekt-Beziehungen bzw. das Zeitintervall zwischen Aktionen und Effekten sich von der Wahrnehmung von Zeitpunkten oder Zeitintervallen zwischen zwei externen sensorischen Reizen unterscheiden sollte.

Als möglicher Grund wird dabei die kausale Beziehung zwischen Aktion und Effekt diskutiert (Cravo, Claessens, & Baldo, 2009; Eagleman & Holcombe, 2002; Humphreys & Buehner, 2009). Nach Haggard (2008) gehen willentliche Handlungen mit dem Erleben von Intention und Kausalität einher, doch eine empirische Analyse des Zusammenhangs von Kausalitätserleben und zeitlicher Wahrnehmung in Handlungskontexten steht noch aus.

Schon Hume nahm an, dass die Wahrnehmung von Kausalität unter anderem durch die zeitliche Nähe zweier Ereignisse entsteht (1739). Eagleman und Holcombe (2002) vermuten, dass die unmittelbare Wahrnehmung eines Effekts eine notwendige Bedingung ist, damit ein Effekt als durch die eigene Aktion kausal verursacht wahrgenommen werden kann (siehe auch Stetson, Cui, Montague, & Eagleman, 2006). Die Wahrnehmung des Effekts als kausal verursacht ist nach Argumentation der Autoren im Umkehrschluss wiederum die Folge der zeitlich unmittelbaren Wahrnehmung.

Entsprechend dieser beiden postulierten Wirkrichtungen ist die Erforschung des Zusammenhangs von Kausalität und der Wahrnehmung von Zeitdauern bzw. zeitlichen Reihenfolgen zwischen zwei Reizen generell in zwei Richtungen möglich.

Erstens beeinflusst zeitliche Nähe die Wahrnehmung von Kausalität, wie in einer Vielzahl von Befunden bestätigt wurde (z.B. Choi & Scholl, 2006a; Lagnado & Sloman, 2006; Michotte, 1963). Häufig wird das „Launching“ Paradigma von Michotte (Michotte, 1963) bzw. das damit verwandte „Bouncing-vs.-Streaming“-Paradigma für die Erforschung solcher Fragestellungen verwendet. Dabei bewegt sich zunächst ein Kreis von links auf die Bildmitte zu, wo ein zweiter Kreis liegt. Im Launchingparadigma stoppt in unterschiedlicher zeitlicher Differenz vor Erreichen der Bildmitte die Bewegung des linken Kreises, und der andere Kreis beginnt sich mit gleicher Geschwindigkeit nach rechts aus dem Bild zu bewegen. Die Vp soll angeben, ob die Bewegung des rechten Kreises durch die vorhergehende Bewegung des linken Kreises erzeugt wurde oder davon unabhängig ist. Im Bouncing-vs.-streaming-Paradigma überlappen die verschiedenfarbigen Kreise teilweise oder ganz, bevor der von links kommende stoppt und der ehemals in der Mitte liegende sich zu bewegen beginnt (z.B. Choi & Scholl, 2006b). Hier soll die Vp beschreiben, ob sie die Szene eher als Anstoß („bouncing“) wahrnimmt, d.h. der eine Kreis stößt wie eine Billardkugel den anderen an und bleibt liegen und verursacht damit die Bewegung des anderen, oder als Vorbeirollen („streaming“), d.h. der eine Kreis rollt am anderen still liegenden vorbei und beide ändern dabei ihre Farbe. Mit verändertem zeitlichem Abstand ändert sich in beiden Paradigmen die Zuschreibung der Kausalität. Bei größerem zeitlichem Abstand wird im Launchingparadigma keine kausale Beziehung zwischen den beiden Bewegungen wahrgenommen, da der eine Kreis zum Stillstand kommt, bevor der andere losrollt. Dagegen wird bei kleinerer zeitlicher Distanz von Bewegungsende und -beginn die zweite Bewegung als durch die erste verursacht wahrgenommen. Im Bouncing-vs.-Streaming-Paradigma, bei dem sich die beiden Reize immer mindestens berühren, wenn nicht überlappen, verschiebt sich die Wahrnehmung von „Anstoß“, d.h. der eine Kreis erzeugt durch

einen Anstoß die Bewegung des anderen Kreises, hin zur Wahrnehmung von „Vorbeirollen“ (Choi & Scholl, 2006b).

Zusätzlich dazu, dass zeitliche Nähe zur Wahrnehmung einer kausalen Beziehung zwischen zwei Ereignissen führt, werden zeitlich nahe beieinander auftretenden Reize auch eher als gemeinsam verursacht wahrgenommen (Körding et al., 2007; Wallace et al., 2004). Unterschiedlich verzögert eintretende Ereignisse können dagegen das Erlernen kausaler Strukturen deutlich erschweren (Lagnado & Sloman, 2006). Insgesamt liegt also Evidenz für dafür vor, dass tatsächlich die zeitliche Beziehung zweier Ereignisse die Wahrnehmung der kausalen Beziehung zwischen den beiden Ereignissen beeinflusst.

Zweitens wirkt sich auch die wahrgenommene Kausalität zwischen Ereignissen auf die Wahrnehmung von Zeitdauern bzw. zeitlichen Reihenfolgen zwischen zwei Reizen aus. So wurde gezeigt, dass sich Reihenfolgeurteile von akustischen und visuellen Reizen verschieben, je nach dem, welcher der beiden Reize als ursächlich für den anderen wahrgenommen wird (Kohlrausch, van Eijk, van de Par, & Juola, 2007). Auch für das bereits genannte Bouncing-vs.-Streaming-Paradigma gibt es Befunde, die auf einen Einfluss der wahrgenommenen Kausalität hindeuten. Wird zum Zeitpunkt des „Auftreffens“ des einen Kreises auf den anderen ein irrelevanter Ton dargeboten, wird das Ereignis von den Probanden häufiger als „Aufschlag“ gegenüber „Vorbeirollen“ bezeichnet (Grassi & Casco, 2009; Sekuler, Sekuler, & Lau, 1997). Dabei hat die Art des Tons unabhängig von seiner physikalischen Gesamtintensität einen Einfluss auf das Urteil: Beginnt der Ton abrupt, nimmt aber dann in seiner Intensität ab – also ein Ton, der dem Geräusch eines Aufschlags ähnelt – wird das Ereignis eher als „Aufschlag“ bezeichnet. Wird der Ton jedoch rückwärts dargeboten, beginnt also leise und wird allmählich lauter

bis zu seinem abrupten Ende, klingt also einem Aufschlag eher unähnlich, wird das Ereignis eher als „Vorbeirollen“ beschrieben (Grassi & Casco, 2009).

Welch starken Einfluss der erlernte zeitliche Zusammenhang zwischen einer Aktion und ihrem kausal verursachten Effekt haben kann, zeigt eine Studie, in der die Reihenfolgewahrnehmung von Aktion und Effekt untersucht wird (Stetson et al., 2006). In einer Lernphase tritt ein Effektton stets zu einem festgelegten verzögerten Zeitpunkt ein. In einer Testphase kann der Ton zu verschiedenen Zeitpunkten vor oder nach der Aktion eintreten. Die Vpn müssen angeben, wann sie den Ton im Verhältnis zu ihrer eigenen Aktion wahrgenommen haben. Wird die Erwartung bezüglich der erlernten Verzögerung verletzt, indem Effekte nach der Aktion aber vor ihrem üblichen Zeitpunkt auftreten, werden sie entgegen der physikalischen Realität öfter als „vor der Aktion“ beurteilt als bei gleicher Verzögerung in einer Baseline, in der den Vpn in der Lernphase nur unmittelbare Effekte präsentiert wurden. Dies wird als Folge einer Rekalibrierung gewertet, durch welche die Verzögerung zwischen einer intentionalen Aktion und ihrem Effekt subjektiv nicht mehr, und der Effekt unmittelbar nach der Aktion wahrgenommen wird. Für intentionale Aktions-Effekt-Beziehungen postulieren die Autoren (Stetson et al., 2006) eine bidirektionale Beziehung von Kausalität und Zeitwahrnehmung: Kausalität werde aus dem direkten Nachfolgen von Effekten nach Aktionen geschlossen und umgekehrt sei die auch bei verzögerten Effekten sofortige Wahrnehmung von Effekten eine notwendige Bedingung zur Wahrnehmung eines Effekts als kausal verursacht.

Methodisch ist diese Studie jedoch problematisch, um als Beleg für die Wirkung von Kausalität auf die Einschätzung der Dauer von Aktions-Effekt-Intervallen gewertet zu werden. Zwar erscheint es augenscheinlich plausibel, dass bei dem Punkt subjektiver Gleichzeitigkeit, d.h. bei dem Punkt, bei dem eine Vp raten musste, ob der Effekt vor oder nach der Aktion auftrat, das Intervall zwischen beiden

Reizen nicht wahrgenommen wird. Dieser Punkt ist nach einer Rekalibrierung an verzögerte Effekte in Richtung des Effektreizes verschoben (Stetson et al., 2006). Allerdings ist von anderen Phänomenen der zeitlichen Wahrnehmung bekannt, dass der Punkt subjektiver Gleichzeitigkeit als Maß der Zeitwahrnehmung variieren kann je nach dem, ob wie in der zitierten Studie von Stetson et al. (2006) ein Reihenfolgeurteil oder dagegen ein Gleichzeitigkeitsurteil verwendet wird (van Eijk, Kohlrausch, Juola, & van de Par, 2008).

Ein weiteres Problem stellt die Unabhängigkeit des beschriebenen Rekalibrierungseffekts von der Identität des Effektreizes dar (Stetson et al., 2006, Experiment 3). An sich sollte neben der zeitlichen Kontiguität die Kontingenz des Effektreizes selbst einen Einfluss auf die Kausalitätswahrnehmung haben (Hume, 1739; Shanks, 1985a, 1985b). Tritt also nach dem Ausbilden einer Aktions-Effekt-Beziehung ein anderer Effektreiz ein als zuvor, sollte dieser zumindest anfangs nicht als kausal verursacht angesehen werden. Ist Rekalibrierung eine Folge der Kausalitätswahrnehmung, sollte nach dem Austausch des Effektreizes eine erneute Rekalibrierungsphase nötig sein. Stetson und Kollegen beobachteten jedoch nach dem Austausch der Effektreize kein geringeres Ausmaß an Rekalibrierung (2006, Experiment 3). Möglicherweise ist die Diskrepanz auf die Irrelevanz der Identität des Effektreizes zurückzuführen, so dass abstrahiert von der Identität des Reizes dieser als kausal verursacht angesehen wird.

Zur Hypothese, dass die intentionale Verbundenheit auf die wahrgenommene Kausalität zwischen Aktion und Effekt zurückzuführen ist, passen die Ergebnisse zur Bedeutung der Kontingenz von Effekten auf die Wahrnehmung von Zeitpunkten (Moore & Haggard, 2008; Moore et al., 2009). In diesen Studien wurde die Kontingenz variiert durch Auftreten vs. Ausbleiben des Effekts, nicht durch eine Variation ihrer Identität. In verschiedenen Gruppen war die Wahrscheinlichkeit, dass

nach einem Tastendruck ein Effekt eintrat, mit 50 % vs. 75 % unterschiedlich hoch. Nach einem hoch kontingenten, also mutmaßlich einem als stark kausal verknüpft wahrgenommenen Auftreten der Effekte nach Aktionen, wurde die Aktion später wahrgenommen – trat also stärkere intentionale Verbundenheit auf – als bei weniger kontingentem Auftreten der Effekte. Insgesamt finden sich also sowohl für den Einfluss der zeitlichen Nähe auf die Wahrnehmung kausaler Verursachung ebenso Belege wie für den Einfluss der Wahrnehmung kausaler Verursachung auf die Wahrnehmung zeitlicher Nähe.

Die Frage nach dem Zusammenhang von zeitlicher Distanz, Handlungskontext und Kausalität greift eine Studie auf, die das Launchingparadigma verwendet (Cravo et al., 2009). Hierbei wurde die Bewegung des linken Kreises entweder selbst durch einen Tastendruck kontrolliert oder beobachtet. In einer Bedingung bewegte sich der linke auf den rechten Kreis zu, bevor dieser seine Bewegung in der gleichen Richtung aufnahm. Die zweite Bewegung wird, bei kleiner zeitlicher Distanz des Endes der ersten Bewegung und des Beginns der zweiten, analog zum Anstoß einer Kugel durch eine andere, häufig als kausal verursacht wahrgenommen. Dagegen bewegten sich in einer zweiten Bedingung ohne Kollision die beiden Reize nacheinander in unterschiedliche Richtungen, so dass hier eine Verursachung der zweiten Bewegung durch die erste nicht plausibel erscheint. Im Anschluss mussten die Vpn entweder das Ausmaß der Verursachung der Bewegung des rechten Kreises durch den linken oder eine verbale Einschätzung des Zeitintervalls zwischen dem Ende der ersten und dem Beginn der zweiten Bewegung abgeben. Es zeigte sich, dass das Ausmaß der Verursachung als geringer eingeschätzt wurde, wenn die Bewegung des rechten Kreises eine andere Richtung hatte als die des linken. Eine relativ kürzere Einschätzung des Zeitintervalls fanden die Autoren jedoch nur, wenn die Bewegungsrichtung gleich war und die erste

Bewegung von der Vp selbst verursacht war. Die Autoren schlussfolgern, dass der als intentionale Verbundenheit eingeführte Einfluss auf die Zeitwahrnehmung nur dann eintritt, wenn eine Aktion ausgeführt wird, und wenn zudem der Effekt plausibel als kausal verursacht wahrgenommen werden kann (Cravo et al., 2009).

In Kapitel 5 soll erstens der Zusammenhang von zeitlicher Wahrnehmung und wahrgenommener Kausalität über das Eintreten des Effekts untersucht werden. Ich vermute, dass ein Rekalibrierungsprozess entsprechend dem von Stetson et al. (2006) berichteten auch die Kausalitätswahrnehmung beeinflusst. Effekte, die immer im gleichen zeitlichen Abstand nach einer Aktion eintreten, sollten genauso als kausal verursacht erlebt werden wie häufig unmittelbar eintretende Effekte. Unklar ist aber, wie unerwartet zu früh oder zu spät eintretende Effekte erlebt werden. Zudem werden ähnlich wie bei Stetson et al. (2006) Urteile bezüglich des Auftretenszeitpunkts des Effektreiz abgeben, jedoch nicht im Bezug zur Aktion sondern zu dem am häufigsten erlebten Effektzeitpunkt. Damit kann die zeitliche Auflösung der Wahrnehmung von Effektzeitpunkten exploriert werden und in Bezug zur Kausalitätswahrnehmung gesetzt werden.

Zweitens stellt sich die Frage, ob sich die zeitliche Auflösung der Reihenfolgewahrnehmung zweier sensorischer Reize unterscheidet, wenn diese als entweder gemeinsam verursacht oder als unabhängig voneinander betrachtet werden. So wie zeitliche Nähe zu dem Schluss führen kann, dass eine gemeinsame Ursache für zwei Ereignisse vorliegt, könnte umgekehrt das (angebliche) Wissen über eine gemeinsame Ursache zu einer gemeinsamen Wahrnehmung zweier Reize führen, die sonst als distinkt angesehen werden (Körding et al., 2007). Für eigene Aktionen zeigen Menschen generell die Tendenz, nachfolgende Ereignisse als selbst verursachte Effekte wahrzunehmen, selbst wenn kein kausaler Zusammenhang besteht (Alloy & Abramson, 1979). Möglicherweise verstärkt die Intention, einen aus

zwei externen Reizen bestehenden Effekt herzustellen, die Wahrnehmung von Gleichzeitigkeit dieser zwei Reize gegenüber der puren Deklaration der beiden Reize als von einer externen Quelle gemeinsam verursacht.

3. Erwerb zeitlicher Relationen im Handlungskontext

Die Experimente 1-3 untersuchen, ob die Relation von impliziten prädiktiven Cues zu nachfolgenden Zeitintervallen und Ereignissen erlernt werden. Dabei erwarte ich, dass der Zusammenhang von Aktionen als Cues für das nachfolgende Zeitintervall und Ereignis besser erlernt wird als von visuellen Stimuli als gleichermaßen prädiktive Cues.

3.1. Experiment 1

Experiment 1 ist aufgeteilt in eine Lern- und eine Testphase. In der Lernphase soll der Zusammenhang zwischen jeweils einem Tastendruck und dem Zeitpunkt und der Identität eines nachfolgenden Ereignisses erlernt werden. Dazu muss auf einen imperativen Stimulus mit einem von zwei Tastendrücken reagiert werden. Jedem Tastendruck folgt nach einem für den Tastendruck spezifischen Zeitintervall eines von zwei Ereignissen, wobei jedes Ereignis einem Tastendruck zu 100 % zugeordnet ist. In der Testphase muss auf das Erscheinen des Ereignisses so schnell wie möglich reagiert werden. Dabei dient einer Gruppe der vormalige imperative Stimulus als impliziter Cue für das folgende Intervall und Ereignis, der anderen der Tastendruck, der nun als frei gewählte Aktion ausgeführt wird. Im Gegensatz zur Lernphase folgen dem Cue Zeitintervall und Ereignis nicht mehr 100 % valide nach. Damit wird getestet, ob die Zuordnung erlernt worden ist und daher Reaktionen auf valide Ereignisse bzw. Zeitpunkte schneller sind als auf invalide bzw. ob unterschiedlich häufig zu früh reagiert wird in Abhängigkeit der zeitlichen Vorhersage durch den Cue.

3.1.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von dreizehn Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt. Davon gingen die Daten von sechs Vpn aufgrund von Fehlern seitens der Versuchsleiter verloren. Sieben Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen, da sich die Anzahl ihrer frei gewählten linken und rechten Tastendrücke signifikant voneinander unterschied (Chi-Quadrat-Test, $p \leq .05$). Die Daten von 48 Vpn gingen in die Auswertung ein, 24 pro Gruppe. 16 Vpn waren männlich, 32 weiblich. Die Vpn waren zwischen 16 und 39 Jahren alt (Mittel = 22 Jahre). Die Vpn nahmen zur Erfüllung von Kursanforderungen oder gegen Zahlung von 6 Euro teil.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Für die Präsentation der Stimuli und die Datenaufzeichnung wurde das Programm E-Prime auf einem PC eingesetzt. Alle Reize wurden auf einem 19-Zoll-Röhrenmonitor mit einer Auflösung von 1024*768 Pixeln und einer Bildwiederholfrequenz von 75 Hz dargeboten. Auf ansonsten grauem Hintergrund wurde außer während der Instruktion und der Pausen eine fotografische Abbildung einer normalerweise ausgeschalteten Glühbirne in der Mitte des Monitors zentral dargestellt, die mit einem sie umgebenden rechteckigen weißen Rahmen 379*192 Pixel des Monitors einnahm. Als Handlungseffekt bzw. Ereignis färbte sich die Glühbirne gelb, blau oder dunkelgrau. Zu Beginn jedes Trials wurde ein Fixationskreuz dargeboten (Schriftart Courier New, Schriftgröße 60). Die imperativen Stimuli und in der Beobachtungsgruppe die Cues in der Testphase waren ein Kreis und ein Quadrat, die innerhalb der Glühbirne in der Bildmitte dargeboten wurden (siehe Abbildung 1). Sie waren realisiert als Schriftzeichen „●“ respektive „■“ der

Schriftart Origin in der Schriftgröße 35. Schriftliches Fehlerfeedback wurde dargeboten im Fall von Antizipationsfehlern („Zu früh!“), beim Drücken einer falschen Taste („Falsche Taste!“), wenn eine Reaktion zu spät erfolgte („Bitte schneller!“), und während der Lernphase, wenn entweder auf die dunkelgraue Glühbirne nicht reagiert wurde („Bitte bestätigen!“) oder auf eine andersfarbige Birne reagiert wurde („Nicht bestätigen!“). Bei Antizipationsfehlern oder falschen Tastendrücken wurde zusätzlich ein Fehlerton über Kopfhörer dargeboten. Aktionen und Reaktionen wurden über drei Tasten abgegeben. Diese bildeten ein Dreieck, zwei links und rechts von der Mittellinie zwischen Vp und Bildmitte parallel zum Bildschirm und die dritte zentral vor der Vp, etwas näher am Körper als die beiden anderen. Um eine bequeme Bedienung zu gewährleisten, konnten die Tasten für jede Vp neu platziert werden, so dass auf der linken und rechten Taste die entsprechenden Zeigefinger und auf der mittleren Taste der Daumen der dominanten Hand ruhen konnte.

Ablauf

Der Ablauf von Experiment 1 ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt. Beide Gruppen absolvierten dieselbe Lernphase. In der Lernphase war zunächst in jedem Trial eine Reaktion auf einen von zwei imperativen Stimuli (Quadrat oder Kreis) mit einem Druck auf die instruierte Taste (links oder rechts) mit dem entsprechenden Zeigefinger gefordert. Jede der Reaktionen erzeugte einen spezifischen Effekt, die normalerweise ausgeschaltet dargestellte Glühbirne färbte sich je nach Reaktion entweder gelb oder blau. Damit die Vpn den ansonsten irrelevanten Effekt auch tatsächlich beachteten, waren unabhängig von der vorausgehenden Reaktion 10 % abweichende Trials eingestreut, in denen sich die Glühbirne als Handlungseffekt dunkelgrau färbte. Darauf sollte die Vp mit einem Tastendruck auf die dritte mittig angebrachte Reaktionstaste mit dem Daumen der dominanten Hand reagieren. Alle Effekte traten verzögert zu zwei möglichen Zeitpunkten 100 % valide in Abhängigkeit

von der vorausgehenden Reaktion ein. Auf den einen Tastendruck folgte der Effekt nach einem Zeitintervall von 400 ms, auf den anderen von 1200 ms. Sowohl der Tastendruck als auch der vorhergehende imperative Stimulus dienten also als Prädiktor für das auf den Tastendruck folgende Zeitintervall zu 100 % und für das folgende spezifische Ereignis zu 90 %, wobei das abweichende Ereignis ein drittes mögliches Ereignis (die Graufärbung der Glühbirne), nicht aber das jeweils für den anderen Tastendruck spezifische Ereignis war (s. Tabelle 1).

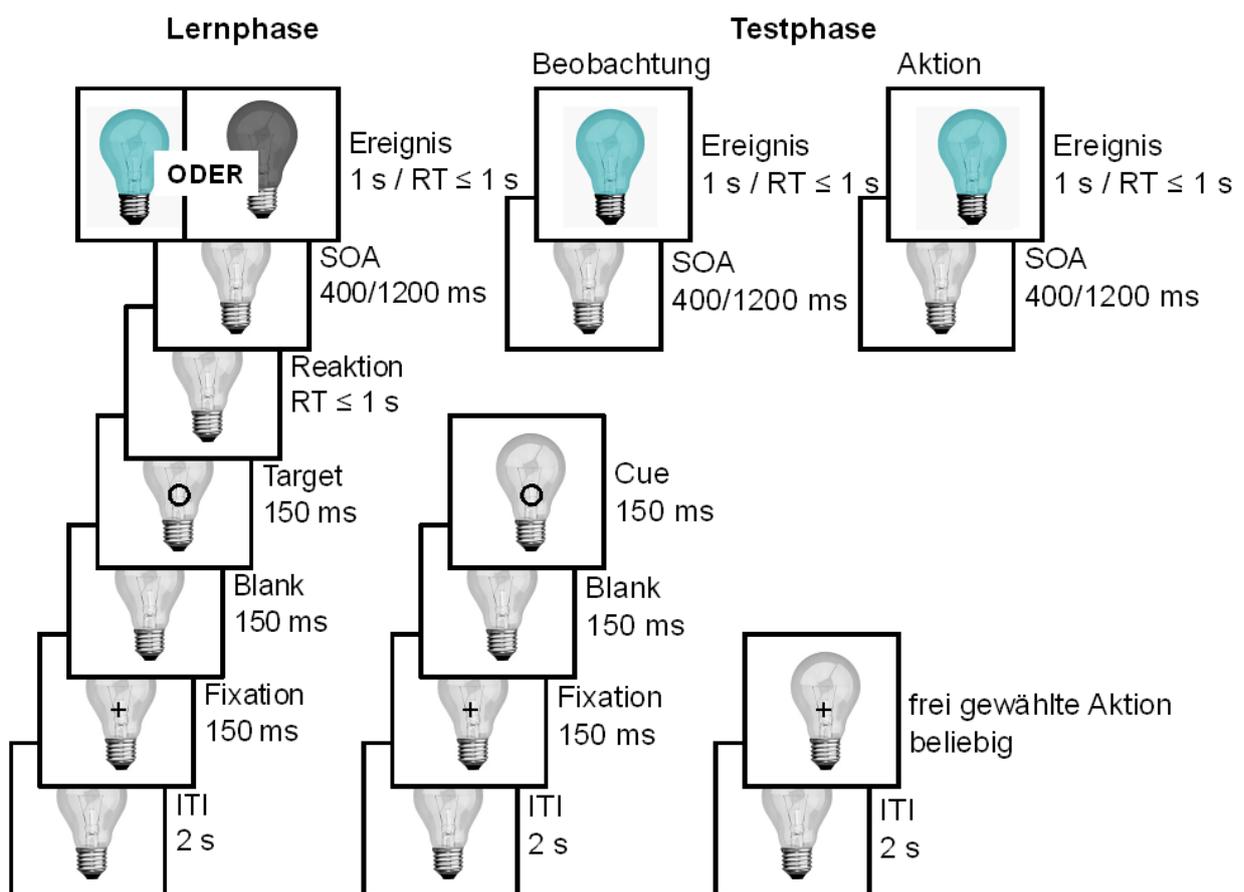


Abbildung 1. Ablauf der Lern- (links) und der Testphasen (rechts) in Experiment 1. Als Ereignis konnte sich die Birne statt wie hier exemplarisch dargestellt blau in Abhängigkeit von Tastendruck oder sensorischem Cue auch gelb färben.

In der Testphase wurden die Vpn in zwei Gruppen aufgeteilt, die Aktions- und die Beobachtungsgruppe. In der Aktionsgruppe wurden die Tastendrucke, die zuvor auf einen imperativen Stimulus folgten, nun frei von der Vp gewählt und ausgeführt. Die Beobachtungsgruppe sah dagegen in jedem Trial einen der beiden Stimuli (Kreis

oder Quadrat), die in der Lernphase als imperative Stimuli gedient hatten. Auf sie folgte nun meist das Zeitintervall, das in der Lernphase auf den anschließenden Tastendruck gefolgt war. Für beide Gruppen blieb die Zuordnung entweder von Stimulus in der Beobachtungsgruppe oder von Tastendruck in der Aktionsgruppe zu sowohl dem gewöhnlich folgenden Zeitintervall (400 oder 1200 ms) als auch dem Ereignis (blaue oder gelbe Birne) gleich. Allerdings war die Häufigkeit der Ereignisse und ihrer Zeitpunkte nicht mehr zu 100 % valide den vorhergehenden Prädiktoren zugeordnet, sondern nur noch zu 80 %. In den übrigen 20 % aller Fälle trat zu gleichen Teilen entweder das invalide Ereignis zum validen Zeitpunkt, das valide Ereignis zum invalidem Zeitpunkt oder das invalide Ereignis zum invaliden Zeitpunkt ein (s. Tabelle 1).

Tabelle 1

Exemplarische Verteilung der Anzahl der Trials auf die Bedingungen in Experiment 1. Die mit * markierten Häufigkeiten können entsprechend der tatsächlich durch die Vp oder Jochperson gewählten Tastendrucke abweichen. Die Zuordnung von Zeitintervallen und Ereignissen war über Vpn ausbalanciert.

		Zeitintervall	400 ms		1200 ms		400 ms	1200 ms
		Ereignisfarbe	blau	gelb	blau	gelb	grau	grau
Lern- phase	Beide Gruppen	Kreis → rechte Taste	72	0	0	0	9	0
		Quadrat → linke T.	0	0	0	72	0	9
Test- phase	Aktionsgruppe	Rechte Taste	180*	15*	15*	15*	-	-
		Linke Taste	15*	15*	15*	180*	-	-
	Beobachtungs- gruppe	Kreis	180*	15*	15*	15*	-	-
		Quadrat	15*	15*	15*	180*	-	-

In der Testphase musste auf jedes Ereignis reagiert werden. Dazu musste auf das Eintreten beider Ereignisse gleichermaßen so schnell wie möglich mit dem Daumen der dominanten Hand die mittlere Taste gedrückt werden.

Da die Vpn in der Aktionsgruppe die Reihenfolge der Tastendrucke frei wählten, konnte keine Zufallsreihenfolge gewährleistet werden. Um auszuschließen, dass mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen auf diese nicht zufälligen

Sequenzen zurückzuführen sind, wurde ein Jochdesign gewählt: Einer Vpn in der Beobachtungsgruppe wurden die impliziten Cues in der gleichen Reihenfolge präsentiert, in der ihre Jochperson in der Aktionsgruppe die entsprechenden Tasten gewählt hatte. Hatte eine Vp der Aktionsgruppe eine ungültige Aktion ausgewählt, d.h. die mittlere Taste gewählt, wurde der Trial vorzeitig beendet. Solche Trials wurden den Joch-Vpn der Beobachtungsgruppe nicht präsentiert.

Schriftliche Instruktionen auf dem Bildschirm informierten die Vpn über ihre Aufgabe, jedoch nicht über die Zusammenhänge zwischen Tastendrücken und/oder impliziten Cues und den nachfolgenden Ereignissen und Zeitintervallen. Die Lernphase bestand aus 20 Übungstrials, gefolgt von 3 Blöcken mit je 54 Trials. Die Testphase bestand aus 30 Übungstrials gefolgt von 5 Blöcken von je 90 Trials.

Die Zuordnung von Tasten zu den imperativen Stimuli/impliziten Cues, Zeitintervallen und Ereignissen war über Vpn ausbalanciert.

Datenreduktion und -analyse

Es wurden zwei Maße in Bezug auf die Reaktionen auf das Ereignis, d.h. den Farbwechsel der Glühbirne in der Testphase, ausgewertet. Erstens wurden die Reaktionszeiten auf das Ereignis analysiert. Zudem wurden die Antizipationsfehler, d.h. Tastendrücke noch vor dem Eintreten des Ereignisses, ausgewertet. Bei der Analyse der Antizipationsfehler wurden Trials ausgeschlossen, in denen die Vp in der Aktionsgruppe keine gültige Aktion zu Beginn des Trials ausgeführt hatte (0.98 %). Von der Analyse der Reaktionszeiten wurden Antizipationsfehler (4.91 %), Auslassungsfehler, d.h. wenn eine Vp nicht innerhalb von 1000 ms nach dem Ereignis reagiert hatte (1.28 %), sowie falsche Reaktionen auf das Ereignis (0.17 %) ausgeschlossen.

Die mittlere Reaktionszeit für korrekte Reaktionen wurde für die einzelnen Vpn für jede Kombination der Faktoren Zeitintervall, Validität des Zeitintervalls und

Validität des Ereignisses berechnet. Zudem wurden für jede Vp der mittlere Anteil an Antizipationsfehlern für die Kombinationen der Faktoren Zeitintervall und Validität des Zeitintervalls berechnet. Die Validität des Ereignisses wurde hierbei nicht berücksichtigt, da Antizipationsfehler per Definition *vor* dem Ereignis gemacht werden, und die Vp daher zum Zeitpunkt des Fehlers kein Wissen über die zukünftige Validität des Ereignisses hatte. Die mittleren Reaktionszeiten und Antizipationsfehler sind in Tabelle 2 dargestellt.

3.1.2. Ergebnisse

Reaktionszeiten

Es wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (Aktion, Beobachtung) und den Messwiederholungsfaktoren Zeitintervall (400 ms, 1200 ms), Validität des Zeitintervalls (valides Zeitintervall, invalides Zeitintervall) und Validität des Ereignisses (valides Ereignis, invalides Ereignis).

Die Analyse ergab signifikante Haupteffekte für die Faktoren Zeitintervall, $F(1,46) = 105.31$, $p < .001$, und Validität des Zeitintervalls, $F(1,46) = 13.56$, $p < .001$. Desweiteren wurde eine signifikante Wechselwirkung zwischen Zeitintervall und Validität des Zeitintervalls gefunden, $F(1,46) = 5.70$, $p < .05$. Zwischen den Gruppen zeigte sich ein marginaler Unterschied für den Faktor Validität des Zeitintervalls, $F(1,46) = 3.37$, $p = .073$ (s. Abbildung 2), und eine signifikante Dreifachinteraktion mit den Faktoren Zeitintervall und Validität des Zeitintervalls, $F(1,46) = 9.13$, $p < .05$. Für den Faktor Validität des Ereignisses zeigte sich weder ein signifikanter Haupteffekt noch eine Interaktion mit anderen Faktoren. Insgesamt unterschieden sich die Gruppen nicht in ihren Reaktionszeiten, $F(1,46) < 1$.

Um herauszufinden, woher die Interaktion von Zeitintervall, Validität des Zeitintervalls und der Gruppe kommt, wurden post-hoc t-Tests durchgeführt. Sie

zeigten, dass die Reaktionszeiten für alle Gruppe x Zeitintervall Kombinationen nach 1200 ms kürzer waren als nach 400 ms (Aktionsgruppe, valides Zeitintervall: $t(23) = 6.40$, $p < .0001$, invalides Zeitintervall: $t(23) = 10.10$, $p < .001$; Beobachtungsgruppe valides Zeitintervall: $t(23) = 4.21$, $p < .001$, invalides Zeitintervall: $t(23) = 3.60$, $p < .005$). Nur in der Aktionsgruppe und nur nach kurzem Zeitintervall zeigte sich ein Validitätseffekt des Zeitintervalls (Reaktionszeit invalides Zeitintervall - Reaktionszeit valides Zeitintervall), $t(23) = 3.70$, $p < .005$. Dieser Effekt zeigte sich nicht in der Beobachtungsgruppe, $t(23) = 0.69$, $p = .49$, und nach langem Zeitintervall wurde für keine Gruppe ein Validitätseffekt gefunden (Aktionsgruppe: $t(23) = 0.70$, $p = .95$, Beobachtungsgruppe: $t(23) = 1.60$, $p = .12$).

Tabelle 2

Mittlere Reaktionszeiten und mittlere Anzahl von Antizipationsfehlern in Experiment 1. Die entsprechenden Standardfehler sind in Klammern angegeben.

	Zeitintervall	Reaktionszeiten in ms (SF)				Anteil Antizipationsfehler in % (SF)	
		Validität des Ereignisses		Validität des Zeitintervalls		Validität des Zeitintervalls	
		valide	invalide	valide	invalide	valide	invalide
		valide	invalide	valide	invalide	valide	invalide
Aktionsgruppe	400 ms	388 (17)	436 (17)	398 (18)	428 (17)	1.2 (0.3)	0.7 (0.2)
	1200 ms	323 (14)	328 (16)	324 (16)	319 (15)	8.1 (1.2)	20.1 (2.8)
Beobachtungsgruppe	400 ms	371 (17)	378 (17)	375 (18)	377 (17)	1.7 (0.3)	0.4 (0.2)
	1200 ms	336 (14)	347 (16)	336 (16)	343 (15)	7.2 (1.2)	10.9 (2.8)

Antizipationsfehler

Es wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (Aktion, Beobachtung) und den Messwiederholungsfaktoren Zeitintervall (400 ms, 1200 ms) und Validität des Zeitintervalls (valide, invalide).

Zwischen den Gruppen zeigte sich ein marginaler Unterschied, wobei in der Aktionsgruppe tendenziell mehr Fehler gemacht wurden, $F(1,46) = 3.09$, $p = .085$. Es gab Haupteffekte sowohl für Zeitintervall, $F(1,46) = 75.57$, $p < .001$ als auch für

Validität des Zeitintervalls, $F(1,46) = 4.51$, $p < .05$. Zudem gab es Interaktionen der Faktoren Zeitintervall und Validität des Zeitintervalls, $F(1,46) = 27.22$; $p < .001$ (s. Abbildung 2), Validität des Zeitintervalls und Gruppe, $F(1,46) = 8.824$, $p < .005$, sowie eine Dreifachinteraktion zwischen Zeitintervall, Validität des Zeitintervalls und Gruppe, $F(1,46) = 5.13$, $p < .05$. Diese Dreifachinteraktion wurde mit t-Tests genauer analysiert. Sie zeigten, dass in beiden Gruppen mehr Fehler nach einem langem Zeitintervall gemacht wurden, wenn das Ereignis durch den Cue früh vorhergesagt worden war, als wenn es valide spät auftrat (Aktionsgruppe: $t(23) = -4.21$, $p < .001$; Beobachtungsgruppe: $t(23) = -2.56$, $p < .05$). Umgekehrt wurden weniger Fehler gemacht, wenn das Ereignis in der Beobachtungsgruppe spät vorhergesagt war, aber früh auftrat (signifikant weniger in der Beobachtungsgruppe, $t(23) = 3.8$, $p < .001$ und marginal weniger Fehler in der Aktionsgruppe, $t(23) = 1.91$, $p = .068$). Weitere t-Tests, welche die Größe der Validitätseffekte (Fehler invalide – Fehler valide) zwischen den Gruppen nach kurzem respektive langem Zeitintervall verglichen, zeigten, dass der umgekehrte Validitätseffekt vor kurzen Reaktionen in der Aktionsgruppe marginal kleiner war, $t(23) = 1.83$, $p = .07$, der Validitätseffekt vor späten Reaktionen dagegen signifikant größer in der Aktionsgruppe, $t(23) = 2.63$, $p < .05$.

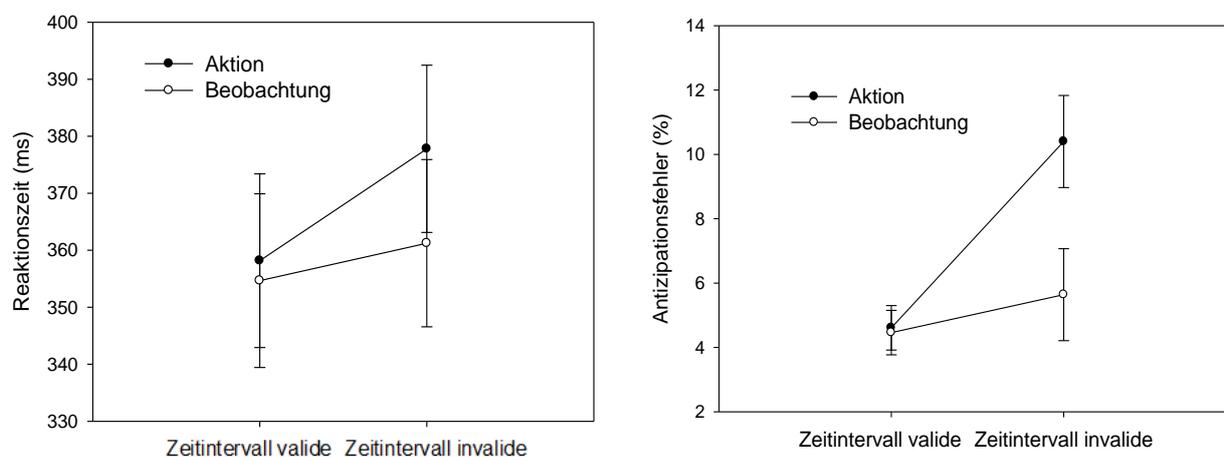


Abbildung 2. Validitätseffekt des Zeitintervalls zwischen den Gruppen in den Reaktionszeitdaten (links) und den Antizipationsfehlerdaten (rechts) in Experiment 1.

3.1.3. Diskussion

Der Vorperiodeneffekt, d.h. langsamere Reaktionen auf Ereignisse nach 400 ms nach Aktion oder Cue als nach 1200 ms nach Aktion oder Cue, tritt wie erwartet unabhängig von allen anderen Bedingungen auf.

Bezüglich der Validität des Zeitpunkts zeigt sich, dass wie erwartet auf invalide frühe Zeitpunkte verzögert reagiert wird, wobei dieser Effekt nur in der Gruppe auftritt, die intentionale Aktionen ausführt. Die Wechselwirkung der Validität des Zeitpunktes mit dem Zeitpunkt ist wie erwartet: Tritt ein Ereignis zum erwarteten frühen Zeitpunkt nicht ein, ist im verwendeten Design sicher, dass es folglich zu einem späteren Zeitpunkt eintreten wird. So kann eine Person ihre Aufmerksamkeit in der Zeit auf den späteren Zeitpunkt reorientieren (Correa et al., 2004; Coull, Frith, Büchel, & Nobre, 2000). Nur wenn das folgende lange Zeitintervall durch eine Aktion vorhergesagt wird, sind Reaktionen auf ein invalide frühes Auftreten verzögert gegenüber einem valide frühen Auftreten, nicht aber wenn es durch einen visuellen Stimulus gleichen prädiktiven Werts vorhergesagt wird.

Ein ähnliches Bild ergibt die Analyse der Antizipationsfehler. Generell werden während langer Zeitintervalle mehr Antizipationsfehler gemacht. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Vpn viel länger die Gelegenheit hatten, die Reaktionstaste vor dem Farbwechsel-Ereignis zu drücken. Die Validitätseffekte müssen für beide Zeitintervalle getrennt betrachtet werden. Es zeigt sich ein üblicher Validitätseffekt für lange Intervalle, d.h. es werden mehr Reaktionen vor dem Eintreten eines Ereignisses während eines invalide langen (also als kurz vorhergesagten) als während eines valide langen Zeitintervalls ausgeführt. Dieser Validitätseffekt tritt in beiden Gruppen auf, jedoch stärker in der Gruppe, in der Aktionen als Cues dienen. Vermutlich führt eine höhere Reaktionsvorbereitung vor dem Eintreten des Ereignisses zum vermehrten Auftreten von Antizipationsfehlern.

Da es nur *eine* Reaktion gibt, kann sie perfekt geplant und vorbereitet werden und wartet nur auf den Abruf durch das Eintreten des Ereignisses. Ist die Reaktion aufgrund des Cues bereits nach 400 ms vorbereitet, das Ereignis tritt aber nicht ein, werden trotzdem mehr Reaktionen fälschlicherweise zu früh ausgeführt, als wenn der Cue das Eintreten des Ereignisses valide für den späten Zeitpunkt vorhersagt.

Ein anderes Bild zeigt sich vor dem Eintreten früher Ereignisse. Hier ist der Validitätseffekt umgekehrt, d.h. wenn das Ereignis aufgrund des Cues nach 400 ms erwartet wird, werden mehr Antizipationsfehler noch vor seinem Eintreten gemacht, als wenn es invalide spät vorhergesagt war. Dieser umgekehrte Validitätseffekt mag zunächst überraschend erscheinen, lässt sich aber ebenfalls durch ein unterschiedliches Ausmaß an Reaktionsvorbereitung erklären. Wird das Ereignis nach kurzem Intervall erwartet, wird eine Reaktion für diesen Zeitpunkt vorbereitet, was hin und wieder zu einer zu frühen Reaktion führt. Bei später Erwartung des Ereignisses nach 1200 ms liegt dagegen im Intervall bis 400 ms kaum Reaktionsvorbereitung vor, da der Cue anzeigt, dass die Reaktion erst später benötigt wird – es werden kaum Fehler gemacht. Dieser Effekt war in der Beobachtungsgruppe marginal stärker als in der Aktionsgruppe. Bei der Interpretation dieses Validitätseffekts vor früh eintretenden Ereignissen sollte berücksichtigt werden, dass mit insgesamt weniger als 1 % überhaupt sehr selten noch vor dem Eintreten eines frühen Ereignisses reagiert wurde.

Insgesamt findet sich Evidenz dafür, dass die prädiktiven Cues für Zeitintervalle vor dem Eintreten von Ereignissen implizit erlernt werden. Dies gilt insbesondere für Aktionen als Prädiktoren der Intervalle. Visuelle Reize mit demselben prädiktiven Wert werden auch zu einem gewissen Ausmaß als Cues genutzt, jedoch ist ihr Einfluss schwächer und zeigt sich lediglich in den Fehlerraten.

Es stellt sich die Frage, warum dagegen die Validität der Identität des Ereignisses keinen statistisch signifikanten Einfluss auf Reaktionszeiten oder Antizipationsfehler hat. Aufgrund der überzeugenden Evidenz dafür, dass Aktions-Effekt-Kovariationen bzw. Ereignis-Ereignis-Kovariationen erlernt werden (z.B. Allan, 1993; Alloy & Abramson, 1979; Dickinson, Shanks, & Evenden, 1984; Gibbon et al., 1974; Hoffmann & Sebold, 2005; Pavlov & Anrep, 1927; Rescorla & Wagner, 1972; Shanks, 1985a) scheint es nicht plausibel anzunehmen, dass der Zusammenhang zwischen Cue und Farbwechsel nicht erlernt werden kann. Da das Ereignis als imperativer Stimulus der Reaktion entdeckt, jedoch nicht diskriminiert werden musste, war seine Identität für die Reaktion vollkommen irrelevant und wurde deswegen möglicherweise nicht beachtet bzw. hatte keinen Einfluss auf die Reaktionszeit.

Ein methodisches Problem stellt das Design der Lernphase aufgrund der mehrdeutigen Cue-Ereignis-Beziehungen dar und könnte damit die größere Lernleistung in der Aktionsgruppe erklären. In der Lernphase waren beide prädiktiven Cues vorhanden, von denen später jede Vp *einen* in der Testphase weiter als alleinigen prädiktiven Cue erlebt. Der spätere visuelle Cue diente als imperativer Stimulus und der später als frei gewählte Aktion ausgeführte Tastendruck als Reaktion auf den imperativen Stimulus. Möglicherweise wurde in der Lernphase in Anwesenheit beider prädiktiver Cues der Tastendruck in beiden Gruppen mit dem Ereignis stärker verbunden und "überschattete" den visuellen Stimulus, der dadurch nicht mit dem Ereignis verbunden wurde (Pavlov & Anrep, 1927). Zudem ist in beiden Gruppen die Lernphase die gleiche. Dadurch ist jedoch nur in der Aktionsgruppe der zeitliche Zusammenhang zwischen prädiktivem Cue und Ereignis in der Testphase der gleiche wie in der Lernphase, nämlich immer exakt 400 ms oder 1200 ms zwischen Cue und Ereignis. In der Beobachtungsgruppe ist in der Lernphase das

Intervall ebenso an die Reaktion gebunden, d.h. es folgt dem Tastendruck nach 400 ms bzw. 1200 ms. Dem visuellen imperativen Stimulus folgt es jedoch dementsprechend nach 400 ms bzw. 1200 ms plus der jeweiligen Reaktionszeit auf den Stimulus, so dass hier alle Zeitintervalle in der Testphase immer um einen variablen Betrag länger sind als in der Lernphase.

3.2. Experiment 2

Mit Experiment 2 soll gezeigt werden, ob auch Relationen von impliziten Cues und Ereignissen sowie Kovariationen von Zeitintervallen und Ereignissen erworben werden, wenn die Identität der Ereignisse relevant für die nachfolgende Reaktion ist. Daher werden die Vpn in Experiment 2 instruiert, auf das jeweilige Ereignis mit einer Zweifach-Wahlreaktion zu reagieren. Damit muss das Ereignis diskriminiert werden, um darauf richtig reagieren zu können.

Eine Lernphase wird hier nicht durchgeführt, um zu verhindern, dass einer der beiden möglichen prädiktiven Cues in der Lernphase den anderen überschattet, indem das zu lernende Zeitintervall und/oder Ereignis mit entweder dem imperativen Stimulus oder dem jeweiligen Tastendruck verbunden wird. Daher bekommen alle Vpn von Anfang an immer nur einen prädiktiven Cue präsentiert, der von Beginn an mit hoher, jedoch nicht 100%iger Wahrscheinlichkeit Zeitintervall und Ereignis vorhersagt. Als prädiktiver Cue dient dabei für eine Vp von Anfang an entweder eine frei gewählte Aktion oder ein visueller Reiz.

3.2.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von sechs Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt. Davon gingen drei Vpn aufgrund von Fehlern der

Versuchsleiter verloren. Zwei wurden ausgeschlossen, da sie die beiden möglichen Aktionen unterschiedlich häufig ausgewählt hatten (Chi-Quadrat-Test, $p \leq .05$). Eine weitere Vp aus der Aktionsgruppe wurde ausgeschlossen, da ihre mittlere Reaktionszeit mehr als 2 Standardabweichungen langsamer als der Gruppenmittelwert war. Die Daten von 32 Vpn gingen in die Auswertung ein, 16 pro Gruppe. Sie waren zwischen 19 und 28 Jahren alt (Mittel = 21 Jahre). 27 der Vpn waren weiblich, 5 männlich. 28 Vpn waren Rechtshänder, 4 Linkshänder. Alle Vpn gaben an, eine Computermaus gewöhnlich mit der rechten Hand zu bedienen. Die Vpn nahmen zur Erfüllung von Kursanforderungen oder gegen Zahlung von 6 Euro teil.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Das Experiment wurde mit der gleichen technischen Ausstattung ausgeführt wie Experiment 1, jedoch wurde der Monitor mit einer Auflösung von 1280*1024 Pixeln betrieben. Statt der Reaktionstasten verwendeten die Vpn eine optische Computermaus, die mit der rechten Hand bedient wurde. Auf dem Monitor wurden zwei Ordner dargeboten, markiert mit den Buchstaben „A“ und „B“, um sie als zwei distinkte Ordner zu kennzeichnen. Beide wurden auf dem ansonsten grauen Bildschirm umgeben von einem weißen Rechteck dargeboten, das je 20 % der Fläche in x- und y-Richtung überspannte, und mit den Ordnern die Reaktionsfläche für Mausclicks bildete. Die Ordner wurden auf der senkrechten Mittelachse dargeboten, wobei der Mittelpunkt des einen Ordners in der oberen Bildhälfte (über dem 20 % Punkt der y-Achse) und der des anderen Ordners in der unteren Bildhälfte lag (über dem 80 %-Punkt der Achse). Die Ordner blieben mit Ausnahme der Instruktion und Pausen während des gesamten Experiments sichtbar. Am Beginn jedes Trials wurde ein Fixationskreuz zentral präsentiert (Courier New, Schriftgröße 60 Punkt). In der Aktionsgruppe war das Anklicken eines frei gewählten Ordners der Prädiktor für das nachfolgende Zeitintervall und Ereignis. In der Beobachtungsgruppe

veränderte sich stattdessen die Farbe eines der Ordner kurz von gelb zu blau. Nach dem jeweiligen Zeitintervall von 400/1200 ms erschien in der Mitte des Bildschirms als Targetereignis ein Icon (170*210 Pixel), das Targeticon, das ein Bild oder ein Textdokument symbolisierte, flankiert von zwei weiteren Icons, den Reaktionsicons, welche die zwei möglichen Reaktionen auf das Targeticon symbolisierten (Löschen oder Speichern). Die Reaktionsicons erstrecken sich über 20 % des Monitors in x- und y-Richtung und lagen vertikal in der Mitte des Bildschirms links (über dem 25 %-Wert der x-Achse) und rechts (über dem 75 %-Wert der x-Achse) der Mitte.

Aktionen und Reaktionen wurden mit einer optischen Maus ausgeführt, indem der Mauszeiger zu einer Reaktionsfläche bewegt und dann die linke Maustaste gedrückt wurde. Der Mauszeiger erschien immer dann, wenn eine Antwort gefordert war (d.h. in beiden Gruppen mit dem Targeticon und in der Aktionsgruppe zusätzlich mit dem Fixationskreuz) in der Mitte des Bildschirms und verschwand mit dem Mausklick, bis die nächste Aktion oder Reaktion gefordert war. Damit wurde sichergestellt, dass die Distanz zu beiden Reaktionsicons bzw. zu den beiden Ordnern immer gleich groß war, und keine Bewegung schon vor dem Erscheinen des Targeticons ausgeführt werden konnte. Jegliche Bewegungen, die ausgeführt wurden, während die Maus nicht sichtbar und keine Bewegung gefordert war, wurden nicht berücksichtigt.

Auf dem Monitor wurden schriftliche Rückmeldungen über ungültige Aktionen zu Trialbeginn gegeben, sowie wenn die Reaktion keines der Reaktionsicons getroffen hatte ("Daneben!"), wenn das falsche Reaktionsicon angeklickt wurde ("Falsche Auswahl!") oder wenn keine Reaktion auf das Targetereignis innerhalb von 2000 ms nach dem Onset des Targets erfolgt war ("Bitte schneller!"). Im Falle falscher Reaktionen auf das Targetereignis wurde zudem über Kopfhörer ein Fehlerton präsentiert.

Die Reaktionszeit war definiert als die Zeit vom Erscheinen des Targets bis zum Klick auf das Reaktionsicon, also im engeren Sinne als eine Kombination von Reaktions- und Bewegungszeit.

Ablauf

Am Anfang jedes Trials erschien in beiden Gruppen ein Fixationskreuz, das bis zum Erscheinen des Targeticons sichtbar blieb (siehe Abbildung 3). In der Aktionsgruppe erschien gleichzeitig der Mauszeiger. Die Vpn sollten nun zu einem beliebigen Zeitpunkt einen Ordner frei wählen, indem sie den Mauszeiger zum Ordner bewegten und auf die linke Maustaste klickten. Sie waren instruiert, die Ordner in jedem Durchgang zufällig zu wählen und keine Strategie zu verwenden wie beispielsweise die Reihenfolge zu alternieren oder blockweise zu wechseln. Wie in Experiment 1 war jede der Personen der Beobachtungsgruppe einer Jochperson der Aktionsgruppe zugewiesen und erlebte die Cues, Zeitintervalle und Ereignisse - und damit die validen und invaliden Intervalle und Ereignisse - in der Reihenfolge, die ihre Jochperson erzeugt hatte. Für die Vpn der Beobachtungsgruppe färbte sich 300 ms nach Erscheinen des Fixationskreuzes einer der beiden Ordner (der, den die Jochperson im entsprechenden Trial gewählt hatte) für 150 ms blau.

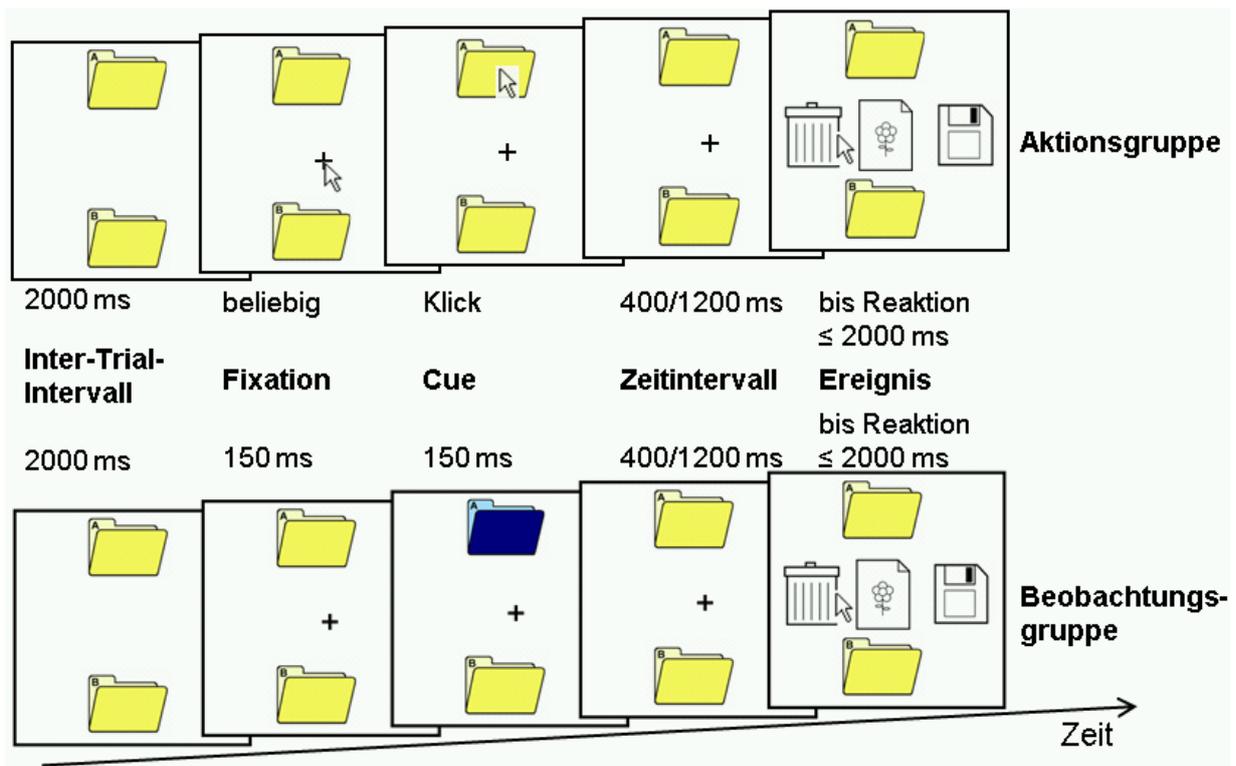


Abbildung 3. Schematische Darstellung des Ablaufs eines Trials in Experiment 2.

Das jeweilige Zeitintervall bis zum Eintreten des Ereignisses begann für die Vpn in der Aktionsgruppe mit einem Klick auf den frei gewählten Ordner, in der Beobachtungsgruppe, sobald der Ordner seine Farbe wieder zu gelb gewechselt hatte. Nach Ende des Zeitintervalls erschien das Targeticon, auf das die Vp entsprechend der Instruktion so schnell wie möglich reagieren musste. War beispielsweise die Instruktion, alle Bilder zu löschen und alle Dokumente zu speichern, musste die Vp bei Erscheinen des Targeticons „Bild“ mit dem Mauszeiger so schnell wie möglich das Reaktionsicon „Löschen“ erreichen und anklicken. Jedes Reaktionsicon war für eine Vp während des Experiments fest einer Seite zugeordnet, so dass mit dem Targetereignis auch die Reaktionsseite vorhersagbar war.

Tabelle 3

Exemplarische Verteilung der Targetereignisse und Zeitintervalle in Experiment 2. Die mit * markierten Zahlen können entsprechend der tatsächlich durch die Vp bzw. Jochperson gewählten Aktionen am Trialbeginn abweichen.

Aktion/Cue	Zeitintervall				gesamt
	400 ms		1200 ms		
	Bild	Dokument	Bild	Dokument	
Ordner A (angeklickt/beobachtet)	216*	18*	18*	18*	270*
Ordner B (angeklickt/beobachtet)	16*	18*	18*	216*	270*
gesamt	232*	36*	36*	232*	540

Wie in Experiment 1 wurde die Häufigkeit der beiden Zeitintervalle und der darauf folgenden Ereignisse der prädiktiven Aktion oder dem prädiktiven visuellen Stimulus so zugeordnet, dass dem einen Ordner in 80 % aller Fälle nach einem der beiden Zeitintervalle, dem validen Zeitintervall, ein festgelegtes Targetereignis, das valide Ereignis, folgte. Die übrigen 20 % waren zu gleichen Teilen aufgeteilt in Fälle mit validem Ereignis nach invalidem Zeitintervall, invalidem Ereignis nach validem Zeitintervall oder invalidem Ereignis nach invalidem Zeitintervall (s. Tabelle 3).

Die Zuordnung von Ordnern (A oder B) zu Zeitintervallen (400 ms oder 1200 ms), Targeticons (Dokument oder Bild), Reaktionsicons (löschen oder speichern) und von Targeticons zu Reaktionsseite (links oder rechts) war über Vpn ausbalanciert. Der Ordner, der in der Beobachtungsgruppe zu Beginn eines Trials blau markiert war, entsprach dem Ordner, den eine Jochperson in der Aktionsgruppe gewählt hatte. Ebenso folgten entsprechend die Zeitintervalle und Ereignisse in der gleichen Reihenfolge, welche die Jochperson der Aktionsgruppe erzeugt hatte. Wenn eine Vp der Aktionsgruppe zu Trialbeginn an eine andere Stelle als auf einen der beiden Ordner geklickt hatte, wurde dieser Trial abgebrochen und der Jochperson der Beobachtungsgruppe nicht dargeboten.

Vor dem ersten Experimentalblock wurde ein Übungsblock mit 15 Durchgängen durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Instruktionen verstanden worden waren. Darauf folgten neun Blöcke mit je 60 Trials.

Datenreduktion und -analyse

Von der Analyse der Fehler wurden die Trials ausgeschlossen, in denen die Vp der Jochgruppe am Trialbeginn keinen der Ordner ausgewählt hatte (1.7 %). Für die Analyse der Reaktionszeiten wurden darüber hinaus die Trials ausgeschlossen, in denen die Vp das falsche Reaktionsicon gewählt hatte (0.73 %), beide Reaktionsicons verfehlt hatte (3.96 %) oder nicht innerhalb von 2 s auf das Targetereignis reagiert hatte (< 0.1 %). Fehler waren hier im Gegensatz zu Experiment 1 keine Antizipationsfehler sondern fehlerhafte Reaktionen auf das Targetereignis. Antizipationsfehler konnten bei der Aufgabe nicht auftreten, da eine Reaktion vor Erscheinen des Targeticons ausgeschlossen war. Für die Analyse der Fehler wurden alle falschen Reaktionen zusammengefasst, d.h. alle Reaktionen, die das richtige Reaktionsicon verfehlt hatten (4.7 %). Zur weiteren Analyse wurden die Reaktionszeiten und Fehler jeder Bedingungskombination für jede Vp gemittelt.

3.2.2. Ergebnisse

Einen Überblick über die Ergebnisse von Experiment 2 gibt Tabelle 4.

Reaktionszeiten

Es wurde eine Varianzanalyse mit den Messwiederholungsfaktoren Zeitintervall (400 ms, 1200 ms), Validität des Zeitintervalls (Zeitintervall valide, Zeitintervall invalide) und Validität des Ereignisses (Ereignis valide, Ereignis invalide) sowie dem Zwischengruppenfaktor Gruppe (Aktion, Beobachtung) berechnet.

Tabelle 4

Mittlere Reaktionszeiten und Anteil der Fehler gemittelt über beide Zeitintervalle in Experiment 2. Der Standardfehler des jeweiligen Mittelwerts ist in Klammern dahinter angegeben.

	Validität des Ereignisses	Reaktionszeit in ms (SF)		Fehler in % (SF)	
		Validität des Zeitintervalls		Validität des Zeitintervalls	
		valide	invalide	valide	invalide
Aktionsgruppe	valide	645 (24)	687 (24)	3.0 (0.7)	4.6 (1.3)
	invalide	772 (20)	780 (21)	13.0 (1.4)	9.5 (1.4)
Beobachtungsgruppe	valide	604 (24)	624 (24)	5.3 (0.7)	6.7 (1.3)
	invalide	715 (20)	681 (21)	5.0 (1.4)	3.6 (1.4)

Insgesamt waren die Vpn der Aktionsgruppe langsamer als die Vpn der Beobachtungsgruppe, $F(1,30) = 5.14$, $p < .05$. Innerhalb der Vpn gab es einen signifikanten Haupteffekt für die Faktoren Zeitintervall, $F(1,30) = 5.86$, $p < .05$ und Validität des Ereignisses $F(1,30) = 77.58$, $p < .001$ sowie einen marginal signifikanten Haupteffekt für die Validität des Zeitintervalls, $F(1,30) = 4.12$, $p = .05$. Zwischen den Faktoren Validität des Zeitintervalls und Validität des Ereignisses wurde eine signifikante Interaktion gefunden, $F(1,30) = 19.13$, $p < .001$ (s. Abbildung 4). Die einzige signifikante Interaktion mit dem Faktor Gruppe ergab sich mit der Validität des Zeitintervalls, $F(1,30) = 12.75$, $p < .005$ (s. Abbildung 4). Anschließende t-Tests zeigten, dass ein signifikanter Einfluss der Validität des Zeitintervalls in der Aktionsgruppe vorhanden ist, $t(15) = 3.8$, $p < .005$, nicht jedoch in der Beobachtungsgruppe, $t(15) = -1.14$, $p = .27$. Paarweise t-Tests bezüglich der Interaktion der Validität des Zeitintervalls mit der Validität des Ereignisses zeigten, dass invalide Ereignisse die Reaktion unabhängig von der Validität des Zeitintervalls verzögern ($t(15) = -9.22$, $p < .001$ für valide Zeitintervalle, $t(31) = -6.54$, $p < .001$ für invalide Zeitintervalle), wohingegen ein signifikanter Einfluss der Validität des Zeitintervalls nur bei validen Ereignissen gezeigt werden konnte, $t(31) = -5.32$, $p < .001$, nicht jedoch bei invaliden Ereignissen.

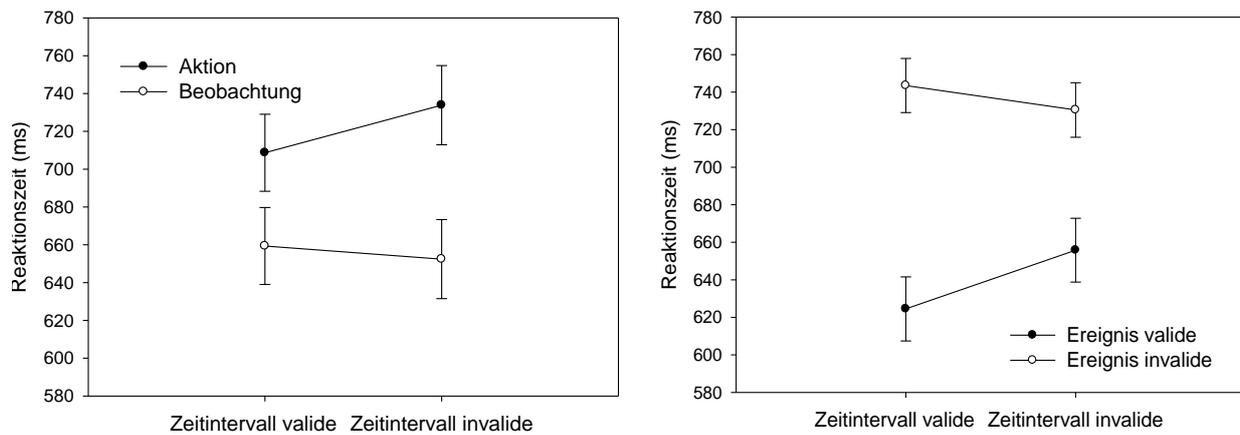


Abbildung 4. Interaktion des Faktors Validität des Zeitintervalls mit der Gruppe (links) und Interaktion der Validität des Zeitintervalls mit der Validität des Ereignisses (rechts) in Experiment 2.

Tatsächlich sind numerisch die Reaktionen auf invalide Ereignisse nach validem Zeitintervall sogar langsamer als nach invalidem Zeitintervall. Die Interaktion der Faktoren Validität des Zeitintervalls und Validität des Ereignisses sowie der numerisch umgekehrte Validitätseffekt des Zeitintervalls bei invaliden Ereignissen mögen auf den ersten Blick kontraintuitiv erscheinen. Allerdings zeigt sich bei einem Blick auf das Versuchsdesign (s. Tabelle 3 *Tabelle 4*), dass alles in allem über das gesamte Experiment die vier möglichen Kombinationen von Zeitintervallen und Ereignissen nicht gleich häufig auftraten. Das valide Ereignis zum validen Zeitpunkt in Bezug auf den einen Prädiktor diente gleichzeitig als invalides Ereignis zum invaliden Zeitpunkt für den anderen Prädiktor. Diese beiden Ereignis-Zeitpunkt-Kombinationen traten insgesamt im Experiment in jeweils 43.3 % aller Trials auf, wohingegen die Kombinationen, bei denen entweder Zeitintervall oder Ereignis valide, die jeweils andere Eigenschaft jedoch invalide prädiziert wurde, jeweils in nur 6.6 % aller Trials vorkamen. Wagener und Hoffmann (im Druck-b) konnten zeigen, dass Reaktionen auf häufige Zeitintervall-Ereignis-Kombinationen schneller und weniger fehleranfällig sind, als auf seltene Kombinationen. Daher muss geprüft werden, ob die gefundenen Validitätseffekte allein auf das generell häufigere

Auftreten der Kombinationen zurückzuführen sind, oder ob tatsächlich die erhöhte Vorhersagbarkeit eines Reizes aufgrund des Cues zu Trialbeginn für die Reaktion genutzt wird. Deswegen wurden die beiden relativ häufigen Kombinationen gemäß ihrer Validität in einem Trial aufgeteilt und folglich die validen Ereignisse zu validen Zeitpunkten mit den invaliden Ereignissen zum invaliden Zeitpunkt verglichen. Es zeigte sich, dass Reaktionen in der zweifach validen Bedingung schneller ausgeführt wurden als in der zweifach invaliden Bedingung, $t(31) = -8.26, p < .001$.

Fehler

Es wurde eine Varianzanalyse mit den Messwiederholungsfaktoren Zeitintervall (400 ms, 1200 ms), Validität des Zeitintervalls (Zeitintervall valide, Zeitintervall invalide) und Validität des Ereignisses (Ereignis valide, Ereignis invalide) sowie dem Zwischengruppenfaktor Gruppe (Aktion, Beobachtung) berechnet.

Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt für die Validität des Ereignisses, $F(1,30) = 13.72, p < .005$, sowie Interaktionen zwischen der Validität des Ereignisses und der Validität des Zeitintervalls, $F(1,30) = 7.26, p < .05$ sowie zwischen der Validität des Ereignisses und der Gruppe, $F(1,30) = 35.05, p < .01$. Keine anderen Haupteffekte oder Interaktionen erreichten Signifikanz. Insgesamt machten die Vpn in der Aktionsgruppe marginal mehr Fehler als in der Beobachtungsgruppe, $F(1,30) = 3.88, p = .06$.

Nachfolgende t-Tests für gepaarte Stichproben zeigten, dass Reaktionen auf invalide Ereignisse gegenüber Reaktionen auf valide Ereignisse nach validen Zeitintervalle häufiger falsch waren, $t(31) = -3.81, p < .001$, nicht aber nach invaliden Zeitintervallen, $t(31) = -0.63, p = .53$. Nach invaliden Zeitintervallen machten Vpn gegenüber validen Zeitintervallen mehr Fehler, wenn das valide Ereignis eingetreten war, $t(31) = -2.25, p < .05$, aber marginal weniger Fehler, wenn das invalide Ereignis eingetreten war, $t(31) = 1.95, p = .06$. Eine Analyse der Größe der Validitätseffekte

für Ereignisse (Fehler invalide Ereignisse - Fehler valide Ereignisse) in den beiden Gruppen zeigte, dass nur in der Aktionsgruppe ein solcher Effekt auftrat, $t(15) = 5.71$, $p < .001$, wohingegen in der Beobachtungsgruppe die Vpn in Reaktion auf valide Ereignissen marginal mehr Fehler machten als auf invalide Ereignisse, $t(15) = -2.06$, $p = .06$.

Wie bei der Analyse der Reaktionszeiten wurden die Fehler auf das Eintreten valider Ereignissen zu validen Zeitpunkten mit denen auf das Eintreten invalider Ereignisse zu invaliden Zeitpunkten verglichen, d.h. die beiden im Verlauf des Experiments häufigen Zeitpunkt-Ereignis-Kombinationen, die sich jedoch bezüglich der Vorhersagbarkeit im jeweiligen Trial unterschieden (s. Tabelle 3). Nach dem Auftreten der insgesamt invaliden Kombinationen von Zeitintervall und Ereignis wurden mehr Fehler gemacht als nach der insgesamt validen Kombination, $t(31) = -2.05$, $p < .001$.

3.2.3. Diskussion

Der beobachtete Haupteffekt des Zeitintervalls zeigt, dass Reaktionen nach dem langen Zeitintervall schneller waren als nach dem kurzen Zeitintervall, d.h. es findet sich wieder der typische Vorperiodeneffekt für trialweise variierende Intervalle (Correa et al., 2004; Niemi & Näätänen, 1981).

Von größerem theoretischem Interesse sind die Validitätseffekte. Im Gegensatz zu Experiment 1 hat die Validität des Ereignisses einen Einfluss auf sowohl Reaktionszeiten als auch Fehlerraten, vermutlich weil in Experiment 2 die Identität des Ereignisses relevant für die Reaktion auf das Ereignis war. Die Größe des Effekts ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass mit der Identität des Ereignisses auch die motorische Reaktion, d.h. ob die Maus nach links oder nach rechts bewegt werden muss, vorhergesagt werden kann. Zwischen den Gruppen

unterscheidet sich die Größe des Effekts nur in Bezug auf die Fehlerrate, für welche sich ein größerer Validitätseffekt in der Aktionsgruppe zeigt. Die Reaktionszeiten widersprechen diesem Befund nicht, da sie ebenfalls einen numerisch, jedoch nicht statistisch signifikant größeren Validitätseffekt der Aktionsgruppe zeigen. In der Beobachtungsgruppe deutet sich in den Fehlerraten ein marginal signifikanter umgekehrter Effekt der Validität des Ereignisses an, d.h. es werden weniger fehlerhafte Reaktionen auf invalide Ereignisse hin ausgeführt. Deswegen kann nicht ausgeschlossen werden, dass die schnelleren Reaktionen auf valide Ereignisse in der Beobachtungsgruppe zu Lasten der Genauigkeit gehen. Dagegen deuten die Fehlerraten in der Aktionsgruppe numerisch in die gleiche Richtung wie die Reaktionszeiten und somit generell auf einen Vorteil der Aktionsgruppe für das Erlernen des Zusammenhangs zwischen einem prädiktivem Cue und einem folgenden Ereignis.

Für die Validität des Zeitintervalls zeigen die Reaktionszeiten das gleiche Muster für die beiden Gruppen wie in Experiment 1. Während die Validität des Zeitintervalls die Reaktionszeiten in der Beobachtungsgruppe nicht generell beeinflusst, sind Vpn der Aktionsgruppe schneller, wenn ein Ereignis nach einem validen statt einem invaliden Zeitintervall auftritt.

Die Interaktion der Validität des Zeitintervalls und der Validität des Ereignisses zeigt ein interessantes Muster: Invalidität von Zeitintervall und Ereignis haben keinen additiven Einfluss auf die Reaktionszeit, statt dessen reagieren Vpn auf invalide Ereignisse nach invaliden Zeitintervallen numerisch schneller und machen marginal weniger Fehler als auf valide Ereignisse nach invaliden Zeitintervallen.

Um diese Interaktion zu verstehen, muss man sich ins Gedächtnis rufen, dass die Validität sowohl des Ereignisses als auch des Zeitintervalls hier definiert ist in Bezug auf das vorhergehende prädiktive Ereignis, d.h. die Aktion oder den visuellen

Cue. Dabei entspricht die Kombination des invaliden Ereignisses zum invaliden Zeitintervall in Bezug auf den einen Prädiktor der Kombination des validen Ereignisses zum validen Zeitintervall in Bezug auf den anderen Prädiktor. Diese Kombinationen von Zeitintervall und Ereignis treten in 40 % aller Trials als insgesamt valide Bedingungskombination nach dem einen Prädiktor und in 3.33 % aller Trials als insgesamt invalide Bedingungskombination nach dem anderen Prädiktor auf, also in jeweils 43.33 % aller Trials. Dagegen treten die Bedingungskombinationen, bei denen entweder das Zeitintervall valide, aber das Ereignis invalide ist, oder das Ereignis valide, aber das Zeitintervall invalide, in jeweils nur 6.66 % aller Trials auf (s. Tabelle 3). Das Ergebnis des nicht-additiven, sondern sogar numerisch bzw. marginal signifikant umgekehrten Validitätseffekts für die insgesamt invaliden Zeitintervall-Ereignis-Kombinationen passt daher zu den Befunden von Wagener und Hoffmann, die einen Reaktionsvorteil für eben solche häufigen Kombinationen von Ereignissen und Zeitpunkten in Abwesenheit prädiktiver Information finden (Wagener & Hoffmann, im Druck-b). Der Vergleich der beiden häufigen Kombinationen in Abhängigkeit ihrer Validität zeigt jedoch, dass nicht allein die Häufigkeit des gemeinsamen Auftretens die schnelleren und weniger fehlerhaften Reaktionen erklären kann. Stattdessen sind die Reaktionen auf gleich häufige Ereignisse schneller und weniger fehlerhaft, wenn sie valide in Bezug auf den prädiktiven Cue sind.

Im Gegensatz zu Experiment 1 fällt auf, dass keine Interaktion des Zeitintervalls mit der Validität des Zeitintervalls gefunden wurde. Das heißt, die Validität des Zeitintervalls beeinflusst Reaktionen sowohl nach dem kurzen als auch nach dem langen Zeitintervall. Dies widerspricht anderen Studien, in denen ein Einfluss der Validität eines Zeitintervalls nur nach kurzen, nicht aber nach langen Intervallen berichtet wird (Correa et al., 2004; Coull et al., 2000; Miniussi, Wilding,

Coull, & Nobre, 1999; Nobre, 2001). Dies wird dort damit erklärt, dass Vpn ihre Aufmerksamkeit auf einen späteren Zeitpunkt reorientieren können, wenn der frühere, erwartete Zeitpunkt verstrichen, jedoch kein Ereignis eingetreten ist. Bei dieser Reorientierung in der Zeit handelt es sich um eine endogene Verschiebung der Aufmerksamkeit, die nur dann auftritt, wenn genug Ressourcen zur Verfügung stehen (Correa et al., 2004; MacKay & Juola, 2007). Möglicherweise wurden durch die Diskriminationsaufgabe und damit durch die Notwendigkeit, sich an die Zuordnung von Targeticon zu Reaktionsicon zu erinnern zu viele kognitive Ressourcen gebunden, so dass eine Reorientierung der Aufmerksamkeit nicht möglich war.

3.3. Experiment 3

In Experiment 2 trat jedes Reaktionsicon immer nur auf einer Seite des Bildschirms auf. Damit waren mit der Vorhersagbarkeit des Targeticons auch die Lokation des Reaktionsicons und damit die spezifische motorische Reaktion vorhersagbar. Räumliche Vorhersagbarkeit führt zu schnellerer Verarbeitung von Reizen an der vorhergesagten Lokation (z.B. Chun & Jian, 1998; Chun & Jiang, 2003; Hoffmann & Kunde, 1999; Hoffmann & Sebald, 2005; Meyers & Rhoades, 1978; Olson & Chun, 2002). Zudem kann in Experiment 2 das Wissen über die Lokation, zu der man den Mauszeiger wahrscheinlich bewegen muss, genutzt werden, um diese Reaktion vorzubereiten. Darüber hinaus kovariiert auch das Zeitintervall mit der Seite des relevanten Reaktionsicons, was allein schon zu einem Vorteil der häufig für die Reaktion relevanten Seite führen könnte (Wagener & Hoffmann, im Druck-b). Experiment 3 soll ausschließen, dass die in Experiment 2 gefundenen Validitätseffekte allein auf räumliche Vorhersagbarkeit zurückgeführt werden können. Dazu wurde im Unterschied zu Experiment 2 die Position der beiden

Reaktionsicons zufällig variiert und damit die Kovariation des Ereignisses, d.h. des Targeticons, und des Zeitintervalls mit der Seite des Reaktionsicons und der erforderlichen motorischen Reaktion aufgehoben. Da in der Aktionsgruppe die größeren Validitätseffekte gefunden wurden, wurde das Experiment nur mit einer Aktionsgruppe durchgeführt.

3.3.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von vier Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt, da sie die beiden möglichen Aktionen unterschiedlich häufig ausgewählt hatte (Chi-Quadrat-Test, $p \leq .05$). Die Daten von 24 Vpn gingen in die Analyse ein. Sie waren zwischen 19 und 31 Jahren alt (Mittel = 24 Jahre). Elf davon waren männlich, dreizehn weiblich. Vier Vpn waren Linkshänder, die übrigen waren Rechtshänder, aber alle gaben an, eine Computermouse gewöhnlich mit der rechten Hand zu bedienen. Die Vpn nahmen zur Erfüllung von Kursanforderungen oder gegen die Bezahlung von 6 Euro an dem Experiment teil.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial entsprechen denen in Experiment 2.

Ablauf

Gegenüber Experiment 2 gab es drei Veränderungen. Erstens gab es nur eine Experimentalgruppe, die wie die Aktionsgruppe in Experiment 2 zu Beginn des Trials einen der beiden Ordner auswählte und anklickte. Zweitens sagte zwar diese Aktion mit der gleichen Wahrscheinlichkeit wie in Experiment 2 (s. Tabelle 3) das folgende Ereignis und den Zeitpunkt seines Eintretens voraus. Allerdings prädizierte die Aktion im Gegensatz zu Experiment 2 nicht die Seite des Reaktionsicons, da dieses in trialweise randomisierter Reihenfolge und somit unabhängig sowohl von

der vorausgehenden Aktion als auch von der Identität des Ereignisses und dem Zeitpunkt seines Eintretens links oder rechts dargeboten wurde. Drittens wurde die maximal erlaubte Reaktionszeit auf 1.5 s gesenkt, um die Variabilität der Reaktionszeiten zu reduzieren.

Datenreduktion und -analyse

Wie in Experiment 2 wurde der Übungsblock von der Datenanalyse ausgeschlossen. Von der Analyse der Fehler wurden die Trials ausgeschlossen, in denen die Vp am Trialbeginn beide Ordner verfehlt hatte (1.8 %). Für die Analyse der Reaktionszeiten wurden darüber hinaus die Trials ausgeschlossen, in denen die Vp das falsche Reaktionsicon gewählt hatte (1.6 %), beide Reaktionsicons verfehlt hatte (2.0 %), oder nicht innerhalb von 1.5 s auf das Targetereignis reagiert hatte (2.3 %). Fehler sind wie in Experiment 2 fehlerhafte Reaktionen auf das Targetereignis. Für die Analyse der Fehler wurden alle falschen Reaktionen zusammengefasst, d.h. alle Reaktionen, die das richtige Reaktionsicon verfehlten (3.6 %).

3.3.2. Ergebnis

Eine Übersicht über die Ergebnisse gibt Tabelle 5.

Reaktionszeiten

Es wurde eine Varianzanalyse mit den Messwiederholungsfaktoren Zeitintervall (400 ms, 1200 ms), Validität des Zeitintervalls (Zeitintervall valide, Zeitintervall invalide) und Validität des Ereignisses (Ereignis valide, Ereignis invalide) gerechnet. Es ergaben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren Validität des Zeitintervalls, $F(1,23) = 5.71$, $p < .05$, und Validität des Ereignisses, $F(1,23) = 8.24$, $p < .01$ sowie eine signifikante Interaktion der Faktoren Validität des Zeitintervalls und Validität des Ereignisses, $F(1,23) = 4.47$, $p < .05$ (s. Abbildung 5). Für den Faktor Zeitintervall ergab sich weder ein Haupteffekt noch eine Wechselwirkung mit einem

der anderen Faktoren. Eine anschließende Analyse der Interaktion zwischen den Faktoren Validität des Zeitintervalls und Validität des Ereignisses mittels t-Tests für gepaarte Stichproben ergab, dass die Validität des Zeitintervalls die Reaktion auf valide Ereignisse verlangsamte, $t(23) = -4.87$, $p < .001$, nicht aber auf invalide, $t(23) = -0.18$, $p = .86$, und umgekehrt die Validität des Ereignisses Reaktionen nach validem Zeitintervall verzögerte, $t(23) = -5.12$, $p < .001$, nicht aber nach invalidem Zeitintervall, $t(23) = -1.22$, $p = .24$.

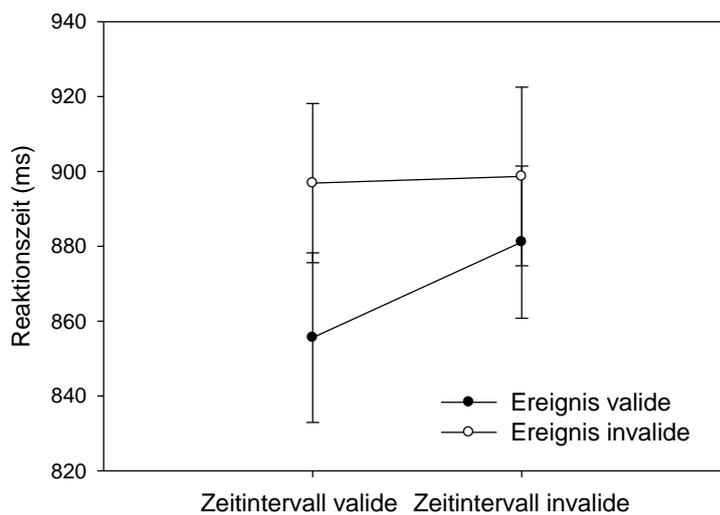


Abbildung 5. Interaktion der Faktoren Validität des Zeitintervalls und Validität des Ereignisses in den Reaktionszeitdaten von Experiment 3.

Die Interaktion der Validitätseffekte könnte darauf zurückzuführen zu sein, dass die insgesamt validen Zeitintervall-Ereignis-Kombinationen häufiger vorkommen als die nur teilweise validen Kombinationen (s. Tabelle 3). Wie in Experiment 2 wurden die mit je 43.3 % der Trials häufigsten Kombinationen von Zeitintervall und Ereignis gemäß ihrer Validität aufgeteilt verglichen. Damit sollte sichergestellt werden, dass tatsächlich die Validität des Ereignisses einen Reaktionsvorteil gegenüber seiner Häufigkeit allein bringt. Dieser Vergleich der Kombination des validen Ereignisses zum validen Zeitpunkt mit dem invaliden Ereignis zum invaliden

Zeitpunkt ergab, dass auf die insgesamt validen Kombinationen schneller reagiert wurde als auf die insgesamt invaliden Kombinationen, $t(23) = -3.33$, $p < .005$.

Tabelle 5

Mittlere Reaktionszeiten und Anteil der Fehler gemittelt über beide Zeitintervalle in Experiment 3. Der Standardfehler der Mittelwerte ist in Klammern dahinter angegeben.

	Reaktionszeit in ms (SF)		Fehler in % (SF)	
	Validität des Zeitintervalls		Validität des Zeitintervalls	
	valide	invalide	valide	invalide
Ereignis valide	856 (23)	881 (21)	3.4 (0.7)	4.3 (1.1)
Ereignis invalide	897 (20)	899 (24)	4.8 (0.9)	3.9 (1.9)

Fehler

Es wurde eine Varianzanalyse mit den Messwiederholungsfaktoren Zeitintervall (400 ms, 1200 ms), Validität des Zeitintervalls (Zeitintervall valide, Zeitintervall invalide) und Validität des Ereignisses (Ereignis valide, Ereignis invalide) gerechnet. Es ergaben sich keine signifikanten Haupteffekte oder Wechselwirkungen. Nach langen Zeitintervallen werden marginal mehr Fehler gemacht als nach kurzen Zeitintervallen, $F(1,23) = 3.52$, $p = .07$. Zudem ergab sich eine marginale Interaktion für die Faktoren Validität des Zeitintervalls und Validität des Ereignisses, $F(1,23) = 3.65$, $p = .07$. Um auszuschließen, dass die Validitätseffekte in den Reaktionszeitdaten auf einen Speed-Accuracy-Tradeoff zurückgehen und schnellere Reaktionszeiten nach validen Aktionen zu Lasten der Genauigkeit gingen, wurde diese Interaktion mit Hilfe von t-Tests weiter untersucht. Es zeigte sich lediglich ein marginaler Mittelwertsunterschied. Dieser deutet in die gleiche Richtung wie die Reaktionszeiten, nach validen Zeitintervallen werden marginal mehr Fehler nach invaliden Ereignissen als nach validen Ereignissen gemacht, $t(23) = -1.97$, $p = .06$.

3.3.3. *Diskussion*

Die Validität sowohl der Zeitintervalle als auch der Ereignisse führt zu schnelleren Reaktionszeiten. Da im Gegensatz zu Experiment 2 die Aktion am Trialbeginn das Zeitintervall und das danach eintretende Ereignis vorhersagt, aber nicht die spezifisch geforderte motorische Reaktion, bestätigt dieses Ergebnis, dass der Zusammenhang von Aktionen als impliziten prädiktiven Cues und Zeitintervallen sowie Ereignissen erlernt wird. Den Ergebnissen von Experiment 2 kann also nicht allein räumliche Aufmerksamkeit und/oder der Möglichkeit, die spezifische Reaktion vorherzusagen zugrunde liegen.

Wie in Experiment 2 waren der Einfluss der Validität des Zeitintervalls und des Ereignisses nicht unabhängig voneinander, was einen additiven Einfluss beider Validitätseffekte zur Folge hätte. Möglicherweise ist dies, wie in der Diskussion zu Experiment 2 vermutet, auf die unterschiedliche Häufigkeit der vier möglichen Zeitintervall-Ereignis-Kombinationen zurückzuführen. Allerdings zeigte wie schon in Experiment 2 ein Vergleich zwischen den beiden häufigen Kombinationen, dass die Reaktionen auf die jeweils von der Aktion vorhergesagte Kombination schneller waren als auf die insgesamt gleich häufige, in Bezug auf die Aktion jedoch unwahrscheinliche Kombination. Die Validitätseffekte lassen sich also auch hier nicht allein auf Kovariationen von Zeitintervallen und Ereignissen zurückführen, sondern zumindest anteilig darauf, dass der prädiktive Wert einer Aktion zur Vorbereitung der Reaktion genutzt wird.

Ebenso vergleichbar zu Experiment 2 interagiert auch in Experiment 3 der Faktor Zeitintervall nicht mit der Validität des Zeitintervalls, d.h. wieder findet keine generelle Reorientierung auf den späten Zeitpunkt statt, wenn das kurze Intervall bereits verstrichen ist, ohne dass ein früh vorhergesagtes Ereignis eingetreten ist. Wie bei Experiment 2 diskutiert könnte auch hier die Erklärung sein, dass die

Diskriminationsaufgabe so viele zentrale Ressourcen bindet, dass nicht genügend Kapazität für eine endogene Aufmerksamkeitsverschiebung übrig bleibt.

Überraschenderweise findet sich im Gegensatz zu den Experimenten 1 und 2 kein Effekt der Vorperiode auf die Reaktionszeiten. Normalerweise würde man bei einem Design, in dem mit Sicherheit eine Reaktion erwartet wird und die Vorperiode trialweise variiert, erwarten, dass Reaktionen nach langen Zeitintervallen vor Eintreten des Ereignisses schneller sind als nach kurzen (Niemi & Näätänen, 1981). Möglicherweise ist dieser Effekt in den vorliegenden Daten verschleiert, da hier die Zeitdauer bis zum Bewegungsbeginn, der Bewegung selbst und dann bis zum Klicken der Maustaste eingeht. Damit könnte der Effekt zu Reaktionsbeginn noch vorhanden gewesen, jedoch durch die weitere Bewegung verschleiert worden sein.

4. Erleben von Zeitintervallen im Handlungskontext

Die Experimente 4-7 sollen mehr Aufschluss über die Wahrnehmung von Zeitintervallen im Handlungskontext geben. Dazu wird als psychophysische Methode der Zeitschätzung die Methode konstanter Stimuli genutzt (für eine Beschreibung und Diskussion der Methode siehe auch Lapid et al., 2008).

Konkret soll mit Experiment 4 geprüft werden, ob die Dauer eines Aktions-Effekt-Intervalls tatsächlich kürzer geschätzt wird gegenüber ihrer tatsächlichen Dauer. Desweiteren soll geklärt werden, ob das Intervall zwischen einer frei gewählten Aktion und ihrem Effekt als kürzer geschätzt wird als ein gleich langes Intervall zwischen einer Reaktion und ihrem Effekt. Experiment 5 untersucht, ob sich die Einschätzung der Dauer eines Intervalls zwischen einer Aktion und ihrem Effekt unterscheidet von der zwischen einer passiven taktilen Reizung und einem externen Stimulus. Die Experimente 6a-6d untersuchen, ob die Wahrnehmung der Dauer eines Aktions-Effekt-Intervalls von der Spezifität und somit der Antizipierbarkeit des Effektreizers abhängt. Die Experimente 7a und 7b wurden durchgeführt, um zu klären, inwieweit diese Spezifität des Effekts auch die wahrgenommene Dauer des Effektreizers selbst beeinflusst (für eine Übersicht über die durchgeführten Experimente s. Tabelle 6).

Um eine größtmögliche Vergleichbarkeit zu den mit Hilfe einer Komplikationsuhr realisierten Studien zu ermöglichen, wird dabei zunächst das konstante Aktions-Effekt-Intervall von 250 ms gewählt. Bei diesem Intervall sind bei der Verwendung einer Komplikationsuhr bisher die stärksten Effekte intentionaler Verbundenheit beobachtet worden (Haggard, Aschersleben et al., 2002; Haggard, Clark et al., 2002).

Tabelle 6

Schematische Übersicht über die Experimente 4-7. Grau unterlegt sind die Intervalle, deren Dauer eingeschätzt werden soll.

Experiment	Bedingung 1			Bedingung 2		
Experiment 4	Aktion		Effekt*	Reaktion		Effekt*
	A_{links}	→	■	$X^* - R_{links}$	→	■
	A_{rechts}	→	□	$O^* - R_{rechts}$	→	□
Experiment 5	Aktion		Effekt*	Stimulus _{taktil}		Ereignis*
	A_{links}	→	■	S_{links}	→	■
	A_{rechts}	→	□	S_{rechts}	→	□
Experiment 6	Aktion		Effekt*	Aktion		Effekt*
	A_{links}	→	■ (80 %)	A_{links}	→	□ (20 %)
	A_{rechts}	→	□ (80 %)	A_{rechts}	→	■ (20 %)
Experiment 7	Aktion		Effekt*	Aktion		Effekt*
	A_{links}	→	■ (80 %)	A_{links}	→	□ (20 %)
	A_{rechts}	→	□ (80 %)	A_{rechts}	→	■ (20 %)

*Die Zuordnung von Effekten/Ereignissen sowie (imperativen) Stimuli ist exemplarisch dargestellt und wird über Vpn ausbalanciert.

4.1. Experiment 4

Experiment 4 soll klären, ob die postulierte kürzere Wahrnehmung nur bei Aktions-Effekt-Beziehungen zu finden ist (Haggard, Clark et al., 2002; Haggard & Cole, 2007; Wohlschläger, Engbert et al., 2003), oder ob eine gleichermaßen kürzere Wahrnehmung auch nach Reaktionen auftritt. Gegenwärtig ist unklar, ob sich Aufgabenkontexte, in denen die Vpn die Aktion frei wählen, von Reiz-Reaktions-Kontexten, in denen die Vpn auf einen Stimulus hin reagieren, in Bezug auf intentionale Verbundenheit zwischen (Re-)Aktion und Effekt unterscheiden. Ein Vergleich dieser beiden Situationen im Forschungsbereich des Aktions-Effekt-Lernens gibt gegenwärtig keinen Aufschluss, ob (Re-)Aktions-Effekt-Lernen gleichermaßen in Situationen auftritt, in denen die Vpn auf einen Stimulus reagieren,

oder ob Aktions-Effekt Lernen auf Situationen beschränkt ist, in denen die Vpn frei eine Aktion wählen. Herwig und Kollegen berichteten kürzlich, dass Aktions-Effekt-Lernen nur für frei wählbare Aktionen, und nicht für instruierte Reiz-Reaktions-Zuordnungen stattfindet (Herwig et al., 2007; Herwig & Waszak, 2009). Elsner und Hommel (2004) sowie Kühn und Kollegen (2009) beobachteten dagegen Reaktions-Effekt-Lernen in Reiz-Reaktions-Kontexten. Dementsprechend erwarte ich ebenso eine kürzere Wahrnehmung von Reaktions-Effekt-Intervallen wie von Aktions-Effekt-Intervallen.

Um Einflüsse auf die Wahrnehmung von Zeitintervallen zu bestimmen, wird die Methode konstanter Stimuli gewählt. Dabei wird der Vp in jedem Trial zunächst ein immer gleich lang andauerndes Standardintervall präsentiert, dessen Länge durch die Vp mit der eines darauf folgenden, trialweise variierenden Vergleichsintervalls verglichen werden muss. In den Experimenten 4-6 dient das Intervall zwischen der Aktion bzw. Reaktion und dem Onset des Effekts als Standardintervall, das mit der Dauer eines darauf folgenden Tons verglichen werden soll. Es wurde ein Ton als Vergleichsreiz gewählt, um für dieses und alle weiteren Experimente für das Vergleichsintervall eine Modalität zu wählen, die sich von allen verwendeten, die Standardintervalle begrenzenden Reizen unterscheidet. Aufgrund des Versuchsaufbaus stellt die Zeitschätzaufgabe den Vergleich eines ungefüllten mit einem gefüllten Zeitintervall dar, wobei generell eine relative Unterschätzung des ungefüllten gegenüber dem gefüllten Intervall zu erwarten ist. Zumindest anteilig könnte also eine mögliche Unterschätzung des Standards darauf zurückzuführen sein. Der ungefüllte Standardreiz ist jedoch aus konzeptioneller Sicht unumgänglich, um einen verzögerten Effekt zu realisieren. Ein Vergleich mit einem ebenfalls ungefüllten Vergleichsintervall hat sich in Vorstudien als schwer zu bewältigende Aufgabe für Vpn erwiesen. Möglicherweise erhöhen dabei die On- und Offsets der

Reize, die das leere Intervall umschließen, die zeitliche Unsicherheit und erschweren so die Schätzung.

4.1.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von sechs Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt, um auf die geplante Anzahl von 16 Vpn zu kommen. Drei der ausgeschlossenen Vpn hatten die beiden Aktionen unterschiedlich häufig gewählt (Kriterium: Chi-Quadrat-Test, $p < .05$). Drei weitere Vpn wurden ausgeschlossen, da ihre Einschätzung des Standardintervalls anhand der Vergleichsintervalle nicht differenziert genug war. Als Kriterium dafür dienten die Häufigkeiten der Einschätzung des Standardintervalls als länger über die verschiedenen Vergleichsintervalle. Die Differenz der maximalen und der minimalen Häufigkeit der Bewertung eines Vergleichsintervalls als länger als das Standardintervall musste mindestens 75 % betragen. Dieses Kriterium wurde in den Experimenten 4-7b angewendet und wird im Folgenden als „75 %-Kriterium“ bezeichnet.

Die Daten von 16 Vpn gingen in die Auswertung ein. Sie waren zwischen 20 und 32 Jahre alt (Mittel = 24 Jahre). Sechs der Vpn waren männlich, zehn weiblich. Eine der Vpn war Linkshänder, die übrigen waren Rechtshänder. Alle Vpn bekamen 12 Euro für die Versuchsteilnahme.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Die Versuchsdurchführung und Datenaufzeichnung erfolgte mit Hilfe der Software E-Prime, die auf einem PC verwendet wurde. Visuelle Stimuli wurden auf einem 17-Zoll-Röhrenmonitor mit einer Bildwiederholfrequenz von 100 Hz und einer Auflösung von 1024*768 Pixeln präsentiert. Alle Reize wurden auf grauem

Hintergrund dargeboten. Alle Instruktionen, Rückmeldungen, Fehlermeldungen und Abfragen wurden in weißer Schrift auf dem Monitor gegeben. In der Reaktionsbedingung wurden als imperative Stimuli die ebenfalls weißen Buchstaben X oder O in der Schriftart Century Gothic, Schriftgröße 44 Punkt, zentral dargeboten. Aktionen oder Reaktionen wurden über zwei links von der Tastatur nebeneinander angebrachten Tasten mit dem Mittel- und Zeigefinger der linken Hand ausgeführt. Damit nur der taktile und propriozeptive Eindruck des Tastendrucks als Beginn des Standardintervalls wahrgenommen wurde, trugen die Vpn einen geräuschabschirmenden VicFirth SIH-1 Kopfhörer, damit sie das Geräusch des Tastendrucks nicht wahrnahmen. Über den Kopfhörer wurde in jedem Trial ein Sinuston mit einer Frequenz von 440 Hz dargeboten, der jeweils das Vergleichsintervall zum konstanten (Re-)Aktions-Effekt-Intervall von 250 ms darstellte. Die Länge der Töne variierte zwischen 40 ms und 460 ms in Schritten von 35 ms. Die Abfrage des Urteils erfolgte schriftlich auf dem Monitor („Hat das zweite Intervall kürzer oder länger gedauert als das erste?“), wobei darunter die beiden Antwortalternativen („1. Das zweite Intervall war kürzer“, „2. Das zweite Intervall war länger“) angegeben waren. Die Abgabe des Dauerurteils erfolgte entsprechend der Nummerierung der Antwortalternativen über die Tasten „1“ und „2“ auf dem Nummernblock der Tastatur mit Mittel- und Zeigefinger der rechten Hand. Als Effektreize dienten ein blaues und ein rotes Quadrat (70*70 Pixel, zentral dargeboten).

Ablauf

Die Bedingungen „Reaktion“ und „Aktion“ wurden geblockt an zwei Tagen innerhalb einer Woche durchgeführt. Der Ablauf eines Trials ist schematisch in Abbildung 6 dargestellt. Zu Beginn jeder Sitzung wurden die Instruktionen für die jeweilige Aufgabe auf dem Monitor dargestellt. In der Aktionsbedingung wurde die Vp

aufgefordert, sich in jedem Durchgang so spontan wie möglich für eine der beiden Tasten zu entscheiden, als würde sie eine Münze werfen. In der Reaktionsbedingung reagierte die Vp ebenfalls ohne Zeitdruck gemäß der Instruktion auf den 1 s nach Trialbeginn für 150 ms dargebotenen imperativen Stimulus. Nach 250 ms folgte in beiden Bedingungen für weitere 250 ms als kontingent nachfolgender Effekt auf die eine (Re-)Aktion ein rotes, auf die andere ein blaues Quadrat. Die Vpn waren instruiert, das Standardintervall von 250 ms zwischen Aktion und Effekt, also konkret die Dauer zwischen dem Herunterdrücken der Taste und dem Erscheinen des Effekts einzuschätzen. Dazu sollten sie die Dauer des Standardintervalls mit der Dauer eines nach einem Blank von 500 ms beginnenden Tons vergleichen, der das Vergleichsintervall darstellte. Ihr Urteil, ob der Ton länger oder kürzer als das (Re-)Aktions-Effekt-Intervall war, gab die Vp nach Ende des Tons ohne jeden Zeitdruck entsprechend der Anweisung auf dem Monitor mit der rechten Hand über die Tastatur ab. Fehlermeldungen folgten, wenn Vpn vor Erscheinen des Effektreizes die Taste ein zweites Mal betätigte („Nicht noch einmal drücken!“) sowie auf falsche Reaktionen in der Reaktionsbedingung („Falsche Taste gewählt“), jeweils begleitet von einem akustischen Fehlersignal. Diese Trials wurden vorzeitig abgebrochen.

Jede Bedingung (Aktion oder Reaktion) wurde in einer eigenen Versuchssitzung über fünf Blöcke mit je 78 Trials durchgeführt. Vor dem eigentlichen Experiment erfolgten 13 Übungstrials in Anwesenheit des Versuchsleiters, um sicherzustellen, dass die Aufgabe verstanden worden war. Danach wurde jedes der 13 Vergleichsintervalle in der jeweiligen Bedingung insgesamt 30 Mal in trialweise randomisierter Reihenfolge dargeboten.

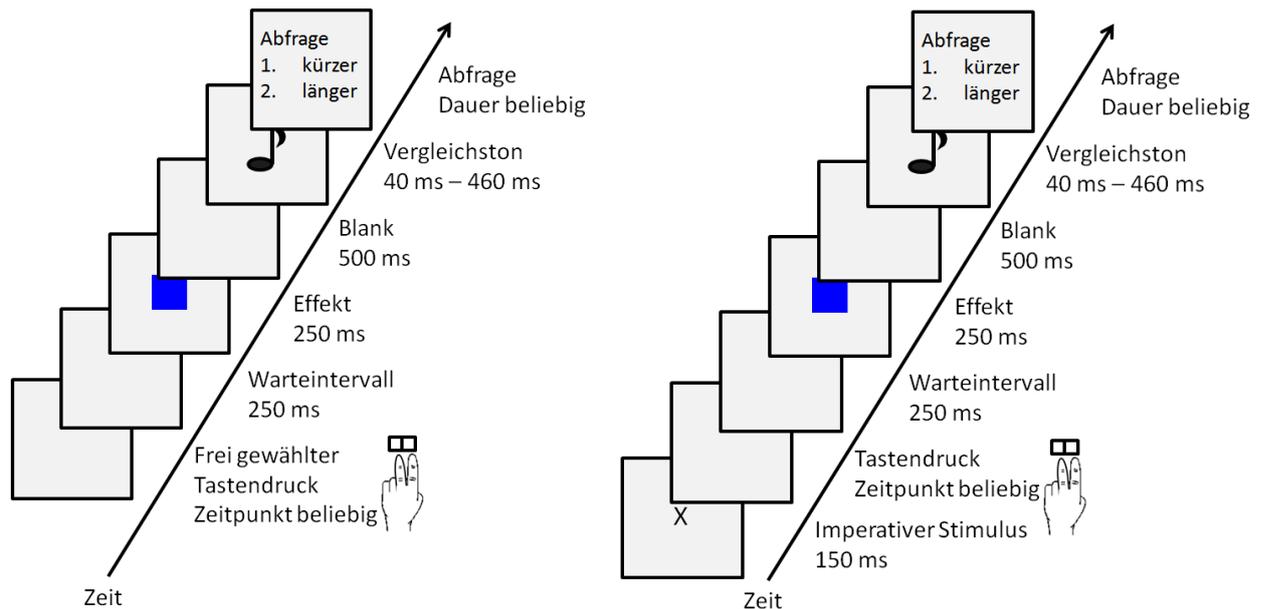


Abbildung 6. Ablauf von Experiment 4 für frei gewählte Aktionen (links) und Reaktionen (rechts).

Die Zuordnung von Tastendrücken zu Effektreizen war über Vpn ausbalanciert, für die jeweilige Vp jedoch in beiden Sitzungen konstant. Die Reihenfolge der Bedingungen sowie die Zuordnung von imperativen Stimuli zu Tasten waren ebenfalls über Vpn ausbalanciert.

Datenreduktion und -analyse

Der erste Block jeder Sitzung wurde von der Auswertung ausgeschlossen, da hier die größte Varianz im Verhalten der Vpn zu erwarten war. In der ersten Sitzung war dieser Block die erste Konfrontation mit der von vielen Vpn als schwierig beschriebenen Aufgabe des Vergleichs zweier Zeitintervalle. In der zweiten Sitzung war die Aufgabe der Zeitschätzung bereits von Beginn an aus der vorangegangenen Sitzung bekannt, jedoch mussten die Vpn durch den Wechsel des Handlungsmodus ihre Tastendrücke nach anderen Regeln auswählen als in der ersten Sitzung.

Um den Punkt subjektiver Gleichheit (Point of Subjective Equality, PSE) einer Vp in einer Bedingung zu ermitteln, wurde für jedes Vergleichsintervall in jeder Bedingung der relative Anteil von Urteilen ermittelt, in denen die Vp das

Vergleichsintervall als länger als das Standardintervall bewertet hatte. Die Wahrscheinlichkeiten wurden anschließend mit Hilfe der Psignifit-Toolbox für Matlab (Wichmann & Hill, 2001) an eine logistische Funktion angenähert (vgl. Abbildung 7). Gemäß der Empfehlung von Wichmann und Hill (2001) wurde bei der Schätzung ein Gamma- und Lambdafehler von 5 % zugelassen, d.h. die Funktion musste die Funktion nicht zwingend von 0 – 100 % Antwortwahrscheinlichkeit schätzen, sondern konnte jeweils am oberen und unteren Ende bis zu 5 % davon abweichen, wobei vorgegeben war, dass Lambda- und Gammafehler gleich groß sein mussten.

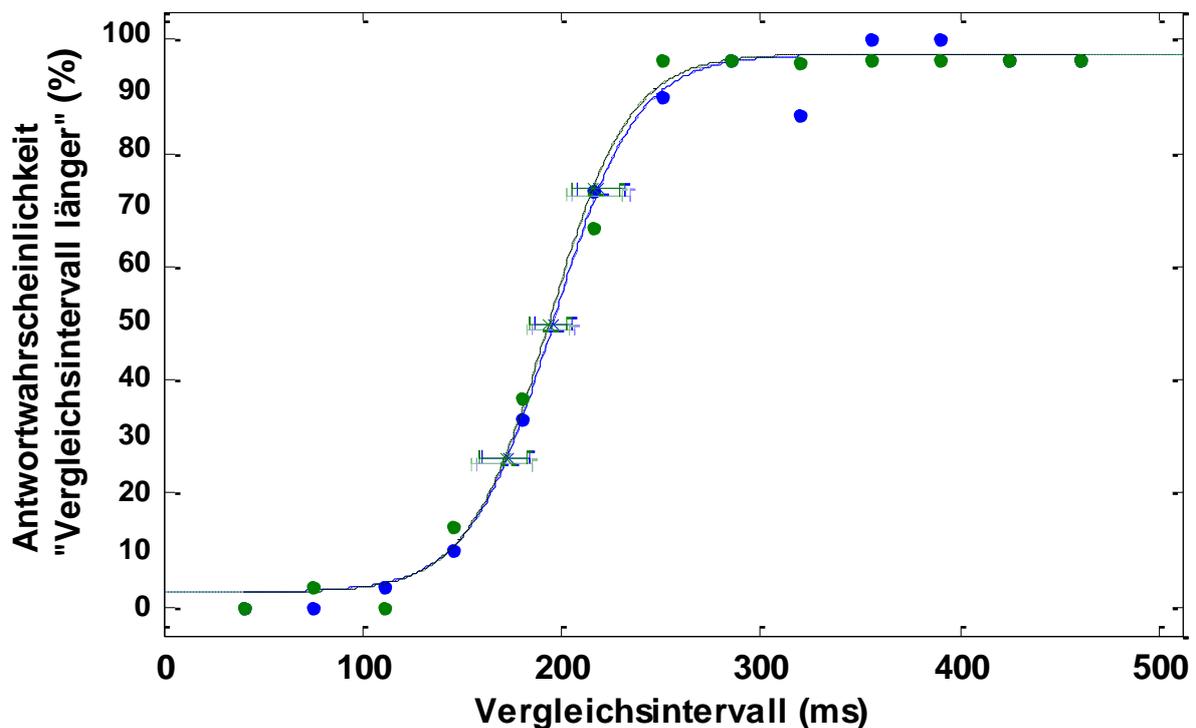


Abbildung 7. Die an eine logistische Funktion approximierten Daten einer exemplarischen Vp für Intervalle nach Aktionen respektive Reaktionen.

Aus jeder geschätzten Funktion wurde der PSE bestimmt, d.h. die errechnete Dauer des Vergleichsintervalls unter dem 50 %-Wert der Funktion, an dem die Person nicht zwischen der Länge der beiden Intervalle unterscheiden kann und daher das Vergleichsintervall gleich häufig als „länger“ oder „kürzer“ als das Standardintervall bewertet. Zudem wurde als Maß der Konsistenz der Schätzung der

Differenzlimen gebildet, der hier wie allgemein gebräuchlich definiert wurde als die halbe Differenz zwischen den theoretischen Vergleichsintervallen, bei denen die V_p das Vergleichsintervall zu 75 % und zu 25 % als länger bewertet als das Standardintervall (Gescheider, 1997; Lapid et al., 2008). So ergaben sich pro V_p und Bedingung je ein PSE und ein Differenzlimen, die mit Hilfe von t-Tests zwischen den Bedingungen und mit der tatsächlichen Dauer des Standardintervalls verglichen wurden.

4.1.2. Ergebnis

Zunächst wurden die mittleren geschätzten Dauern jeweils mit Hilfe von t-Tests mit der tatsächlichen physikalischen Dauer von 250 ms verglichen, um zu prüfen, ob tatsächlich eine Verkürzung der geschätzten Dauer gegenüber der realen Dauer auftritt. Dies zeigte sich sowohl für die Bedingung Aktion mit einem mittleren PSE von 204 ms, $t(15) = -5.13$, $p < .001$, als auch für die Bedingung Reaktion mit einem mittleren PSE von 206 ms, $t(15) = -5.1$, $p < .001$.

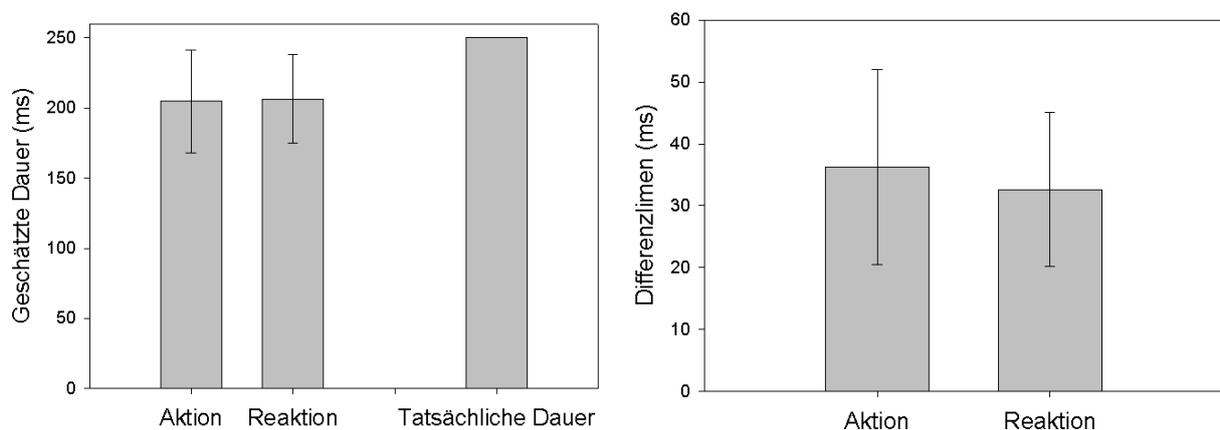


Abbildung 8. Mittlere geschätzte Dauer von 250 ms nach Aktionen und Reaktionen im Vergleich zur tatsächlichen Dauer.

Ein Vergleich der beiden Gruppenmittelwerte zeigte keinen Unterschied der Dauerschätzung zwischen den beiden Bedingungen, $t(15) = 0.33$, $p = .75$. Ein Vergleich der Differenzlimen der beiden Funktionen ergab, dass sich die Konsistenz

der Schätzung in beiden Bedingungen nicht signifikant voneinander unterschied, $t(15) = 1.22, p = .24$ (s. Abbildung 8).

4.1.3. Diskussion

Die subjektive Wahrnehmung der Dauer des Intervalls vor dem Eintreten eines Handlungseffekts scheint zumindest für Intervalle von 250 ms unabhängig vom Handlungsmodus zu sein, die Einschätzung ihrer Dauer unterscheidet sich nicht bei unterschiedlichen Handlungsmodi. Intervalle werden sowohl nach frei gewählten Aktionen als auch nach instruierten Reaktionen verkürzt wahrgenommen. Sollte die Intention, einen Handlungseffekt zu erzeugen, tatsächlich ausschlaggebend für die verkürzte Wahrnehmung von Handlungs-Effekt-Intervallen sein, ist dieses Ergebnis ein Indiz für Intentionalität nicht nur nach frei gewählten Aktionen, sondern tatsächlich auch nach Reaktionen. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass die Intentionalität einer Handlung nicht ausschlaggebend für eine kürzere Einschätzung des Zeitintervalls ist. Möglicherweise führt die bereits erwähnte methodische Problematik des Vergleichs eines ungefüllten (dem (Re-)Aktions-Effekt-Intervall) mit einem gefüllten Intervall (dem Ton) zur kürzeren Einschätzung des Intervalls (Wearden, Norton, Martin, & Montford-Bebb, 2007). Eine alternative Erklärung zur Intentionalität als ausschlaggebendem Faktor für die Fehleinschätzung des Zeitintervalls bietet die kausale Beziehung zwischen Tastendruck und Reiz. Diese ist in beiden Bedingungen die gleiche, und kann zwar eine Folge einer intentionalen Handlung sein (Haggard, 2008), aber auch unabhängig von Handlungskontexten wirken (Humphreys & Buehner, 2009). Eine weitergehende Diskussion der beiden Faktoren findet sich in der Gesamtdiskussion am Ende der Arbeit.

Für die Konsistenz der Schätzung findet sich ebenfalls kein Unterschied zwischen den beiden Bedingungen. Die Aufgabe, das Intervall zwischen einer

Handlung und einem Handlungseffekt einzuschätzen, ist also nicht generell nach einem Handlungsmodus schwieriger zu bewältigen als nach dem anderen. Grundsätzlich scheint die verwendete Methode geeignet, um die Dauer von Aktions-Effekt-Intervallen einzuschätzen und mit ähnlichen Intervallen zu vergleichen.

4.2. Experiment 5

Zeitliches Aneinanderrücken von Tastendruck und Reiz³ tritt bei aktiven Tastendrücken, nicht aber bei „passiven Tastendrücken“, d.h. passiven Reizungen des Fingers durch die Taste, auf (Wohlschläger, Engbert et al., 2003; Wohlschläger, Haggard et al., 2003). Bei einer Aktion handelt es sich bei diesem Reiz um den Effekt der Aktion. Deshalb nehmen Wohlschläger und Kollegen an, dass das zeitliche Aneinanderrücken durch die Intention, einen Effekt zu erzeugen, bedingt wird. Entsprechend wird ein Zeitintervall zwischen einer Aktion und einem Reiz auch mit der Methode der verbalen Einschätzung von Zeitintervallen als kürzer eingeschätzt als zwischen taktilem Stimulus und einem Reiz (Engbert et al., 2008).

Die Ergebnisse von Experiment 4 deuten darauf hin, dass das in Studien zur intentionalen Verbundenheit berichtete Zusammenrücken von Aktions- und Reizzeitpunkten tatsächlich auch mit einer verkürzten Wahrnehmung des Intervalls zwischen Aktion und (Effekt-)Reiz einhergeht. Nun soll abgesichert werden, dass es sich bei dem in Experiment 4 gefundenen Effekt tatsächlich um eine Folge intentionaler Verbundenheit handelt. In diesem Fall sollte das Intervall zwischen Aktion und Reiz kürzer eingeschätzt werden als eines zwischen passiver Stimulation und Reiz.

³ Bei passiver Stimulation des Fingers handelt es sich bei einem folgenden Reiz nicht um einen Effekt. Deshalb wird der Reiz, der nach entweder Aktion oder passiver Stimulation auftritt in diesem Abschnitt für beide Bedingungen als „Reiz“ bezeichnet.

Um dies zu prüfen, wird die Einschätzung des Zeitintervalls zwischen einer passiven taktilen Reizung des Fingers durch eine Reaktionstaste und einem kontingent eintretenden nachfolgenden visuellen Reiz mit der Dauerschätzung des Intervalls zwischen Aktion und visuellem Reiz verglichen. Es wird das gleiche experimentelle Paradigma verwendet wie in Experiment 4. Ich erwarte, dass sich eine verkürzte Zeitschätzung für die aktiven gegenüber dem passiven Tastendrücken findet.

4.2.1. Methode

Versuchspersonen

Es nahmen 16 Vpn im Alter von 19 bis 28 Jahren an dem Experiment teil (Mittel = 23 Jahre). Davon waren 10 weiblich und 6 männlich. Eine der Vpn war Linkshänder, die restlichen Vpn waren Rechtshänder. Als Gegenleistung für die Teilnahme bekamen die Vpn 12 Euro oder 2 Versuchspersonenstunden.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Die Ausstattung und die verwendeten Reize entsprachen denen in Experiment 4. Da keine Reaktionen gefordert waren, wurden allerdings keine imperativen Stimuli verwendet. Die Bedingung aktiver Tastendruck entsprach der Aktionsbedingung aus Experiment 4. In der Bedingung der passiven taktilen Stimulation wurden die beiden Tasten, die in Experiment 4 nur aktiv von den Vpn betätigt wurden, vom Computer ausgelöst, so dass der darauf ruhende Finger der Vp von der Taste von unten gedrückt wurde. Dadurch entsteht eine ähnliche taktile Stimulation wie bei aktivem Druck des Fingers gegen die Taste. Auf die taktile Stimulation folgten dieselben visuellen Reize wie auf die aktiven Tastendrucke. Die Reizungen erfolgten in zufälliger Reihenfolge durch die eine oder andere Taste am Zeige- oder Mittelfinger.

Ablauf

Der Ablauf in der Bedingung aktiver Tastendruck glich dem der Aktionsbedingung in Experiment 4. In der Bedingung passiver Tastendruck wurde dagegen in zufälliger Reihenfolge je einer der Finger 1 s nach Trialbeginn von der jeweils unter ihm liegenden Taste gereizt. Nach 250 ms folgte jeweils ein visueller Stimulus, eines der beiden Quadrate. Jedes der Quadrate folgte der Reizung durch eine der Tasten kontingent nach. Die Zuordnung von Tasten zu Quadraten war für eine Vp in der aktiven Bedingung die gleiche wie in der passiven. Die Zuordnung von Tasten zu Quadraten sowie die Reihenfolge der Experimentalbedingungen waren über Vpn ausbalanciert. Vergleichsintervalle, Trialanzahl und die blockweise Darbietung in zwei Sitzungen entsprachen denen in Experiment 4.

Datenreduktion und -analyse

Die Datenreduktion und -analyse verlief analog zum Vorgehen bei Experiment 4.

4.2.2. Ergebnisse

Die mit Hilfe eines t-Tests verglichenen mittleren PSEs zwischen den beiden Versuchsbedingungen unterscheiden sich voneinander. In der Bedingung nach passivem Tastendruck wird das Intervall kürzer geschätzt als nach einer frei gewählten Aktion, $t(15) = -2.87$, $p < .05$ (182 ms vs. 196 ms). Die Differenzlimen unterscheiden sich zwischen beiden Bedingungen nicht, $t(15) < 1$, $p = .85$. Ein Vergleich mit der Standarddauer zeigt, dass sowohl das Intervall nach aktivem Tastendruck kürzer eingeschätzt wird als 250 ms, $t(15) = -6.27$, $p < .001$, als auch das nach passiver Reizung, $t(15) = -7.29$, $p < .001$.

4.2.3. Diskussion

Das Zeitintervall nach einem „passiven Tastendruck“ und einem sensorischen Ereignis wird gegenüber dem Intervall zwischen einem aktiven Tastendruck und einem dem sensorischen Ereignis gleichendem Aktionseffekt kürzer geschätzt. Dies widerspricht der Vorhersage, dass das Intervall nach einem aktiven Tastendruck als kürzer wahrgenommen werden sollte als nach einem „passiven Tastendruck“. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu Befunden zur intentionalen Verbundenheit, die mit der Methode der Wundtschen Komplikationsuhr erzielt wurden. Dabei wurde mit verschiedenen Versuchsdesigns eine spätere Wahrnehmung der Aktion und/oder einer früheren Wahrnehmung des Effekts gefunden für aktive Tastendrucke gegenüber einer passiven Reizung des Fingers (Wohlschläger, Engbert et al., 2003; Wohlschläger, Haggard et al., 2003) ebenso wie gegenüber einem tatsächlich oder angeblich durch TMS unabhängig von der (bewussten) Intention der Vp ausgelösten Tastendruck (Haggard, Clark et al., 2002). Zudem wurde auch für die Einschätzung eines Intervalls durch die bewusste Einschätzung der Dauer des Intervalls in Millisekunden gezeigt, dass Intervalle nach passiver Reizung als länger wahrgenommen werden als nach aktivem Tastendruck (Engbert et al., 2008) bzw. dass Intervalle nach aktivem Tastendruck kürzer geschätzt werden als Intervalle nach einem akustischen Reiz, der dem Geräusch des Tastendrucks entsprach (Humphreys & Buehner, 2009).

Möglicherweise sind methodische Differenzen für die Diskrepanz des hier berichteten Ergebnisses zum ursprünglich vorhergesagten verantwortlich: Erstens können durch die Einführung einer zweiten Taste die Vpn nicht vorhersagen, welcher der beiden Finger durch eine der beiden Tasten gereizt werden wird, da dies zufällig variiert wird. Damit ist die Taste nur in der aktiven Bedingung vorhersagbar, nicht aber in der passiven Bedingung, wohingegen bei nur einer Taste immer perfekt

vorhersagbar ist, welcher Finger gereizt werden wird. In anderen Studien zur intentionalen Verbundenheit, die eine passive Reizung des Fingers ausführen (Engbert et al., 2008; Wohlschläger, Haggard et al., 2003), erfolgte die Reizung immer durch die einzig vorhandene Taste.

Während die Seite der Reizung schlechter vorhersagbar ist als in den zitierten Studien, ist der Zeitpunkt der Reizung besser vorhersagbar, da sie immer 1000 ms nach Trialbeginn stattfindet. Dieses fixe Intervall wurde gewählt, um die Vergleichbarkeit zwischen aktivem Tastendruck und passiver Reizung zu erhöhen. Frei gewählte Aktionen finden zwar zu variablen Zeitpunkten nach Trialbeginn statt, diese sind jedoch von der Vp aufgrund der eigenen Handlungsplanung exakt vorhersagbar. Dagegen findet die passive Reizung in den zitierten Studien zur intentionalen Verbundenheit sowohl mit der Komplikationsuhr (Wohlschläger, Engbert et al., 2003; Wohlschläger, Haggard et al., 2003) als auch mit der verbalen Schätzung der Dauer (Engbert et al., 2008) zu einem nicht genau definierten Zeitpunkt nach Trialbeginn statt. Auf die theoretischen Implikationen, die das unterschiedliche Ausmaß der Vorhersagbarkeit sowohl des Zeitpunkts als auch des Fingers haben könnte, wird in der Gesamtdiskussion näher eingegangen.

4.3. Experiment 6

Die Experimente 6a-d sollen klären, ob die kürzere Einschätzung der Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls abhängig vom Eintreten des antizipierten spezifischen Aktionseffekts ist. Diese Frage ergibt sich aus dem Bezug des Phänomens intentionaler Verbundenheit auf das ideomotorische Prinzip. Wenn es sich – wie in der Literatur angeführt – bei der kürzeren Wahrnehmung von Aktions-Effekt-Intervallen tatsächlich um eine Folge der Ausbildung von Aktions-Effekt-Beziehungen gemäß dem ideomotorischen Prinzip handelt (Engbert et al., 2007; Haggard & Cole,

2007), sollte ein Aktions-Effekt-Intervall nur dann kürzer eingeschätzt werden, wenn einer Aktion ihr kontingent eintretender spezifischer und daher antizipierter Effekt folgt, nicht wenn ein beliebiger sensorischer Stimulus folgt. Einige Studien zur Kontingenz des Effekts zeigen, dass intentionale Verbundenheit in Form einer Verschiebung des wahrgenommenen Zeitintervalls dann auftritt, wenn die Aktionen häufig einen Effekt erzeugen, d.h. in den zitierten Studien in 75 % der Fälle (Moore & Haggard, 2008; Moore et al., 2009). Erzeugt eine Aktion dagegen in nur 50 % der Fälle, also mit geringerer Wahrscheinlichkeit, einen Effekt, tritt keine Verschiebung des wahrgenommenen Aktionszeitpunkts auf. Allerdings wurde in diesen Studien lediglich die Auftretenswahrscheinlichkeit eines einzigen möglichen Effekts variiert, der entweder eintrat oder ausblieb. Dagegen wurde bisher meines Wissens nicht untersucht, ob der eintretende Effekt auch tatsächlich der antizipierte sein muss, d.h. ob das Ausmaß der Fehleinschätzung eines Zeitintervalls tatsächlich vom Eintreten des aktionsspezifischen Effekts abhängt. Gegen diese Annahme nach dem ideomotorischen Prinzip spricht eine Studie von Stetson und Kollegen, welche die Reihenfolgewahrnehmung von Aktion und Effekt untersuchten (Stetson et al., 2006). Nach einer Lernphase, in der ein Effekt stets zu einem festgelegten verzögerten Zeitpunkt eintrat, wurde er in einer Testphase zu verschiedenen Zeitpunkten vor und nach der Aktion präsentiert. Erschien der Effekt *nach* der Aktion, aber *vor* seinem üblichen Zeitpunkt, wurde er fälschlicherweise als „vor der Aktion“ beurteilt. Die Autoren vermuten eine Rekalibrierung, die bedingt, dass bei gleichbleibendem Aktions-Effekt-Intervall ein Effekt unmittelbar nach der Aktion wahrgenommen wird. Diese Rekalibrierung ist unabhängig von der Spezifität des Effekts. Nach der Lernphase wurden auch andere Effekte ohne weitere Anpassungsphase vor der Aktion erlebt, wenn sie zu einem früheren als dem üblichen Zeitpunkt eintraten (Stetson et al., 2006, Experiment 3). Liegt beiden Phänomenen, wie von den Autoren

nahegelegt, der gleiche Mechanismus zugrunde, spricht dieser Befund gegen die Verbindung von Aktion und Effekt gemäß dem ideomotorischen Prinzip als Ursache des Phänomens intentionaler Verbundenheit. Wäre diese Verbindung die Ursache der veränderten Zeitwahrnehmung, sollte die Zeitwahrnehmung nur beim Auftreten antizipierter spezifischer Aktionseffekte verändert sein, nicht jedoch beim Auftreten beliebiger Effekte. Entsprechen dagegen die Ergebnisse den Annahmen von Stetson et al. (2006) sollte der Effekt gleichermaßen für kontingent eintretende, spezifische Effekte auftreten wie für nicht kontingent eintretende, unspezifische Effekte.

Diese Frage wurde in der vorliegenden Arbeit für zwei unterschiedlich lange Aktions-Effekt-Intervalle untersucht, 250 ms (Experimente 6a und 6b) und 400 ms (Experimente 6c und 6d). Zwar ist der Einfluss intentionaler Verbundenheit bei Verwendung der Komplikationsuhr für ein Aktions-Effekt-Intervall von 250 ms maximal und sinkt mit zunehmender Intervalldauer (Haggard, Aschersleben et al., 2002; Haggard, Clark et al., 2002). Allerdings mehren sich in der Literatur die Hinweise darauf, dass bei verbaler Einschätzung der Intervalldauer ein Einfluss auch bei längeren Intervallen zu finden ist (Engbert et al., 2008; Engbert et al., 2007) bzw. möglicherweise sogar mit zunehmender Intervalldauer zunimmt (Humphreys & Buehner, 2009).

Die Spanne der in Experiment 6a und 6c gewählten Vergleichsintervalle erwies sich als für viele Vpn zu klein, um das 75%-Kriterium zu erfüllen. Deshalb wurden beide Experimente mit einer größeren Spanne an Vergleichsintervallen wiederholt (Experimente 6b und 6d).

4.4. Experiment 6a

4.4.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von neun Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt. Drei der ausgeschlossenen Vpn hatten die beiden Aktionen unterschiedlich häufig gewählt (Kriterium: Chi-Quadrat-Test, $p < .05$). Sechs weitere Vpn wurden aufgrund des 75 %-Kriteriums ausgeschlossen. Die Daten von 12 Vpn gingen in die Auswertung ein. Sie waren zwischen 19 und 39 Jahre alt (Mittel = 25 Jahre). Eine der Vpn war männlich, elf weiblich. Eine Vp war Linkshänder, die übrigen waren Rechtshänder. Die Vpn nahmen zur Erfüllung von Kursanforderungen an dem Experiment teil.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Die apparative Ausstattung und die verwendeten Reize entsprachen denen in Experiment 4.

Ablauf

Das Vorgehen glich weitgehend der Aktionsbedingung von Experiment 4. Die Vp musste also in jedem Trial frei zwischen zwei möglichen Aktionen wählen. Als Effektreize folgte nach 250 ms einer von zwei möglichen ebenfalls 250 ms andauernden Effekten (blaues oder rotes Quadrat). Dabei war jeder der Effekte einer der Aktionen so zugeordnet, dass er ihr in 80 % der Trials folgte (kontingenter Effekt), der anderen Aktion dagegen nur in 20 % der Trials (inkontingenter Effekt). Dadurch wurde die Häufigkeit der Effektreize aktionsspezifisch variiert. Im Gegensatz zu Studien, welche die Gesamthäufigkeit von Reizen variieren (Tse et al., 2004; Ulrich et al., 2006) wurde jedoch die Häufigkeit der Effekte insgesamt konstant gehalten. Wie in den vorhergehenden Experimenten sollte die Vp das Zeitintervall

vom Tastendruck bis zum Eintreten des Effekts mit einem in der Länge variierenden nachfolgenden Ton vergleichen. Es wurden Vergleichsintervalle zwischen 100 ms und 400 ms in 50 ms-Schritten gewählt. Zu Beginn des Experiments wurde ein Übungsblock aus 7 Trials durchgeführt. Anschließend wurde jedes der sieben Vergleichsintervalle 100 mal dargeboten, davon je 20 mal in der inkontingenten und 80 mal in der kontingenten Bedingung. Die insgesamt 700 Trials wurden in 10 Blöcken mit je 70 Trials dargeboten. Die Länge des Vergleichsintervalls und die Kontingenz der Effektreize wurden trialweise variiert.

Datenreduktion und -analyse

Die Datenreduktion und -analyse verlief analog zum Vorgehen von Experiment 4.

4.4.2. Ergebnis

Die geschätzte Dauer der Zeitintervalle vor kontingent und inkontingent auftretenden Aktionseffekten sowie die Konsistenz der Schätzungen wurden mit Hilfe von t-Tests miteinander verglichen. Zudem wurde die geschätzte Dauer des kontingenten Aktions-Effekt-Intervalls mit der Dauer des Standardreizes verglichen.

Tabelle 7

Überblick über die Ergebnisse der Experimente 6a-6d. Angegeben sind die mittlere Einschätzung der Dauer des Intervalls in Millisekunden (PSE) sowie der mittlere Konsistenz der Schätzung (Differenzlimen, DL), in Klammern jeweils der Standardfehler.

Standardreiz	250 ms				400 ms			
Spanne Vergleichsintervalle (ms)	100 – 400 ms		50 – 450 ms		300 – 600 ms		200 – 600 ms	
Kontingenz des Auftretens des Effekts	kont.	inkont.	kont.	inkont.	kont.	inkont.	kont.	inkont.
PSE in ms (SE)	205 (7)	208 (6)	190 (8)	193 (7)	412 (7)	410 (9)	331 (8)	334 (9)
DL in ms (SE)	34 (3)	33 (5)	45 (5)	47 (5)	50 (7)	48 (7)	42 (4)	49 (5)

Es zeigte sich kein Unterschied zwischen der Schätzung der Dauer von Zeitintervallen vor kontingenten und inkontingenten Effekten, $t(11) = -1.12$, $p = .29$.

Auch für die Konsistenz der Schätzung ergab sich kein signifikanter Unterschied, ($t < 1$). Das Aktions-Effekt-Intervall vor kontingenten Effekten wird als kürzer eingeschätzt als seine tatsächliche Dauer von 250 ms, $t(11) = -6.52$, $p < .001$ (s. Tabelle 7).

4.5. Experiment 6b

In Experiment 6a wurden verhältnismäßig viele Vpn ausgeschlossen, da die Wahrscheinlichkeit, dass sie das längste und das kürzeste Vergleichsintervall als „länger als das Standardintervall“ bezeichnet wurde um weniger als 75 % variierte. Ein Blick in die Daten zeigte, dass einige dieser Vpn zwar im Schnitt mit zunehmender Dauer des Vergleichsintervalls dieses auch zunehmend als länger als das Standardintervall bezeichneten, jedoch beispielsweise selbst das kürzeste Vergleichsintervall noch in fast 50 % der Fälle als länger als das Standardintervall bewerteten. Für einige Vpn war also die Spanne an Vergleichsintervallen nicht groß genug, um das kürzeste Vergleichsintervall relativ sicher als kürzer und das längste relativ sicher als länger als das Standardintervall zu bezeichnen. Mit dem Ausschluss dieser Vpn könnte jedoch auch ein möglicher Effekt der experimentellen Manipulation verdeckt worden sein, z.B. wenn nur Vpn ausgeschlossen wurden, die das Standardintervall als besonders kurz wahrnehmen, auf deren Schätzung jedoch die Kontingenz des Effekts einen besonders großen Einfluss hat. Daher wurde Experiment 6a mit einer größeren, das Standardintervall symmetrisch umschließenden Spanne von Zeitintervallen wiederholt.

4.5.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von zwei Vpn wurden aufgrund des 75 %-Kriteriums von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt. Die Daten von 12 Vpn gingen in die Auswertung ein. Sie waren zwischen 18 und 40 Jahren alt (Mittel = 24 Jahre). Vier der Vpn waren männlich, acht weiblich. Eine Vpn war Linkshänder, die übrigen waren Rechtshänder. Für ihre Teilnahme erhielten die Vpn 6 Euro oder eine Versuchspersonenstunde.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Die verwendete experimentelle Ausstattung und die Stimuli waren die gleichen wie in Experiment 6a.

Ablauf

Der Ablauf war der gleiche wie in Experiment 6a. Die Anzahl von Vergleichsintervallen wurde allerdings auf insgesamt 9 erhöht; sie reichten von 50 ms bis 450 ms in Schritten von 50 ms. Dafür wurde die Anzahl von Wiederholungen auf 15 Wiederholungen pro Vergleichsintervall vor inkontingenten Effekten und 60 Wiederholungen pro Vergleichsintervall vor kontingenten Effekten gesenkt. Vor den 5 Experimentalblöcken mit je 135 Trials pro Block wurde ein Übungsblock von 9 Trials durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Vpn die Aufgabe verstanden hatten.

Datenreduktion und -analyse

Die Datenreduktion und -analyse verlief analog zum Vorgehen bei Experiment 4.

4.5.2. Ergebnis

Die PSEs und Differenzlimen der kontingenten und inkontingenten Bedingung wurden verglichen. Zudem wurde die geschätzte Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls vor kontingent eintretendem Effekt mit der Dauer des Standardintervalls verglichen.

Weder die geschätzte Dauer des Zeitintervalls, $t(11) = 0.81$, $p = .43$, noch die Konsistenz der Schätzung, $t(11) = 0.59$, $p = .58$, unterscheidet sich in den beiden Bedingungen. Das kontingente Aktions-Effekt-Intervall wird als kürzer eingeschätzt als seine tatsächliche Dauer von 250 ms, $t(11) = -7.23$, $p < .001$ (s. Tabelle 7).

4.6. Experiment 6c

Um herauszufinden, ob die Länge des verwendeten Zeitintervalls einen Einfluss auf die Schätzung der Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls in Abhängigkeit von der Kontingenz des Effekts hat, wurde Experiment 6a mit einem Aktions-Effekt-Intervall von 400 ms repliziert. Zwar wird der stärkste Einfluss intentionaler Verbundenheit mit Hilfe der Komplikationsuhr bei 250 ms gefunden und nimmt mit zunehmender Intervalldauer ab (Haggard, Aschersleben et al., 2002; Haggard, Clark et al., 2002). Dagegen wurden aber in einer Studie zur intentionalen Verbundenheit, in der die Zeit verbal in Millisekunden geschätzt wurde, Effekte intentionaler Verbundenheit auch für längere Intervalle gefunden (Engbert et al., 2008). Darüber hinaus berichten Humphreys und Buehner (2009), dass bei einem Vergleich von Intervallen zwischen aktivem Tastendruck und Effekt mit Intervallen zwischen einem Klick und einem dem Aktionseffekt gleichenden folgenden Ton der Unterschied der jeweils geschätzten Dauer zwischen den beiden Bedingungen mit zunehmender Intervalldauer der Intervalle zu- und nicht abnimmt.

Zudem könnten Schwierigkeiten, das in Experiment 4a und 4b verwendete relativ kurze Intervall einzuschätzen, einen möglichen Effekt verschleiern. Einige Vpn berichteten spontan, der Effekt sei sofort eingetreten und taten sich selbst beim Vergleichsintervall 50 ms schwer, dieses als kürzer wahrzunehmen als das 250 ms dauernde Standardintervall.

Um zu testen, ob mit einem längeren Standardintervall ein Einfluss der Kontingenz des Aktionseffekts auf die Schätzung der Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls gefunden werden kann, wurde Experiment 6a mit einer Standarddauer von 400 ms wiederholt.

4.6.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von zehn Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt. Drei der Ausgeschlossenen hatten die beiden Aktionen unterschiedlich häufig gewählt (Kriterium: Chi-Quadrat-Test, $p < .05$). Sieben weitere Vpn wurden aufgrund des 75 %-Kriteriums von der Analyse ausgeschlossen. Die Daten von 12 Vpn gingen in die Auswertung ein. Sie waren zwischen 19 und 34 Jahren alt (Mittel = 22 Jahre). Drei der Vpn waren männlich, neun weiblich. Eine der Vpn war Linkshänder, die übrigen waren Rechtshänder. Die Vpn bekamen 6 Euro oder eine Versuchspersonenstunde für ihre Teilnahme.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Es wurden die gleiche apparative Ausstattung wie in Experiment 6a und 6b sowie die gleichen Reize verwendet. Allerdings betrug die Dauer des Standardintervalls und des Aktionseffekts 400 ms und entsprechend dauerten die Vergleichsintervalle zwischen 300 ms und 600 ms in Schritten von 50 ms. Sie waren nicht symmetrisch um das Standardintervall von 400 ms verteilt, da Vortests ergeben

hatten, dass dabei einige Vpn schon ein Vergleichsintervall von 300 ms stets als kürzer beurteilen, ein Vergleichsintervall von 550 ms dagegen nicht sicher als länger. Zudem wurde die Dauer des Effekts selbst auf 400 ms verlängert, um vergleichbar zu den Experimenten 6a und 6b das Aktions-Effekt-Intervall als Standardintervall gleich lang zu halten wie den Effekt und gleichzeitig die Experimente zur wahrgenommenen Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls in Abhängigkeit der Kontingenz des Effekts vergleichbar zu den Experimenten zur wahrgenommenen Dauer des Effekts selbst (Experimente 7a und 7b) zu halten.

Ablauf

Der Ablauf glich dem von Experiment 6a.

Datenreduktion und -analyse

Die Datenreduktion und -analyse verlief analog zum Vorgehen bei Experiment 4.

4.6.2. Ergebnis

Die PSEs und Differenzlimen in der kontingenten und inkontingenten Bedingung wurden mit Hilfe von t-Tests verglichen. Zudem wurde die geschätzte Dauer des kontingenten Aktions-Effekt-Intervalls mit der Dauer des Standardreizes verglichen.

Weder die geschätzte Dauer des Zeitintervalls, $t(11) = 0.45$, $p = .66$ noch die Konsistenz der Schätzung, $t(11) = 0.46$, $p = .66$, unterscheidet sich zwischen den beiden Bedingungen. Das kontingente Aktions-Effekt-Intervall wird tendenziell als länger eingeschätzt als es tatsächlich ist, $t(11) = -7.23$, $p = .099$ (s. Tabelle 7).

4.7. Experiment 6d

Um wie in Experiment 6b auszuschließen, dass die große Anzahl von der Analyse ausgeschlossener Vpn aufgrund einer zu geringen Spanne von Vergleichsintervallen einen möglichen Einfluss der Kontingenz verschleiert hat, wurde Experiment 6c mit einer größeren Anzahl von Vergleichsintervallen wiederholt. Zudem hat sich gezeigt, dass die asymmetrisch um 400 ms verteilten Vergleichsintervalle für die Einschätzung von Aktions-Effekt-Intervallen nicht geeignet waren. Daher wurden die in Experiment 6d verwendeten Vergleichsintervalle symmetrisch um 400 ms verteilt.

4.7.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von sechs Vpn wurden aufgrund des 75 %-Kriteriums von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt. Die Daten von 12 Vpn gingen in die Auswertung ein. Sie waren zwischen 18 und 30 Jahre alt (Mittel = 25 Jahre). Fünf der Vpn waren männlich, sieben waren weiblich. Zwei der Vpn waren Linkshänder, die übrigen waren Rechtshänder. Die Vpn nahmen zur Erfüllung von Kursanforderungen an dem Experiment teil.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Es wurde die gleiche apparative Ausstattung wie in Experiment 6c verwendet. Auch die verwendeten Reize waren die gleichen, allerdings variierte die Dauer der Vergleichsintervalle symmetrisch um 400 ms in 9 Schritten von je 50 ms zwischen 200 und 600 ms.

Ablauf

Der Ablauf glich dem von Experiment 6a.

Datenreduktion und -analyse

Die Datenreduktion und -analyse verlief analog zum Vorgehen bei Experiment 4.

4.7.2. Ergebnis

Die PSEs und Differenzlimen aus der kontingenten und inkontingenten Bedingung wurden mit Hilfe von t-Tests miteinander verglichen. Zudem wurde die geschätzte Dauer des kontingenten Aktions-Effekt-Intervalls mit der Dauer des Standardreizes verglichen.

Die geschätzte Dauer des Zeitintervalls für Intervalle vor kontingenten und inkontingenten Aktionseffekten unterscheidet sich nicht, $t(11) = 0.85$, $p = .41$. Der Differenzlimen ist kleiner für Intervalle vor kontingenten Aktionseffekten als vor inkontingenten Aktionseffekten, $t(11) = -2.66$, $p < .05$.

Gegenüber der tatsächlichen Dauer von 400 ms werden Intervalle vor kontingenten Aktionseffekten als kürzer eingeschätzt, $t(11) = -8.46$, $p < .001$ (s. Tabelle 7).

4.7.3. Diskussion

Für die Schätzung des Aktions-Effekt-Intervalls scheint es keine Rolle zu spielen, ob der kontingente oder der inkontingente Aktionseffekt eintritt, d.h. die Zeitwahrnehmung scheint nicht verändert zu sein, wenn der Effekt eintritt, der nicht mit der vorhergehenden Aktion verbunden ist. In drei der vier Experimente bestätigt sich das Ergebnis aus den Experimenten 4 und 5, dass das Aktions-Effekt-Intervall kürzer erlebt wird als es tatsächlich dauert. Die Tatsache, dass dieses Ergebnis in Experiment 6c nicht bestätigt werden konnte, kann auf die bereits erwähnte asymmetrische Auswahl der Vergleichsintervalle zurückzuführen sein. Das kürzeste Vergleichsintervall von 300 ms war entgegen der ursprünglichen Annahmen

aufgrund von Vortests für eine Reihe von Vpn nicht kurz genug, um sicher als kürzer als das Standardintervall von 400 ms erkannt zu werden, so dass diese Vpn eher aufgrund des 75 %-Kriteriums ausgeschlossen wurden. Dagegen stand Vpn, denen das Intervall eher als gleich lang oder sogar etwas länger als 400 ms erschien, eine größere Bandbreite an Vergleichsintervallen bis 600 ms zur Verfügung, so dass sie eine geringere Wahrscheinlichkeit hatten, von der Analyse ausgeschlossen zu werden. Für diese Interpretation spricht die Tatsache, dass bei der Replikation der Ergebnisse in Experiment 6d mit einer größeren Bandbreite an Vergleichsintervallen wieder ein kürzeres Erleben des Aktions-Effekt-Intervalls gefunden wurde.

Die Spezifität des Effekts hatte keinen Einfluss auf das zeitliche Erleben des Aktions-Effekt-Intervalls. Das deutet darauf hin, dass für die verkürzte Wahrnehmung des Aktions-Effekt-Intervalls nicht die spezifische Beziehung zwischen Aktion und Effekt ausschlaggebend ist. Stattdessen reicht es aus, dass ein unspezifischer Effekt nach Ende des üblichen Zeitintervalls zwischen Aktion und Effekt eintritt. Dies kann ein Indiz dafür sein, dass es sich bei dem als intentionale Verbundenheit bezeichneten Phänomen nicht um eine Folge einer spezifischen Aktions-Effekt-Beziehung handelt. Somit wäre nicht die Intention, den antizipierten Effekt zu erzeugen, ausschlaggebend für die verkürzte Wahrnehmung, sondern nur eine unspezifische Vorhersage, dass irgendein Effekt nach einem festgelegten Zeitintervall eintreten wird. Da sowohl kontingent nachfolgende als auch inkontingent nachfolgende Effekte kausal durch die eigene Aktion erzeugt werden, ist dies ein Indiz dafür, dass wahrgenommene Kausalität hinreichend für die kürzere Einschätzung eines Aktions-Effekt-Intervalls ist.

Allerdings könnten auch die Auswahl der Aktions-Effekt-Intervalle oder verschiedene methodische Gründe dafür verantwortlich sein, dass kein Unterschied in der Einschätzung von Intervallen vor kontingent und inkontingent eintretenden

Aktionseffekten gefunden wurden. Die Auswahl der Intervalle erfolgte zunächst im Hinblick auf die Ergebnisse zur intentionalen Verbundenheit, die eine Komplikationsuhr verwendeten. Dabei wird ein maximal unterschiedlich großer Einfluss auf die Einschätzung von Aktions-Effekt-Intervallen gegenüber Intervallen zwischen passiver Stimulation und einem Stimulus einerseits und zwischen durch TMS erzeugten Tastendrücken und einem Stimulus andererseits bei einer Intervalldauer von 250 ms gefunden (Haggard, Aschersleben et al., 2002; Haggard, Clark et al., 2002). Je größer die Intervalldauer wird, desto geringer ist der Einfluss, bei 650 ms ist kein Unterschied zwischen den Bedingungen mehr nachzuweisen. Ein anderes Bild zeigt dagegen eine Studie von Humphreys und Buehner (2009), deren Vpn die Dauer von Aktions-Effekt-Intervallen und von physikalisch gleich lang andauernden Reiz-Reiz-Intervallen einschätzten. Zur Einschätzung der Zeit verwendeten sie die gleiche Methode verbaler Zeitschätzung wie Engbert et al. (2007). Allerdings wurde das Aktions-Effekt-Intervall nicht mit einem Intervall zwischen passiver Stimulation und einem akustischen Reiz verglichen, sondern mit einem Intervall zwischen zwei akustischen Reizen (Humphreys & Buehner, 2009). Auch in diesem Vergleich wurden Intervalle zwischen Aktion und Effekt kürzer geschätzt als zwischen zwei akustischen Reizen. Humphreys und Buehner (2009) erweiterten jedoch das Ausmaß der untersuchten Intervalle bis hin zu mehreren Sekunden und fanden entgegen ihrer ursprünglichen Erwartungen eine Zunahme des Unterschieds zwischen der Einschätzung von Aktions-Effekt- einerseits und Reiz-Reiz-Intervallen andererseits mit zunehmender Intervalldauer.

Möglicherweise wird bei Methoden zur Schätzung von *Zeitpunkten* die Aufmerksamkeit kurzfristig auf die Aktion gerichtet, weswegen auch nur in kurzen Intervallen Einflüsse der intentionalen Verbundenheit nachgewiesen werden können. Dagegen könnte bei Methoden zur Einschätzung der *Zeitdauer* die Intervalldauer

selbst im Fokus stehen, wodurch Unterschiede zwischen Bedingungen auch über einen längeren Zeitraum gezeigt werden können. Humphreys und Buehner (2009) vermuten darüber hinaus, dass eine Aktion entweder durch Intentionalität oder durch ihre kausale Verbindung mit dem Effekt die Geschwindigkeit der „internen Uhr“ verändert, so dass während des nachfolgenden Intervalls weniger Ticks akkumuliert werden als während eines gleich langen, durch zwei Reize begrenzten Intervalls. Möglicherweise sind solche Einflüsse erst bei längeren Intervallen nachweisbar. Allerdings ist bei 400 ms ebenso wenig ein Einfluss der Kontingenz des Effekts zu erkennen wie bei 250 ms.

Desweiteren könnten verschiedene methodische Gründe für den Nulleffekt verantwortlich sein. Erstens könnte das Verhältnis von 80 % kontingenten zu 20 % inkontingenten Effekten das Ausbilden stabiler Aktions-Effekt-Beziehungen verhindern. Allerdings konnten Elsner und Hommel (2004) zeigen, dass durchaus Aktions-Effekt-Beziehungen ausgebildet werden, wenn die Kontingenz zwischen Aktionen und (irrelevanten) Effektreizen nicht perfekt ist.

Zweitens könnte die Irrelevanz der Identität der Effekte für die Aufgabe verhindern, dass sie beachtet werden. Sie müssen zwar insofern wahrgenommen werden, als ihr Einsetzen das Ende des Intervalls darstellt, dessen Länge mit dem Vergleichsintervall verglichen werden soll. Hierzu müssen sie jedoch nicht diskriminiert werden. Wenn die Identität eines Effekts jedoch nicht wahrgenommen wird, kann auch keine spezifische bidirektionale Aktions-Effekt-Beziehungen zustande kommen. Dadurch könnte das inkontingente Eintreten des Effekts nicht als inkontingent erkannt werden und daher die wahrgenommene Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls nicht beeinflussen. Allerdings finden sich in der Literatur Belege dafür, dass Aktions-Effekt-Beziehungen auch dann ausgebildet werden, wenn die

Effekte irrelevant sind (Elsner & Hommel, 2001, 2004; Kiesel & Hoffmann, 2004; Kühn et al., 2009; Kunde, 2003).

Außerdem passen die Ergebnisse zu denen von Stetson et al. (2006). Hier hatten die Vpn wiederholt mit ihren Aktionen einen um ein fixes Intervall verzögerten Effekt erzeugt. Wurde dieser Effekt nun *nach* der Aktion, aber *vor* dem üblichen Zeitpunkt dargeboten, wurde er häufig als „vor der Aktion“ bewertet. Dies wird als Folge einer Rekalibrierung gewertet, durch welche das Intervall zwischen einer intentionalen Aktion und ihrem Effekt subjektiv nicht mehr, der Effekt also unmittelbar nach der Aktion wahrgenommen wird. Diese Rekalibrierung bleibt bestehen, wenn plötzlich ein anderer sensorischer Reiz als Effekt eintritt als bisher (Stetson et al., 2006, Experiment 3), ist also nicht abhängig von der Spezifität des Effekts. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen aus den Experimenten 6a-6d. Möglicherweise ist also tatsächlich die kausale Beziehung von Aktion und Effekt, und nicht die Intention, einen Effekt zu erzeugen, für das kürzere Erleben von Aktions-Effekt-Intervallen verantwortlich.

4.8. Experiment 7

Bisher wurden in diesem Teil der vorliegenden Arbeit Experimente in Bezug auf Befunde zur intentionalen Verbundenheit vorgestellt, d.h. der Fokus lag auf der Exploration des Zeitintervalls zwischen einer Aktion und ihrem Effekt. Im vorhergehenden Kapitel wurde darüber hinaus bereits der Erwerb von Effektzeitpunkten im Handlungskontext betrachtet. Für eine umfassende Exploration der Wahrnehmung von Zeitdauer im Handlungskontext sollte daher auch die Wahrnehmung der Dauer von Effekten betrachtet werden.

Aufgrund der Effektantizipation könnte nicht nur die wahrgenommene Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls, sondern auch die Dauer des Effekts selbst durch die

unterschiedliche Erwartbarkeit beeinflusst werden. Offen ist, ob antizipierte Effekte als kürzer oder länger erlebt werden als nicht antizipierte Effekte. Verschiedene Studien zur Zeitwahrnehmung zeigten, dass erwartete Reize als kürzer wahrgenommen werden als unerwartete Reize (Pariyadath & Eagleman, 2007; Tse et al., 2004; Ulrich et al., 2006). Im Gegensatz dazu ergab eine Studie von Witherspoon und Allan (1985), dass wiederholt präsentierte Reize gegenüber erstmalig präsentierten Reizen länger wahrgenommen werden. Dabei könnte das Vorhandensein eines *attentional sets* für die bereits präsentierten Reize zu einer klareren und damit längeren Wahrnehmung führen (Pashler, 1998; Ulrich et al., 2006). Generell beeinflussen Aufmerksamkeitsprozesse die Einschätzung von Zeitintervallen. So werden Intervalle als kürzer eingeschätzt, wenn zusätzlich zur Aufgabe der Zeitschätzung eine Zweitaufgabe dargeboten wird (Block, Hancock, & Zakay, 2007; Brown & Boltz, 2002; Zakay, 1998). Dies wird der Aufteilung der Aufmerksamkeit zwischen zeitlicher Aufmerksamkeit einerseits und Aufmerksamkeit für die Zweitaufgabe andererseits zugeschrieben. Je mehr Aufmerksamkeit die Zweitaufgabe benötigt, desto weniger Aufmerksamkeit steht der Einschätzung des Zeitintervalls zur Verfügung. Da nicht-antizipierte Effekte mehr Aufmerksamkeit auf sich ziehen, weil sie nicht erwartet sind (Sokolov, 1963), sollte ihre Dauer als kürzer eingeschätzt werden als die Dauer antizipierter Effekte, weil bei deren Eintreten mehr Aufmerksamkeit für die Aufgabe der Zeitschätzung zur Verfügung steht.

4.9. Experiment 7a

In Experiment 7a trat ein Effekt von 250 ms Dauer in 80 % der Fälle kontingent zur vorhergehenden Aktion ein, in 20 % der Fälle tritt inkontingent der Effekt ein, der zu 80 % einer anderen Aktion zugeordnet ist. Es soll geklärt werden,

ob die wahrgenommene Dauer des Effekts von der Kontingenz seines Eintretens abhängt.

4.9.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von zwei Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt. Sie hatten die beiden Aktionen unterschiedlich häufig gewählt (Kriterium: Chi-Quadrat-Test, $p < .05$). Die Daten von 12 Vpn gingen in die Auswertung ein. Sie waren zwischen 22 und 26 Jahre alt (Mittel = 24 Jahre). Vier der Vpn waren männlich, acht war weiblich und alle Vpn waren Rechtshänder. Die Vpn nahmen zur Erfüllung von Kursanforderungen an dem Experiment teil.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Apparatur und Reize entsprachen denen in Experiment 6a.

Ablauf

Der Ablauf entsprach dem von Experiment 6a. Entsprechend der Fragestellung waren die Vpn jedoch instruiert, die Dauer des Effekts mit der Dauer des Vergleichsintervalls zu vergleichen.

Datenreduktion und -analyse

Die Datenreduktion und -analyse verlief analog zum Vorgehen von Experiment 4.

4.9.2. Ergebnis

Die PSEs und Differenzlimen der kontingent eingetretenen Effekte wurden mit denen der inkontingente eingetretenen Effekte mit Hilfe von t-Tests für gepaarte Stichproben verglichen. Es zeigte sich weder für die geschätzte Dauer der Effekte,

$t(11) = -.1$, $p = .92$, noch für die Konsistenz der Schätzung, $t(11) = 0.55$, $p = .59$, ein Unterschied zwischen kontingent und nicht kontingent eingetretenen Effekten.

Ein Vergleich der geschätzten Dauer des kontingenten Effekts mit der absoluten Dauer des Standards zeigt, dass der Standardreiz kürzer als 250 ms wahrgenommen wird, $t(11) = 6.02$, $p < .001$ (s. Tabelle 8).

Tabelle 8

Überblick über die Ergebnisse der Experimente 7a und 7b. Angegeben sind die PSEs als mittlere Einschätzung der Dauer des Effekts in Millisekunden sowie die DL als Maß der Konsistenz der Schätzung (Differenzlimen, DL), in Klammern der Standardfehler.

Standardreiz Vergleichsintervalle (ms)	250 ms		400 ms	
	100 – 400 ms		300 – 600 ms	
Effekt	kontingent	inkontingent	kontingent	inkontingent
PSE in ms (SE)	200 (8)	200 (9)	409 (6)	397 (7)
DL in ms (SE)	37 (3)	35 (5)	36 (3)	32 (3)

4.10. Experiment 7b

Auch die wahrgenommene Dauer der Effekte wurde analog zum Vorgehen für die Dauer der Aktions-Effekt-Intervalle mit einem zweiten Standardintervall mit einer Dauer von 400 ms verglichen.

4.10.1. Methode

Versuchspersonen

Die Daten von drei Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen und durch die Daten neuer Vpn ersetzt. Eine der ausgeschlossenen Vpn hatte die beiden Aktionen unterschiedlich häufig gewählt (Kriterium: Chi-Quadrat-Test, $p < .05$). Zwei weitere Vpn wurden aufgrund des 75 %-Kriteriums von der Analyse ausgeschlossen. Die Daten von 12 Vpn gingen in die Auswertung ein. Zwei der Vpn waren männlich,

zehn weiblich. Eine der Vpn war Linkshänder, die übrigen waren Rechtshänder. Die Vpn nahmen zur Erfüllung von Kursanforderungen an dem Experiment teil.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Die verwendete apparative Ausstattung und die verwendeten Reize waren die gleichen wie in Experiment 6c.

Ablauf

Der Ablauf war der gleiche wie in Experiment 6c, allerdings waren die Vpn instruiert die Dauer des Effektreizes mit der Dauer des folgenden Tons zu vergleichen, der das Vergleichsintervall markierte.

Datenreduktion und -analyse

Die Datenreduktion und -analyse verliefen analog zum Vorgehen bei Experiment 4.

4.10.2. Ergebnis

Die PSEs und Differenzlimen wurden mit Hilfe von t-Tests zwischen den beiden Bedingungen verglichen. Es zeigte sich, dass kontingente Effekte als signifikant länger wahrgenommen wurden als inkontingente Effekte, $t(11) = 2.89$, $p < .05$. Zwischen der Konsistenz der Schätzung in beiden Bedingungen zeigt sich dagegen kein Unterschied, $t(11) = 1.38$, $p = .20$.

Ein Vergleich der geschätzten Dauer des kontingenten Effekts mit der absoluten Dauer des Standards zeigte keinen Unterschied zwischen der geschätzten und der tatsächlichen Dauer des Standardreizes von 400 ms, $t(11) = 1.43$, $p = .18$ (s. Tabelle 8).

4.10.3. Diskussion

Die Ergebnisse zur Einschätzung der Dauer von Aktionseffekten in Abhängigkeit ihrer Kontingenz sind uneinheitlich. Während sich für Effekte von 250 ms kein Einfluss der Kontingenz ergibt, werden Effektreize von der Dauer von 400 ms länger eingeschätzt, wenn sie kontingent sind.

In der Diskussion der Experimente 6a-6d wurde angeführt, dass möglicherweise die Identität der an sich irrelevanten Effekte nicht beachtet wird, und daher kein Unterschied in der Einschätzung der Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls vor kontingenten bzw. inkontingenten Effekten gefunden wurde. Dieser Annahme widerspricht der Kontingenzeffekt in Experiment 7b. Die Identität des Effekts ist hier ebenso irrelevant wie in den Experimenten 6a-6d. Allerdings muss bei der Einschätzung der Dauer der Effekte über ihre gesamte Präsentationsdauer Aufmerksamkeit auf sie gerichtet werden, um die Aufgabe zu lösen, wohingegen bei der Einschätzung der Dauer des Aktions-Effekt-Intervalls lediglich der Onset des Effektreizes relevant ist.

5. Kausalität und Zeitwahrnehmung

Schon Hume nahm an, dass die Wahrnehmung von Kausalität unter anderem durch die zeitliche Nähe zweier Ereignisse entsteht (1739). Eagleman und Holcombe (2002) vermuten, dass die unmittelbare Wahrnehmung eines Effekts eine notwendige Bedingung ist, damit ein Effekt als durch die eigene Aktion kausal verursacht wahrgenommen werden kann (siehe auch Stetson et al., 2006). Auch in Bezug auf das als intentionale Verbundenheit bezeichnete Phänomen wird zunehmend diskutiert, ob Kausalität und nicht die Intention, einen Effekt zu erzeugen, für die nähere Wahrnehmung von Zeitpunkten beieinander und die kürzere Einschätzung von Zeitintervallen verantwortlich sein könnte (Buehner & Humphreys, 2009; Cravo et al., 2009; Eagleman & Holcombe, 2002; Humphreys & Buehner, 2009; Stetson et al., 2006).

Experiment 8 soll den Zusammenhang zwischen der Zeitwahrnehmung einerseits und der Wahrnehmung von Kausalität andererseits weiter explorieren. In Experiment 9 soll geprüft werden, inwiefern Annahmen über die gemeinsame Verursachung zweier Reize sowie ihre Verursachung durch eine eigene Aktion vs. einen externen Reize einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Reihenfolge dieser beiden Reize hat.

5.1. Experiment 8

Experiment 8 soll prüfen, wie Effektzeitpunkte wahrgenommen werden und wie sich die Kausalitätswahrnehmung verändert in Abhängigkeit davon, ob Effekte zu früh oder zu spät erscheinen. Das Vorgehen ist angelehnt an die von Stetson et al. (2006) verwendete Methode. Es wurden zwei Gruppen verglichen. Jede Gruppe erzeugte in Adaptationsblöcken einen akustischen Effekt immer zu einem

spezifischen Zeitpunkt. Dieser war in einer Gruppe unmittelbar nach der Aktion, in der anderen 250 ms nach der Aktion. In Testblöcken trat der akustische Stimulus entweder als Effekt zum spezifischen Zeitpunkt, oder auch zu verschiedenen Zeitpunkten vor und nach dem häufigen Effektzeitpunkt auf. Im Folgenden wird der Begriff *Effekt* nur für den Fall verwendet, dass der Reiz abhängig von der Aktion zu dem in der Gruppe festgelegten zeitlichen Abstand von der Aktion auftritt (je nach Gruppe 0 ms oder 250 ms). In diesem Zeitabstand tritt er für eine Vpn in den Adaptationsblöcken immer und in den Testblöcken in einem Drittel der Fälle auf. Dagegen wird der Stimulus selbst als *Effektreiz* bezeichnet, der entweder als Effekt der Aktion zum gewöhnten Zeitpunkt oder vor oder nach dem gewöhnten Zeitpunkt auftritt.

Es gibt zwei Arten von Testblöcken. In den Zeiturteil-Testblöcken müssen die Vpn ein dreistufiges Reihenfolgeurteil über das Auftreten des Effektreizes in Bezug zu dem für die Gruppe festgelegten Effektzeitpunkt abgeben, d.h. sie müssen angeben, ob der Effektreiz früher, später oder zum gewöhnten Zeitpunkt aufgetreten ist. Daraus werden die Zeitpunkte im Verhältnis zum häufigen Effektzeitpunkt geschätzt, zwischen denen jede Vp jeweils den Effektreiz als weder früher noch später, sondern als zum „gewöhnlichen“ Zeitpunkt wahrnimmt. Zudem werden die Differenzlimen der PSEs der „früher-“ und „später“-Kurven bestimmt, um ein Maß für die Sensibilität der Schätzung zu erhalten. In den Kausalitätsurteil-Testblöcken müssen die Vpn mit Hilfe einer Skala von 0 – 100 % angeben, in welchem Ausmaß sie den Effektreiz als kausal verursacht erlebt haben.

Für die zeitlichen Kennwerte ergeben sich, in Analogie zur Reihenfolgebeurteilung von visuellen und akustischen Reizen, mehrere Vorhersagen für die Gruppe, welche die Effekte häufig unmittelbar erlebt. Ein Aktionseffekt tritt, selbst wenn er *unmittelbar* nach dem Ausführen einer Aktion eintritt, in der Realität

immer erst *nach* der Aktion ein. Das Auftreten des Effektreizes *vor* der Aktion widerspricht also unserer Lernerfahrung, wohingegen ein leicht verzögertes Eintreten von Handlungseffekten im Alltag durchaus üblich ist, z.B. beim Einschalten einer Leuchtstoffröhre. Ähnlich verhält es sich mit der Wahrnehmung von visuellen und akustischen Reizen: Da Schall sich in der Luft deutlich langsamer ausbreitet als Licht, erreichen in der Realität die von einem Ereignis ausgehenden visuellen Reize früher unsere Augen als die vom gleichen Ereignisse ausgehenden akustischen Reize unsere Ohren. Der Zeitpunkt des Eintreffens des Schalls am Ohr nimmt mit der Entfernung des Ereignisses deutlich zu, so dass wir gelernt haben, dass auch ein verzögertes Eintreten des Schalls gegenüber einem visuellen Reiz vom selben Ereignis verursacht werden kann. Daher muss der zeitliche Abstand zwischen einem visuellen und einem folgenden akustischen Reiz größer sein, um nicht als gleichzeitig wahrgenommen zu werden, und die Sensibilität der Schätzung im Sinne eines kleineren Differenzlimens ist zudem geringer, als wenn umgekehrt ein visueller auf einen akustischen Reiz folgt (Kohlrausch et al., 2007; Nijhawan, 2008). Analog dazu nehme ich an, dass das im Alltag unmögliche Ereignis, d.h. das Eintreten eines Effektreizes vor einer Aktion, schon bei kürzeren Differenzen zum häufigen Effektzeitpunkt „0 ms“ als abweichend detektiert wird und die Sensibilität der Schätzung höher ist, als umgekehrt das Eintreten des Effekts nach der Aktion als abweichend erkannt wird.

In der Gruppe, die den Effektreiz häufig nach 250 ms erlebt, sind zwei Ergebnisse vorstellbar: Tritt eine Rekalibrierung des häufig dargebotenen Zeitintervalls ein, wie nach den Ergebnissen von Stetson et al. (2006) zu erwarten ist, sollte der Effekt unmittelbar oder zumindest näher an der Aktion wahrgenommen werden, als er tatsächlich auftritt. Dies lässt sich mit dem verwendeten Design nicht überprüfen. Allerdings sollten sich in beiden Gruppen die gleichen Asymmetrien

finden lassen, d.h. Vpn sollten kleinere Abweichungen vom häufigen Zeitpunkt bereits als abweichend wahrnehmen und für diese Schwelle sensibler sein, wenn der Effektreiz früher als zum häufigen Zeitpunkt von 250 ms eintritt, als wenn er später eintritt. Tritt dagegen keine Rekalibrierung auf, sollten nur die Vpn der Gruppe häufig unmittelbarer Effekte diese Asymmetrie zeigen, nicht aber die der Gruppe häufig verzögerter Effekte.

Zudem soll geprüft werden, wie eng der Zusammenhang jeweils in den beiden Gruppen zwischen der Wahrnehmung einer zeitlichen Abweichung des Effektreizes vom häufigen Zeitpunkt und der wahrgenommenen kausalen Verursachung des Effektreizes durch die eigene Aktion ist. Dazu werden die Urteile über die wahrgenommene Kausalität und die Wahrnehmung des Zeitpunkts als „wie gewöhnlich“ miteinander korreliert.

5.1.1. Methode

Versuchspersonen

Insgesamt nahmen an dem Experiment 39 Vpn teil. Drei davon wurden von der Analyse ausgeschlossen. Zwei hatten den Effektreiz niemals als „später als gewöhnlich“ bewertet, so dass keine Kennwerte der zeitlichen Wahrnehmung für diese „später-Urteile“ ermittelt werden konnten. Eine weitere Vp wurde ausgeschlossen, da der aus ihren Daten geschätzte PSE der „später-Urteile“ mehr als 3 Standardabweichungen vom Gruppenmittel abwich. Die Daten von 36 Vpn gingen in die Auswertung ein, 18 pro Gruppe. Sie waren zwischen 19 und 35 Jahren alt (Mittel = 21 Jahre). 28 Vpn waren weiblich, acht männlich. Fünf Vpn waren Linkshänder, die übrigen Vpn Rechtshänder, aber alle bedienten nach eigener Aussage die Maus gewöhnlich mit der rechten Hand. Alle Vpn nahmen zur Erfüllung von Kursanforderungen an dem Experiment teil.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Für die Präsentation der Stimuli und die Datenaufzeichnung wurde das Programm E-Prime auf einem PC eingesetzt. Alle Reize wurden auf einem 17-Zoll-Röhrenmonitor mit einer Auflösung von 800*600 Pixeln und einer Bildwiederholungsfrequenz von 100 Hz präsentiert. Alle Antworten wurden mit Hilfe einer optischen Computermaus abgegeben, die mit der rechten Hand bedient wurde. In jedem Trial musste das Targetareal mit dem Mauszeiger erreicht und durch einen Druck auf die linke Maustaste angeklickt werden. Dieses Targetareal war in der Mitte des Monitors dargestellt als rote Nase eines Elchs und maß 96 auf 96 Pixel. Jeder Trial begann mit der zentralen Präsentation eines Fixationskreuzes für 500 ms. Mit Erlöschen des Fixationskreuzes erschien der Mauszeiger links von der Mitte des Monitors (Position 160 Pixel auf der x- und 300 Pixel auf der y-Achse) und blieb über die gesamte Dauer des Trials sichtbar. Der akustische Stimulus, der in jedem Trial entweder als Effekt oder als ein von der Aktion unabhängiger Reiz auftrat, war 50 ms lang und stellte ein kurzes Röhren des Elchs dar. Alle akustischen Reize wurden über einen geräuschabschirmenden VicFirth SIH-1 Kopfhörer präsentiert. Nach dem Effektreiz dauerte es 1000 ms bis zum Beginn des nächsten Trials. Falls ein Mausclick das Ziel verfehlte, wurde ein Fehlerton dargeboten und eine schriftliche Fehlermeldung auf dem Monitor gegeben („Daneben! Bitte klicke nur auf die Nase!“). Wenn nicht innerhalb von 1000 ms ein Mausclick erfolgte, erschien die Meldung „Bitte schneller!“. In beiden Fällen wurde der Trial anschließend wiederholt.

In den Testblöcken, in denen der Effektreiz auch früher oder später als gewöhnlich auftreten konnte, fand jeweils nach erfolgreichem Mausclick auf die Reaktionsfläche am Trialende eine Abfrage entweder bezüglich der Zeit des Effektreizes oder bezüglich der wahrgenommenen Kausalität zwischen dem Klick und dem Effektreiz statt. Die Kausalitätsabfrage wurde durch einen Klick auf eine

Skala von 0-100 % gemäß der wahrgenommene Kausalität abgegeben (s. Anhang A2), die in Anlehnung an eine Skala von Linser und Goschke (2007) gestaltet war. Anschließend wurde als Feedback für 500 ms ein „X“ über dem Abschnitt der Skala angezeigt, den die Vp ausgewählt hatte. Für das Urteil, ob der Zeitpunkt des Effektreiz es wie sonst, früher oder später war, mussten die Vpn unter drei horizontal angeordneten Kästchen von 100 Pixeln Kantenlänge das entsprechend ihrem Urteil beschriftete anklicken (s. Anhang A1). Auch hier wurde das gewählte Kästchen anschließend für 500 ms mit einem „X“ markiert. Für beide Abfragen wurde der Mauszeiger in der unteren Hälfte des Bildschirms (400 Pixel) in der horizontalen Mitte eingesetzt. Verfehlte die Vp ein Kästchen oder klickte zu weit ober- oder unterhalb der Skala (oberhalb 250 ms oder unterhalb 350 ms in vertikaler Richtung), folgten eine schriftliche Fehlermeldung und ein Fehlerton.

Ablauf

Aufgabe der Vpn war, mit einem Mausklick auf das Targetareal einen kontingent eintretenden Effektreiz zu erzeugen. Die genaue Größe und Position des Targetareals wurde den Vpn in der Instruktion graphisch dargestellt. Für jede Vp gab es Adaptationsblöcke, in denen der Ton immer als Effekt des Klicks in einem festgelegten Zeitabstand eintrat, in der einen Gruppe unmittelbar, in der anderen 250 ms nach dem Klicken. In den Testblöcken wurde der Effekt weiterhin in 33 % der Fälle zum erlernten Zeitpunkt dargeboten, in je 33 % der Fälle zu verschiedenen Zeitpunkten vor und nach dem häufigen Zeitpunkt (s. Tabelle 9). Um zu gewährleisten, dass der Effektreiz in der Gruppe, die den Effekt häufig unmittelbar erlebte, in etwa zum definierten Zeitpunkt vor der Aktion eintreten konnte, wurde in den Adaptationsblöcken die x-Koordinate aufgezeichnet, wo sich die Maus 50 ms, 100 ms, 150 ms und 200 ms vor dem Mausklick befand. Diese x-Koordinaten wurden über alle Trials eines Adaptationsblocks gemittelt. Wenn einer Vp dieser Gruppe im

Testblock nun der Effektreiz beispielsweise 100 ms vor der Aktion präsentiert werden sollte, löste sie diesen unwissentlich durch das Überschreiten der x-Koordinate mit dem Mauszeiger aus, bei sich der Mauszeiger im letzten Adaptationsblock im Mittel 100 ms vor dem Klick befunden hatte. Gleichzeitig wurde aufgezeichnet, wie groß die tatsächliche Differenz zwischen Effektreiz und Klicken war. Verspätet eintretende Effekte wurden zu den definierten Zeitpunkten nach dem Anklicken des Targets dargeboten. In der Gruppe, in der die Effekte häufig verzögert eintraten, wurden die Effekte entsprechend vor oder nach dem üblichen Effektzeitpunkt dargeboten. Die Zeitpunkte der früher als zum üblichen Effektzeitpunkt eintretenden Effektreize entsprachen für jede Vp denen, die eine Jochperson tatsächlich erlebt hatte, um auszuschließen, dass Gruppenunterschiede auf tatsächlich unterschiedliche Präsentationszeitpunkte relativ zum adaptierten Zeitpunkt zurückzuführen sind.

Nach einem Übungsblock von 20 Trials, in denen immer der Effekt nach dem häufigen Zeitpunkt auftrat, folgten zunächst 2 Adaptationsblöcke von je 40 Trials, um sicherzustellen, dass eine Rekalibrierung stattfinden konnte (dazu sind nach Stetson et al., 2006, bereits 20 Trials ausreichend).

In den Testblöcken folgte auf jeden Trial eine Abfrage, je nach Block bezüglich des Zeitpunkts des Effektreizes oder bezüglich der wahrgenommenen Kausalität zwischen der Aktion und dem Effektreiz. Das Urteil konnte jeweils ohne Zeitdruck durch einen Mausklick abgegeben werden. In einem Zeiturteil-Testblock musste die Vp angeben, ob der Effekt zeitlich „wie gewöhnlich“, früher als sonst, oder später als sonst eingetreten war. In einem Kausalitätsurteil-Testblock musste die Vp ihren Einfluss mit dem Klick auf das Targetareal auf das Eintreten des Effektreizes bewerten. Die Testblöcke umfassten 60 Trials, in denen der Effektreiz zu einem Drittel der Trials zum üblichen Zeitpunkt, zu einem Drittel früher und zu einem Drittel später als sonst erschien (s. Tabelle 9). Der erste, dritte, fünfte, sechste und siebte

Testblock war je ein Zeiturteil-Testblock, der zweite und vierte Testblock war je ein Kausalitätsurteil-Testblock. Zwischen zwei Testblöcken folgte je ein weiterer Adaptationsblock von 40 Trials, um zu verhindern, dass eine möglicherweise eingetretene Rekalibrierung an verzögerte Effekte durch die zeitliche Unsicherheit in den Testblöcken aufgehoben wird. Zudem wurden in jedem Adaptationsblock in der Gruppe häufig unmittelbarer Effekte die x-Koordinaten der Mausbewegungen zum Auslösen der zu früh eintretenden Effekte neu ermittelt, um Veränderungen in der Bewegungszeit über die Blöcke auszugleichen.

Tabelle 9

Effektzeitpunkte für Experiment 8. Bei den mit * gekennzeichneten Werten handelt es sich um geplante Werte, die im Experiment abweichen können. Um dies auszugleichen wurden die mit ** markierten Werte jeder Vp durch die wahren Werte je einer Jochperson der „Unmittelbar“-Gruppe ersetzt.

Geplante Abweichung Effektzeitpunkt (ms)	-200	-150	-100	-50	0	50	100	150	200
Gruppe „Unmittelbar“ (ms)	-200*	-150*	-100*	-50*	0	50	100	150	200
Gruppe „Verzögert“ (ms)	50**	100**	150**	200**	250	300	350	400	450
Trialzahl/Adaptationsblock	0	0	0	0	40	0	0	0	0
Trialzahl/Testblock	5	5	5	5	20	5	5	5	5

Datenreduktion und -analyse

Da die tatsächlichen Zeitpunkte des akustischen Reizes vor der Aktion nicht festgelegt werden konnten, variierten die tatsächlich ermittelten Zeitpunkte, so dass pro Zeitpunkt häufig nur eine Schätzung vorlag. Um eine größere Anzahl an Schätzungen zu erhalten und daraus eine Häufigkeitsverteilung von Antworten zu gewinnen, wurden die Antworten jeweils einer Spanne von Zeitpunkten um die geplanten Zeitpunkte zusammengefasst. Dazu wurden die Urteile einer Vp zu jedem Zeitpunkt von 25 ms vor dem geplanten Zeitpunkt bis 24 ms danach zusammengefasst, d.h. beispielsweise für den geplanten Zeitpunkt -200 ms wurden die Antworten der Zeitpunkte -225 ms bis -176 ms zusammengefasst, für den Zeitpunkt -150 ms die Antworten der Zeitpunkte -175 ms bis -126 ms, usw. Für jedes

zusammengefasste Intervall wurden für jede Vp die jeweiligen Häufigkeiten der drei Antwortalternativen berechnet. Aus den Werten wurden analog zum Vorgehen von Kohlrausch und Kollegen (2007) vier Funktionen geschätzt. Es wurde je eine kumulativ Gaußsche Funktion von 0 bis 1 aus den Häufigkeiten der „früher“-Antworten und eine aus den Häufigkeiten der „später“-Antworten geschätzt. Für die „wie gewöhnlich“-Antworten wurden der Zeitpunkt und das Ausmaß der maximalen Antworthäufigkeit empirisch bestimmt und es wurden die beiden Hälften der „wie gewöhnlich“-Funktion von 0 bis zum empirisch ermittelten Maximum bzw. vom ermittelten Maximum bis 0 geschätzt. Die linke und rechte Hälfte der „wie gewöhnlich“-Urteile wurden getrennt geschätzt, um eine gegebenenfalls unterschiedliche Steilheit der beiden Seiten der Funktion abbilden zu können, falls Vpn für die eine Art Urteile sensibler sind als für die andere. Um ein Maß zu erhalten, während welches Zeitraums eine Vp den Zeitpunkt des Effektreizes als „wie gewöhnlich“ bezeichnete, wurden die Schnittpunkte der „früher“ und „später“-Kurven mit der jeweils gegenläufigen Hälfte der „wie gewöhnlich“-Kurve ermittelt und die Differenz der zugehörigen Zeitpunkte berechnet (s. Abbildung 9). Desweiteren wurden die Differenzlimen als Betrag der halben Differenz des 75 %-Funktionswerts und des 25 %-Funktionswerts der „früher“- bzw. „später“-Urteile bestimmt, um zu vergleichen, ob sich die Sensibilität der „früher“- und „später“-Urteile voneinander und zwischen den Gruppen unterscheidet. Für den Vergleich der Differenzlimen wurde also ihre absolute Größe unabhängig vom Vorzeichen verwendet.

Um den Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Kausalität und dem Zeiturteil einschätzen zu können, wurde sowohl die Antworthäufigkeit der „wie gewöhnlich“-Urteile sowie die wahrgenommene Kausalität so skaliert, dass beide Maße von 0 % - 100 % reichten. Über die wie oben beschrieben zusammengefassten Zeitintervalle wurden für jede Vp die Antworthäufigkeiten des

„wie gewöhnlich“-Urteils sowie der wahrgenommene Einfluss auf den Effektreiz durch die Aktion gemittelt.

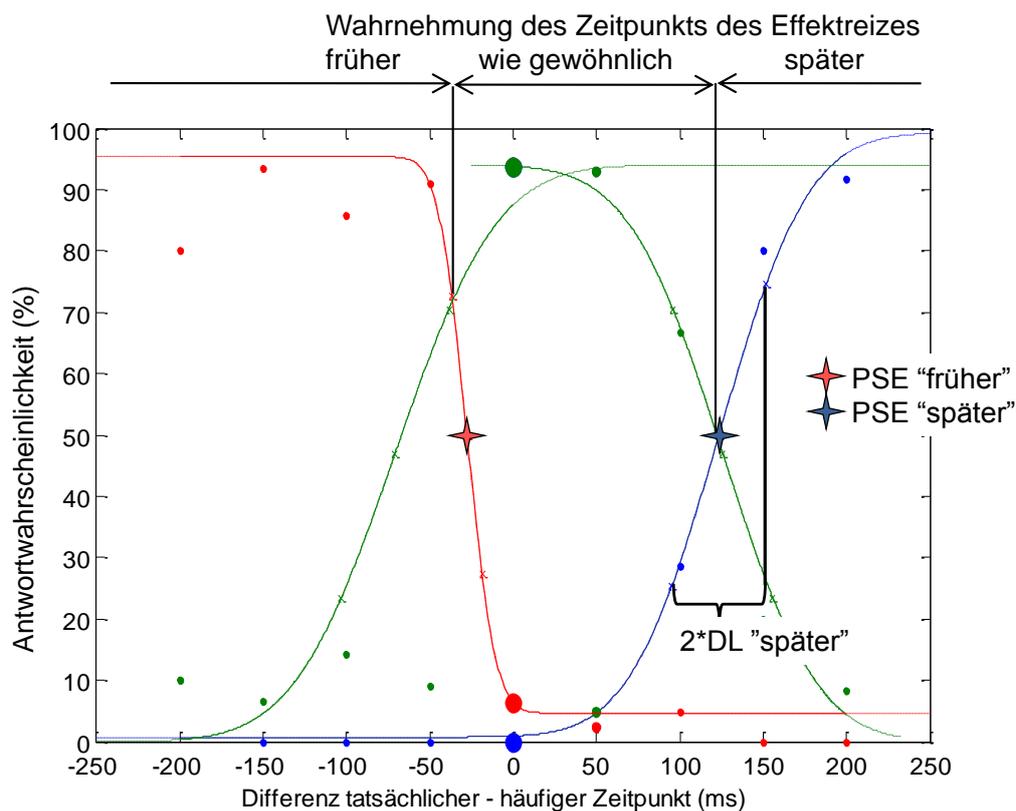


Abbildung 9. Exemplarische Darstellung der gewonnenen Datenpunkte anhand der Daten einer Vp. Der PSE der „später“-Kurve liegt nahe am Schnittpunkt der „später“- und der „wie-gewöhnlich“-Kurve, ist jedoch nicht identisch. Der Differenzlimen der „früher“-Kurve wurde aus Gründen der Klarheit in der Abbildung weggelassen.

5.1.2. Ergebnis

Einen Überblick über die Daten gibt Abbildung 10 anhand der Daten zweier prototypischer Vpn.

Um zu testen, ob die zeitliche Auflösung in den beiden Gruppen gleich ist für zu frühe und zu späte Reize, wurden die Schnittpunkte der „wie gewöhnlich“-Kurve mit den „früher“ und „später“-Kurven zwischen den beiden Gruppen verglichen. In der Gruppe der häufig unverzögerten Effekte ist wird der Effektreiz bis -36 ms als früher als sonst beurteilt gegenüber -172 ms in der Gruppe häufig verzögerten Effekte, $t(34) = 5.31$, $p < .001$. Auch der Zeitpunkt, ab dem der Effektreiz als später

bezeichnet wird, liegt mit 182 ms relativ später als in der Gruppe, bei der Effektreiz häufig verzögert auftritt mit 132 ms, $t(34) = 2.44$, $p < .05$. Insgesamt ist der Zeitbereich, während dem das „wie gewöhnlich“-Urteil abgegeben wird mit 305 ms länger in der Gruppe häufig verzögerter Effekte als in der Gruppe häufig unmittelbarer Effekte mit 217 ms, $t(34) = -2.93$, $p < .01$.

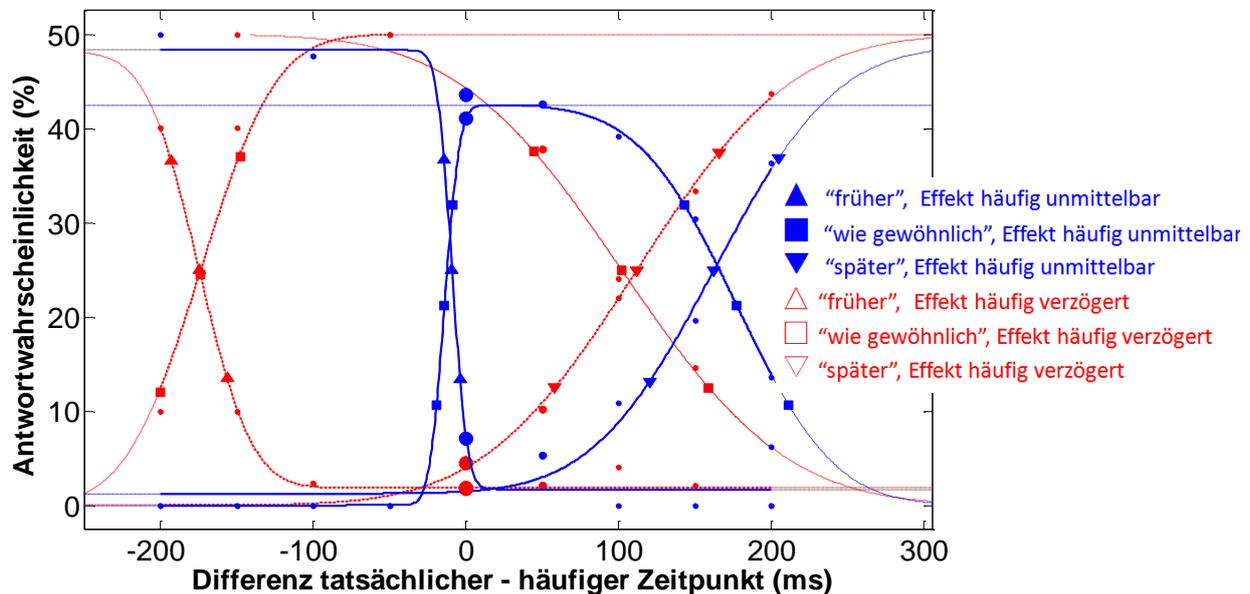


Abbildung 10. Die Ergebnisse der Einschätzung des tatsächlichen Zeitpunkts in Bezug auf den für die Gruppe häufigen Zeitpunkt in Experiment 8. Daten zweier prototypischer Vpn.

Aus den absoluten Differenzlimen aus den „früher“ und „später“-Urteilen wurde eine Varianzanalyse berechnet mit dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (unmittelbar, verzögert) und dem Messwiederholungsfaktor Urteil (früher, später). Ein signifikanter Haupteffekt für Urteil, $F(1,34) = 8.20$, $p < .01$ ergab sich aus einem kleineren Differenzlimen für „früher“-Urteile gegenüber „später“-Urteilen (40 vs. 68 ms). Zudem fand sich ein Haupteffekt zwischen den beiden Gruppen, $F(1,34) = 6.75$, $p < .05$, wobei die unmittelbar-Gruppe einen kleineren Differenzlimen aufwies als die verzögert-Gruppe (40 ms vs. 67 ms). Die beiden Faktoren interagieren nicht miteinander, $p = .24$.

Um den Zusammenhang zwischen dem Kausalitätsurteil und dem „wie gewöhnlich“-Zeit Urteil zu untersuchen, wurden für jede Vp die pro Intervall (-200 ms, -150 ms, -100 ms, -50 ms, 0 ms, 50 ms, 100 ms, 150 ms, 200 ms) gemittelten Urteile der wahrgenommenen Kausalität mit der mittleren Antwortwahrscheinlichkeit für das „wie gewöhnlich“-Urteil korreliert. Die Korrelationen der einzelnen Vpn wurden zwischen den Gruppen mit Hilfe eines t-Tests miteinander verglichen. Die mittlere Korrelation zwischen Kausalitätsurteil und Zeiturteil ist größer in der Gruppe, in der der Effekt häufig unmittelbar eintritt ($r = .86$) gegenüber der Gruppe, in der der Effekt häufig verzögert eintritt ($r = .60$), $t(34) = 8.09$, $p < .01$.

5.1.3. Diskussion

In der Gruppe häufig unmittelbarer Effekte wird ein Reiz schon dann mehrheitlich als früher erkannt, wenn er durchschnittlich 37 ms vor seinem häufigen Zeitpunkt auftritt, wohingegen er dazu in der Gruppe häufig um 250 ms verzögerter Effekte 173 ms früher als zum häufigen Zeitpunkt auftreten muss. Dies bestätigt die Annahme, dass die absolute Schwelle für dieses Urteil in der Gruppe geringer ist, in der ein zu frühes Eintreten des Effektreiz, d.h. ein Eintreten noch vor der Aktion der Lernerfahrung widerspricht. Dagegen müssen Effektreize in dieser Gruppe später im Vergleich zum häufigen Zeitpunkt eintreten, damit sie als später wahrgenommen werden als in der Gruppe häufig verzögerter Effektreize. Dies zeigt eine generelle Verschiebung der „wie gewöhnlich“-Kurve in der Gruppe häufig verzögerter Effekte gegenüber der Gruppe häufig unmittelbarer Effekte. Würde man von einer kompletten Rekalibrierung ausgehen, d.h. davon, dass verzögerte Effekte ebenso unmittelbar wahrgenommen werden wie unmittelbare Effekte, müsste die zeitliche Auflösung der beiden Gruppen gleich und damit die beiden „wie gewöhnlich“-Kurven deckungsgleich sein. Dies ist jedoch nicht der Fall. Allerdings trat auch bei Stetson et

al. (2006, Experiment 1) keine vollständige Rekalibrierung des Reihenfolgeurteils von Aktion und Effekt auf, sondern bei einer Adaptation an eine Verzögerung um 100 ms verschob sich der mittlere PSE um 44 ms.

Für diese Verschiebung der Funktion nach links bieten sich zwei mögliche Erklärungen. Erstens könnte in die zeitliche Wahrnehmung des Effektreizes relativ zum häufigen Zeitpunkt von 250 ms neben der Nähe zu diesem häufigen Zeitpunkt auch die zeitliche Nähe zur Aktion eingehen. Diese findet im Mittel 250 ms vor dem Effektreiz statt, in der anderen Gruppe im Mittel 0 ms. Dadurch ließe sich erklären, warum beide zeitliche Grenzen bei der Gruppe, in der die Effekte häufig um 250 ms verzögert auftreten, gegenüber der Gruppe, in der die Effekte gewöhnlich unmittelbar auftreten, früher relativ zum üblichen Zeitpunkt liegen.

Zweitens könnte die zeitliche Auflösung für Effektreize unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit kurz *nach* einer Aktion schlechter sein, als nach einer Verzögerung von 250 ms und mehr. Die Integration von einer Aktion und ihrem sehr kurz verzögertem Effekt könnte auf die Erfahrung zurückgehen, dass Effekte in der Umwelt häufig geringfügig verzögert auftreten, was zu einer automatischen Integration von Reizen kurz nach einer Aktion und der Aktion zu einer wahrgenommenen Aktions-Effekt-Episode führt. In diesem Fall müsste die Sensibilität für ein späteres Auftreten als gewöhnlich in der Gruppe häufig verzögerter Effekte größer sein, da das Urteil weniger von dieser „automatischen Integration“ beeinflusst sein sollte, denn der mittlere Zeitpunkt, zu dem der Effektreiz eintritt, ist in dieser Gruppe im Schnitt 250 ms länger von der Aktion entfernt.

Die Analyse der Differenzlimen zeigt jedoch, dass die Gruppe gewöhnlich unmittelbarer Effekte generell sensibler für sowohl früheres als auch späteres Eintreten des Effektreizes ist, unabhängig davon, welche Grenze betrachtet wird. Insgesamt ist zudem das Intervall, während dessen der Zeitpunkt des Reizes als wie

gewöhnlich bezeichnet wird, größer in der Gruppe häufig verzögerter Effekte. Dies könnte, ebenso wie die geringere Sensibilität für von der Norm abweichende Effektreizzeitpunkte, auf eine größere zeitliche Unsicherheit in der Gruppe häufig verzögerter Effekte hinweisen. Während die Gruppe unmittelbarer Effekte den Reiz immer mit einem anderen Ereignis, ihrem Mausklick, vergleichen kann, muss die andere Gruppe den akustischen Reiz in Relation zu ihrem Tastendruck und einem im Gedächtnis repräsentierten ungefüllten Zeitintervall setzen.

Generell ist die Sensibilität der Schätzung größer, wenn der Effektreiz früher eintritt als gewöhnt, gegenüber einem späteren Eintreten. Diese Asymmetrie ergibt sich vermutlich aus der Erfahrung, dass Effekte auch verzögert nach einer Aktion eintreten können, jedoch niemals vor der sie erzeugenden Aktion auftreten. Diese Erfahrung könnte dazu führen, dass verzögerte Effekte eher mit den Aktionen zu einer wahrgenommenen Einheit integriert werden als den Aktionen vorausgehende Effektreize. Diese höhere Sensibilität für ein zu frühes Eintreten des Effektreizes ist unabhängig von der Experimentalgruppe. Dies spricht ebenfalls dafür, dass Rekalibrierung stattgefunden hat. Im Bezug auf die Ergebnisse von Stetson und Kollegen (2006) ist anzunehmen, dass auch nach der Aktion aber vor dem üblichen Zeitpunkt auftretende Reize manchmal als „vor der Aktion“ wahrgenommen werden. Dies könnte die gleichen Effekte auf die Einschätzung des Zeitintervalls haben wie tatsächlich vor einer Aktion eintretende Reize. Um diese Erklärung abzusichern, sollte in einem weiteren Experiment zusätzlich zu den hier erhobenen Maßen zeitlicher Auflösung zwischen häufigem Effekzeitpunkt und tatsächlichem Auftretenszeitpunkt des Effektstimulus ein Maß für das Ausmaß der Rekalibrierung erhoben werden.

In beiden Gruppen können die Zeitpunkte des Effektreizes recht gut mit denen des häufigen Effekzeitpunkts verglichen werden. Dabei sprechen die Daten der

Gruppe gewöhnlich verzögerter Effekte aufgrund der Verschiebung der „wie gewöhnlich“-Urteile dafür, dass neben der Information über den häufigen Effektzeitpunkt auch die absolute zeitliche Distanz zur Aktion mit eingeht.

Bezüglich des Zusammenhangs des Zeiturteils und des Kausalitätsurteils zeigt sich, dass wie vermutet in dem Ausmaß, in dem die Vpn einen Reiz als zum gleichen Zeitpunkt wie gewohnt wahrnehmen, sie ihn für kausal verursacht halten. Dies bestätigt den häufig postulierten Zusammenhang zwischen Zeitwahrnehmung und Kausalitätswahrnehmung. Dieser Zusammenhang ist stärker in der Gruppe, die den Effekt ihrer Aktion häufig unmittelbar erlebt. Jedoch ist auch in der Gruppe, die den Effekt häufig um 250 ms verzögert erlebt, der Zusammenhang gemäß der Konvention groß (Cohen, 1988). Auch bei gewöhnlich verzögerten Effekten ist also die Wahrnehmung des Zeitpunkts als „wie gewöhnlich“ sehr eng damit verknüpft, dass der Effekt auch als durch die eigene Aktion verursacht angesehen wird. Dies zeigt, dass nicht nur der die physikalische Nähe eines Stimulus zu einer Aktion zur Wahrnehmung kausaler Verursachung führt, sondern auch die wahrgenommene Übereinstimmung des Effektzeitpunkts mit dem aus der Erfahrung bekannten Effektzeitpunkt.

5.2. Experiment 9

Experiment 9 soll zwei Fragen klären. Einerseits soll geprüft werden, ob die zeitliche Einordnung von zwei Reizen davon abhängt, ob sich die Vpn selbst als Verursacher beider Reize sieht. Treten Reize nach einer Handlung auf, so hat der Handelnde generell die Tendenz, diese Reize als selbst verursachte Effekte zu werten, selbst wenn kein kausaler Zusammenhang zwischen Handlung und Reiz besteht (Alloy & Abramson, 1979). Möglicherweise verstärkt die Intention, zwei Reize zu erzeugen, zusätzlich die Wahrnehmung der Kausalität und damit der

Gleichzeitigkeit der beiden Reize, während die Wahrnehmung der Reihenfolge der Reize ohne diese Intention nach der gleichen Aktion besser gelingt.

Zudem werden zwei Reize eher als gemeinsam verursacht bewertet, wenn sie gleichzeitig statt zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten (Körding et al., 2007). Experiment 9 soll prüfen, ob auch umgekehrt das (angebliche) Wissen über eine gemeinsame Ursache dazu führt, dass zwei Reize eher als gleichzeitig erlebt werden als zwei Reize, die als distinkt verursacht angesehen werden. Dazu wird die Hälfte der Vpn instruiert sich vorzustellen, ein akustischer Klick und ein visueller Blitz seien von einer Kamera gemeinsam erzeugt. Die Kamera als Beispiel wurde gewählt, weil hier eine gemeinsame Ursache, aber kein kausaler Zusammenhang *zwischen* den beiden Reizen vorliegt, da keiner den anderen bedingt oder beeinflusst. Das Drücken des Auslösers öffnet gleichzeitig den Verschluss (was als Klick zu hören ist) und löst den Blitz aus, damit der Film belichtet wird.

5.2.1. Methode

Versuchspersonen

Da Vortests eine große Varianz in der Fähigkeit von Personen, Zeitabstände einzuschätzen, zeigten, wurde der Kreis möglicher Vpn auf Psychologiestudenten unter 30 Jahren beschränkt. Es nahmen 58 Vpn am Experiment teil. Fünf Vpn wurden ausgeschlossen, da sie entweder immer die gleiche Urteilstaste gedrückt hatten oder bei keiner der Antwortalternativen eine steigende oder sinkende Antwortwahrscheinlichkeit mit steigender oder sinkender Zeitdifferenz zwischen den Reizen zeigten. Eine Vp der wurde ausgeschlossen, weil sie sich nicht davon überzeugen ließ, dass bei einer Kamera das Klicken des Verschlusses gleichzeitig mit dem Blitz erfolgt, sondern darauf beharrte, der Blitz sei bei einer echten Kamera immer vor dem Klick. Die Daten von 52 Vpn gingen in die Analyse ein, 13 pro

Gruppe. Sie waren zwischen 19 und 29 Jahren alt (Mittel = 22 Jahre). 42 Vpn waren weiblich, 10 männlich. Zwei der Vpn waren Linkshänder, 50 waren Rechtshänder. Die Vpn nahmen zur Erfüllung von Kursanforderungen oder gegen die Zahlung von 6 Euro teil.

Versuchsapparatur und Stimulusmaterial

Das Experiment wurde mit der gleichen experimentellen Ausstattung durchgeführt wie Experiment 8, wobei der 17-Zoll-Röhrenmonitor mit einer Auflösung von 640*480 Pixeln betrieben wurde. Der Blitz- und Klickstimulus wurden ähnlich wie bei van Eijk et al. (2008) gestaltet. Bei dem „Klick“ handelte es sich um 10 ms weißes Rauschen. Alle visuelle Reize wurden auf schwarzem Hintergrund dargeboten. Bei dem visuellen „Blitz“ handelte es sich um einen weißen Kreis mit dem Durchmesser von 75 Pixeln, der für 10 ms in der Mitte des Bildschirms dargeboten wurde. Um die Bildschirmmitte wurden als Fixationsgebiet ein Rahmen dargeboten, der je 25 % des Bildschirms in jede Richtung überspannte. Dabei waren nur die Ecken, d.h. die jeweils äußeren 10 % des Rahmens in horizontaler und vertikaler Richtung sichtbar. Die Rahmenlinie war weiß und drei Pixel breit. Der Rahmen war während jedes Trials von Trialbeginn bis zum Erscheinen der Abfrage am Trialende sichtbar.

Um die optimale Sichtbarkeit des Blitzreizes zu gewährleisten wurde das Experiment in einem abgedunkelten Raum mit schwacher diffuser Hintergrundbeleuchtung durch eine Schreibtischlampe durchgeführt. Für Tastendrucke bzw. die taktile Reizung durch die Taste wurde eine der Reaktionstasten verwendet, die auch in Experiment 4-7 genutzt wurden (für eine Beschreibung der passiven Reizung siehe Experiment 5). Die Antwortalternativen für das Reihenfolgeurteil wurden schriftlich am Monitor dargeboten und die Abgabe des Urteils erfolgte entsprechend der Nummerierung („1. Beide waren gleichzeitig, 2. Der

Blitz kam zuerst, 3. Das Klicken kam zuerst“) mit Zeige-, Mittel- und Ringfinger der rechten Hand über die Tasten 1, 2 und 3 auf dem Ziffernblock der Tastatur.

Ablauf

Um zu prüfen, ob die Gleichzeitigkeitswahrnehmung zweier kurz aufeinander folgender Reizen in Abhängigkeit der Annahme ihrer gemeinsamen oder unabhängigen Verursachung variiert, und ob eine intentionale Aktion einen Einfluss auf dieses Urteil über eine Kausalitätswahrnehmung hinaus hat, wurden die Vpn durch die Bedingungen „Verursacher“ (intentional vs. extern) und „Zusammenhang der Reize“ (gemeinsame Ursache vs. getrennte Ereignisse) in vier Gruppen mit je 13 Vpn aufgeteilt. Die Vpn der Gruppe „intentionale Verursachung“ drückten zu Trialbeginn zu einem frei gewählten Zeitpunkt mit dem linken Zeigefinger die Taste, womit sie gemäß der Instruktion die nachfolgenden Reize erzeugten. Die Gruppe „externe Verursachung“ spürte dagegen ebenfalls am linken Zeigefinger am Trialbeginn einen vom Computer erzeugten taktilen Reiz durch die gleiche Taste bevor Klick und Blitz erschienen. Die Anzahl der Ursachen wurde in beiden Gruppen durch die Instruktion variiert: Die Hälfte der Vpn erfuhr, es handele sich bei den beiden Reizen um den Blitz sowie das Verschlussgeräusch einer Kamera, die gemeinsam durch den Auslöser erzeugt wurden – entweder selbst durch den Tastendruck oder durch den Computer, angezeigt durch die taktile Stimulation. Die andere Hälfte der Vpn bekam keinerlei Information über die Ursache der Reize, hatte also keinen Grund, von einer gemeinsamen Verursachung der beiden Reize auszugehen.

Im Anschluss an Tastendruck oder taktile Reizung folgten nach einem variablen Zeitintervall die beiden aufgabenrelevanten Reize, der Blitz und das Klickgeräusch. Das variable Intervall zwischen 500 ms und 780 ms in 20 ms-Schritten sollte eine exakte Erwartung des Zeitpunktes des ersten Reizes verhindern,

da eine solche Erwartung zu einer früheren Wahrnehmung des Onsets des ersten Reizes führen würde (Enns et al., 1999). Aufgabe der Vp war es, die Reihenfolge von Blitz und Klick anzugeben. Diese traten entweder gleichzeitig oder in 15 verschiedenen zeitlichen Abständen voneinander auf (von -300 ms, d.h. Blitz folgt dem Klick nach 300 ms, bis +300 ms, d.h. der Klick folgt dem Blitz nach 300 ms, in 50-ms-Schritten sowie zusätzlich die Intervalle -25 ms und +25 ms). Nach der Darbietung beider Stimuli folgte ein ungefülltes Intervall, das so gewählt war, dass die Gesamtdauer des Trials seit dem Tastendruck bzw. der taktilen Reizung 1500 ms betrug. Anschließend gaben die Vpn Ihr Reihenfolgeurteil ab, womit sie automatisch den nächsten Trial starteten.

Nach der schriftlichen Instruktion auf dem Monitor folgte ein Übungsblock von 15 Trials, um sicherzustellen, dass die Instruktionen verstanden worden waren. Anschließend folgten 6 Blöcke mit je 75 Trials. Die Intervalle zwischen Blitz und Klick wurden in zufälliger Reihenfolge variiert, d.h. jedes der 15 unterschiedlichen Zeitintervalle zwischen den beiden Reizen wurde insgesamt 30 mal präsentiert.

Datenreduktion und -analyse

Die Datenreduktion und -analyse erfolgte in Anlehnung an das Vorgehen von Kohlrausch und Kollegen (Kohlrausch et al., 2007; van Eijk et al., 2008). Für jede der Vpn wurden für die drei möglichen Antwortkategorien jeweils die Antworthäufigkeiten für jedes Zeitintervall berechnet. Für jede der Antwortalternativen wurden psychometrische Funktionen kalkuliert. An die Antworthäufigkeiten „Klick zuerst“ und „Blitz zuerst“ wurde jeweils eine kumulative Gaußsche Funktion angepasst. Für die „gleichzeitig“-Urteile wurden zwei kumulative Gaußfunktionen geschätzt, um die rechte und die linke Hälfte getrennt anzupassen, und so der zu erwartenden unterschiedlichen Steilheit der Kurven aufgrund der unterschiedlichen Sensibilität für Reihenfolgeurteile von visuellen nach akustischen vs. akustischen nach visuellen

Reizen Rechnung zu tragen (Kohlrausch et al., 2007; Nijhawan, 2008). Für die beiden Kurven der Gleichzeitigkeitsurteile wurde aus den Rohdaten empirisch die Zeitdifferenz zwischen Klick und Blitz bestimmt, an dem die jeweilige V_p am häufigsten Klick und Blitz als gleichzeitig beurteilt hatte. Die linke Hälfte der Gleichzeitigkeitsfunktion wurde aus den Häufigkeiten der „gleichzeitig“-Antworten aller Intervalle kleiner gleich dieser Zeitdifferenz berechnet. Die Werte der geschätzten Anwothhäufigkeiten wurden zwischen 0 % und dem empirisch ermitteltem größten Anteil an „gleichzeitig“-Antworten geschätzt. Die rechte Hälfte wurde entsprechend aus den Zeitdifferenzen größer gleich der empirisch ermittelten Differenz, von der tatsächlichen maximalen Anwothhäufigkeit bis 0 % geschätzt.

Aus den erhaltenen Funktionen wurden verschiedene Maße der Zeitwahrnehmung abgeleitet. Erstens wurde die Länge des Intervalls bestimmt, während dessen Blitz und Klick eher als gleichzeitig als nacheinander wahrgenommen werden. Dies wurde definiert als der Zeitbereich zwischen den Schnittpunkten der beiden Reihenfolgefunktionen, d.h. die Funktionen für die Urteile „Klick zuerst“ bzw. „Blitz zuerst“ einerseits und der jeweilig gegenläufigen Hälfte der Gleichzeitigkeitsfunktionen andererseits (vgl. van Eijk et al., 2008). Außerdem wurde jeweils der PSE der beiden Reihenfolgefunktionen bestimmt sowie die Differenzlimen der Funktionen, um zu feststellen zu können, ob und wenn ja auf welcher Seite die experimentelle Manipulation die Sensibilität eines der Reihenfolgeurteile beeinflusst.

5.2.2. Ergebnis

Mit den aus den psychometrischen Funktionen geschätzten Werten wurde jeweils eine Varianzanalyse mit den Faktoren Verursachung (intentional, extern) und Zusammenhang der Reize (gemeinsame Ursache, getrennte Ereignisse) berechnet.

Für den Zeitbereich, in denen Klick und Blitz eher als gleichzeitig als nacheinander wahrgenommen wurde, ergab sich ein marginal signifikanter Haupteffekt des Faktors Verursachung, $F(1,48) = 3.76$, $p = .058$. Waren Klick und Blitz durch einen Tastendruck selbst verursacht, wurden sie über einen tendenziell längeren Zeitraum von 292 ms als gleichzeitig wahrgenommen gegenüber 237 ms, wenn sie als extern verursacht galten.

Für den Faktor Zusammenhang der Reize ergab sich weder ein Haupteffekt, noch eine Interaktion mit dem Faktor Verursachung ($ps \geq .7$).

Die Analyse des Punkts subjektiver Gleichheit für das Urteil „Blitz vor Klick“ deutet in eine ähnliche Richtung: Der Zeitpunkt, bei dem ein Klick nach einem Blitz nicht mehr als gleichzeitig wahrgenommen wird ist mit 175 ms (SE 17 ms) nach intentionaler Verursachung marginal später als gegenüber externer Verursachung bei 135 ms (SE 17 ms), $F(1,48) = 2.93$, $p = .09$. Auch für dieses Maß ergab sich weder ein Haupteffekt noch eine Interaktion mit dem Faktor Zusammenhang der Reize ($ps \geq .38$).

Für die Sensibilität der Schätzungen in Form des Differenzlimens ergaben sich weder Haupteffekte noch eine Interaktion der Faktoren ($ps \geq .14$)

Weder für den PSE für das gegenteilige Urteil „Klick vor Blitz“ noch für die Sensibilität (alle $ps \geq .4$) dieser Schätzung ergaben sich signifikante oder marginal signifikante Haupteffekte oder Wechselwirkungen ($ps \geq .11$).

5.2.3. Diskussion

Wenn zwei Ereignisse durch einen Tastendruck intentional erzeugt wurden, werden sie über einen tendenziell größeren Zeitraum als gleichzeitig wahrgenommen, als wenn sie unabhängig von einer Aktion verursacht wurden. Die

Variation der Anzahl der Ursachen per Instruktion hat dagegen keinen Einfluss auf die Gleichzeitigkeitswahrnehmung zweier Reize.

Für die Unwirksamkeit der Instruktion über den Zusammenhang der Reize bieten sich mehrere Erklärungen. Eine mögliche Erklärung ist, dass zwar in der einen Richtung zeitliche Nähe als Indikator für gemeinsame Verursachung verwendet wird (Körding et al., 2007), jedoch umgekehrt Annahmen über die Anzahl von Ursachen für mehrere Reize keinen Einfluss auf die Gleichzeitigkeitswahrnehmung zweier Reize haben.

Desweiteren ist aber auch möglich, dass die verwendete Methode nicht geeignet war, solch einen Einfluss zu zeigen. Drei mögliche Gründe sollen hier kurz diskutiert werden. Erstens wurde zwar in der Bedingung gemeinsamer Verursachung eine vorgestellte Kamera als gemeinsame Ursache proklamiert, jedoch wurden in der Bedingung „getrennte Ereignisse“ gar keine Angaben über die Ursachen der Reize gemacht. Grund hierfür war, dass keiner der beiden Reize durch eine Instruktion wie z.B. „den einen Reiz erzeugt der Tastendruck, den anderen der Computer“ gesondert mit Aufmerksamkeit belegt werden sollte, da dies wiederum zu einer Verzerrung der zeitlichen Wahrnehmung durch z.B. den Prior-Entry-Effekt führen könnte (Shore et al., 2001). Da die Reize jedoch immer zeitlich nah beieinander auftraten und offensichtlich vom Computer erzeugt wurden, könnte dies dazu geführt haben, dass die Vpn auch ohne weitere Angaben zur Verursachung der Reize ein eigenes internes Modell „gemeinsam vom Computer/durch meinen Tastendruck verursacht“ bildeten. Zweitens wurde die mögliche gemeinsame Ursache in Form der Kamera allein durch die schriftliche Instruktion zu Beginn des Experiments vermittelt, um physikalisch gleiche Bedingungen in allen Gruppen während des restlichen Experiments zu erzeugen. Möglicherweise wurde diese an sich irrelevante Information jedoch entweder von Beginn an ignoriert, oder ging im Laufe des

Experiments verloren. Zudem war zwar eine gewisse Augenscheinvalidität durch den rechteckigen Rahmen und den Blitzreiz gegeben, jedoch handelte es sich offensichtlich nicht um eine Kamera, sondern um einen Computermonitor; viele Vpn bemängelten auch, der Klick sei ihnen nicht wie bei einer Kamera vorgekommen. Generell könnte möglicherweise ein Versuchsaufbau mit mehr Augenscheinvalidität und eine stärkere Instruktion, die klar zwischen einer und zwei Ursachen unterscheidet, zu einer stärkeren Illusion der gemeinsamen Verursachung und damit zu einer wahrscheinlicheren Gleichzeitigkeitswahrnehmung führen.

Generell könnte die Methode des dreistufigen Reihenfolgeurteils ungeeignet sein, um zeitliche Nähe zwischen Reizen abzubilden. Schließlich zielen zwei der drei möglichen Antwortalternativen auf einen Unterschied der Zeitpunkte und nicht deren Gleichzeitigkeit ab. Einige Vpn berichteten anschließend, sie hätten das Gefühl gehabt, aktiv nach Unterschieden suchen zu müssen, „um nicht so oft ‚gleichzeitig‘ zu urteilen“, d.h. sie versuchten aktiv, die Gleichzeitigkeitswahrnehmung zu unterdrücken. Obwohl diese Methode gegenüber einem zweistufigen Reihenfolgeurteil durchaus als geeignet gilt, Synchronität abzubilden (van Eijk et al., 2008), eignet sich möglicherweise eine andere Methode wie die Einschätzung der Dauer eines Intervalls wie sie z.B. von Cravo et al. (2009) verwendet wurde besser, um wahrgenommene zeitliche Nähe abzubilden.

Der tendenzielle Einfluss der eigenen Aktion geht in die vorhergesagte Richtung, d.h. selbst verursachte Reize werden eher als gleichzeitig wahrgenommen. Dies scheint v.a. auf die Wahrnehmung eines Klicks nach einem Blitz erst bei größerer zeitlicher Distanz nach einer Aktion als nach einem taktilen Reiz zurückzugehen. Allerdings stellt sich die Frage, warum der Einfluss auf die Verschiebung des PSEs der „Klick war später“-Urteile um 40 ms und die Gleichzeitigkeitswahrnehmung über einen 55 ms längeren Zeitraum trotz der relativ

hohen Anzahl von Vpn das Signifikanzniveau nicht erreichte. Nicht nur zwischen, sondern auch innerhalb der Gruppen variierten die Vpn stark in ihren Schätzungen. Dies könnte auf die generell stark unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeit von Vpn zurückgehen, Zeitintervalle einzuschätzen. Häufig werden Versuchsbedingungen – wie auch in den Experimenten 4-7 – in Experimenten, die sich psychometrischer Methoden bedienen, innerhalb statt zwischen Vpn variiert (z.B. Kohlrausch et al., 2007; van Eijk et al., 2008). Damit wird die Variabilität zwischen Vpn als Störvariable ausgeschlossen. Bezüglich der Instruktionsmanipulation ist dies nicht möglich, da sich Vpn höchstwahrscheinlich an eine einmal gegebene Instruktion erinnern werden. Allerdings könnte der Handlungskontext auch innerhalb von Vpn variiert werden, da hier die Erinnerung an die jeweils andere Bedingung keinen Einfluss haben sollte. Möglicherweise könnte auch eine weniger arbiträre Handlung, die in einer stärkeren augenscheinlichen Verbindung zu den beiden Effektreizen steht, zu einer stärkeren kausalen Wahrnehmung zwischen den beiden Reizen und damit zu einer Veränderung des Reihenfolgenurteils führen.

6. Gesamtdiskussion

Die Repräsentation und der Erwerb zeitlicher Strukturen in unserer Umwelt ist unerlässlich, um mit der Umwelt interagieren zu können. In dieser Arbeit sollten dabei verschiedene Fragen bezüglich zeitlicher Aspekte im Handlungskontext näher betrachtet werden. Erstens, ob Aktionen besser zur Vorhersage des Zeitpunkts und der Identität ihres antizipierten Handlungseffekts genutzt werden können als visuelle Stimuli, die gleich gut Zeitpunkt und Identität nachfolgender Ereignisse vorhersagen. Zweitens wurde das Erleben von Zeitintervallen mit Hilfe einer psychophysischen Methode im Handlungskontext exploriert. Drittens wurde der Zusammenhang von Zeitwahrnehmung und dem Erleben von Kausalität untersucht. Die Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

6.1. Der Erwerb zeitlicher Relationen im Handlungskontext

Die Experimente 1-3 zielten auf ein besseres Verständnis über den Erwerb zeitlicher Relationen zwischen impliziten prädiktiven Cues und der Identität und dem Zeitpunkt des Auftretens eines Ereignisses ab. Darüber hinaus sollte geklärt werden, ob der Erwerb dieser Relationen im Handlungskontext begünstigt ist, d.h. ob frei gewählte Aktionen als implizite prädiktive Cues zu stärkeren Verhaltenseffekten führen als visuelle Stimuli. Dazu folgte auf entweder eine Aktion oder einen Reiz als prädiktivem Cue nach einem von zwei Zeitintervallen eines von zwei Ereignissen. Um zu testen, ob die prädiktive Information des Cues erworben wird, musste auf das Eintreten des Ereignisses reagiert werden. Wenn der Zusammenhang zwischen implizitem Cue und Zeitintervall einerseits, und Identität des Zeitintervalls andererseits erlernt wird, sollten Reaktionen auf valide vorhergesagte Ereignisse bzw. Zeitintervalle schneller und weniger fehlerhaft sein. Insgesamt zeigten sich

Validitätseffekte sowohl für den Zeitpunkt als auch die Identität des Ereignisses. Jedoch variierten sie je nach Aufgabe, Modalität des Prädiktors und Zeitintervall.

In Experiment 1 fand sich ein Einfluss der zeitlichen Validität. Damit wurden Reaktionszeiteffekte analog zu bereits in anderen Studien berichteten gefunden, in denen explizite zeitliche Cues verwendet wurden (z.B. Correa et al., 2004). Reaktionen nach valide kurzen Zeitintervallen waren schneller als nach invalide kurzen Zeitintervallen. Umgekehrt fand sich zwar kein Reaktionszeitunterschied für lange Intervalle, jedoch wurden aufgrund erhöhter Reaktionsbereitschaft mehr Fehler vor invalide langen Zeitintervallen gegenüber valide langen Zeitintervallen gemacht. Dies zeigt, dass die zeitliche Reorientierung zwar einerseits die ohne diesen Prozess zu erwartenden Reaktionszeiteinbußen bei Ereignissen zum invaliden Zeitpunkt kompensiert. Dafür führt andererseits jedoch die früh aufgebaute und dann nicht benötigte Reaktionsbereitschaft zu einer erhöhten Anzahl von Antizipationsfehlern vor invalide späten Zeitpunkten.

Interessanterweise traten die Validitätseffekte in den Reaktionszeiten ausschließlich und in den Antizipationsfehlern weitgehend nur in der Gruppe auf, der ihre frei gewählten Aktionen zur Prädiktion des Zeitintervalls dienten. Das heißt, die Bedeutung impliziter zeitlicher Cues wird in Handlungskontexten reaktionswirksam erlernt. Zeitliche Relationen werden auch zwischen visuellen Stimuli und nachfolgenden Ereignissen erlernt, aber zu einem weitaus geringeren Ausmaß.

Die Identität des Ereignisses hatte in Experiment 1 dagegen keinen nachweisbaren Einfluss auf die Reaktion, auch nicht in Interaktion mit anderen Faktoren. Da das Ereignis nur entdeckt werden musste, um darauf reagieren zu können, ist seine Identität für die Ausführung der Reaktion irrelevant und hat vermutlich daher keinen nachweisbaren Einfluss auf die Reaktion. Um zu prüfen, ob die Relation der Identität des Ereignisses zum vorhergehenden Reiz erlernt wird,

wenn das Ereignis reaktionsrelevant ist, war in den Experimenten 2 und 3 die Diskrimination des Ereignisses relevant für die Auswahl der Reaktion.

Tatsächlich wurde in Experiment 2 und 3 der Zusammenhang zwischen implizitem Cue und der Identität des Ereignisses erlernt. Zudem wurde auch der zeitliche Zusammenhang zwischen den prädiktiven Cues und den nachfolgenden Ereignissen erlernt. In beiden Experimenten sind der Einfluss der Validität des Zeitintervalls und der Validität des Ereignisses nicht unabhängig voneinander. Es fällt vor allem auf, dass die insgesamt invaliden Trials, d.h. Trials, in denen sowohl der Zeitpunkt als auch die Identität des Ereignisses nicht das vom Cue vorhergesagte war, in keiner Gruppe schlechter war, als Bedingungen, in denen nur das Zeitintervall *oder* das Ereignis nicht wie vorhergesagt eintrat. Dies ist vermutlich auf die Variation der Häufigkeit der Ereignis-Zeitpunkt-Kombinationen zurückzuführen. Die insgesamt invaliden Ereignis-Zeitpunkt-Kombinationen sind ebenso wie die insgesamt validen Kombinationen relativ häufig. Wagener und Hoffmann (im Druck-b) konnten zeigen, dass Reaktionen auf häufige Ereignis-Zeitintervall-Kombinationen schneller ausgeführt werden als auf seltene Kombinationen. Diese Interaktion zeigt sich in Experiment 2 in beiden Gruppen, jedoch nur in der Aktionsgruppe ist auch ein Haupteffekt der Validität des Zeitintervalls auf die Reaktionszeit zu finden. Sowohl in Experiment 2 als auch Experiment 3 zeigt der Vergleich der beiden insgesamt häufigen Kombinationen von Zeitintervallen und Ereignissen, dass auch hier die Bedeutung des prädiktiven Cues für schnellere und weniger fehlerhafte Reaktionen genutzt wird.

Die Ergebnisse von Experiment 2 könnten zumindest teilweise auch durch die Konfundierung der Seite des Erscheinens des Reaktionsicons und somit der motorischen Reaktion mit prädiktivem Cue, Ereignis und Zeitintervall zurückzuführen sein. Daher wurde nur mit einer Aktionsgruppe Experiment 2 ohne eine Kovariation

der Seite des Erscheinens des Reaktionsicons und damit der spezifischen Reaktion in Experiment 3 repliziert. Eine Vorbereitung der spezifischen Reaktion war damit nicht mehr möglich, lediglich die zeitliche Vorhersagbarkeit konnte für eine unspezifische Reaktionsvorbereitung genutzt werden. In Bezug auf die Validitätseffekte entspricht das Ergebnismuster der Reaktionszeiten dem von Experiment 2. In den Fehlerdaten findet sich lediglich ein marginaler Trend, der jedoch den Reaktionszeitdaten nicht widerspricht. Das heißt, dass auch ohne eine spezifische Vorhersage der motorischen Reaktion die Aktion als prädiktiver Cue genutzt wird. Wie schon in Experiment 2 lässt sich ausschließen, dass die Validitätseffekte allein auf die relative Häufigkeit der Zeitintervall-Ereignis-Kovariationen zurückgeführt werden können.

Bezüglich der erwarteten Einflüsse von Vorperiode und Validität der Vorperiode entsprechen die Ergebnisse von Experiment 1 bereits in anderen Studien zum expliziten zeitlichen Cueing berichteten Effekten (z.B. Correa et al., 2004). Es findet sich sowohl der zu erwartende Vorperiodeneffekt, d.h. Reaktionen nach langen Zeitintervallen sind schneller als nach kurzen, als auch eine Interaktion des Zeitintervalls mit seiner Validität, d.h. die Validität des Zeitintervalls beeinflusst nur bei unerwartet frühem Eintreten eines Reizes die Reaktionszeit. Diese Interaktion tritt dagegen weder in Experiment 2 noch in Experiment 3 auf. Tritt entgegen der Erwartung früh kein Ereignis ein, gelingt es offenbar nicht, die Aufmerksamkeit in der Zeit neu auf den späten Zeitpunkt auszurichten. Da diese Ausrichtung der Aufmerksamkeit ein endogener Prozess ist, der kognitive Ressourcen beansprucht (Correa et al., 2004; Coull et al., 2000; Miniussi et al., 1999; Nobre, 2001), verhindert möglicherweise die Beanspruchung dieser Ressourcen durch die höhere Komplexität der Diskriminationsaufgabe aufgrund des komplexeren Ereignis-Reaktions-Mappings diesen Prozess (vgl. auch Correa et al., 2004).

Im Gegensatz zu den Experimenten 1 und 2 tritt in Experiment 3 kein Vorperiodeneffekt auf. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass der Vorperiodeneffekt ein Effekt der Reaktionsvorbereitung ist (Correa et al., 2004; Niemi & Näätänen, 1981), jedoch aufgrund der nicht vorhersagbaren Seite des Reaktionsicons keine spezifische Reaktion vorbereitet werden kann, bevor das Ereignis eintritt. Möglicherweise ist jedoch der Effekt auch nur verschleiert, da es sich bei den als Reaktionszeiten berichteten Daten nicht um echte Reaktionszeiten, sondern um die Summe von einfacher Reaktions- und Bewegungszeit handelt.

Neben der Frage nach dem Erlernen der Kovariationen von Zeitintervallen und Ereignissen sowie der Relation impliziter prädiktiver Cues im Allgemeinen stand im Besonderen die Frage im Blickpunkt, ob solche Relationen im Handlungskontext besser erworben werden als im Kontext unabhängig aufeinanderfolgender sensorischer Reize. Dazu wurden in den Experimenten 1 und 2 Aktionen als implizite Cues mit visuellen Reizen verglichen. Es zeigte sich, dass für den Erwerb des zeitlichen Zusammenhangs von Cues und Zeitintervallen Aktionen die überlegenen Cues sind. Die einzigen Hinweise darauf, dass zeitliche Relationen auch mit prädiktiven visuellen Cues erworben werden, ist eine kleinere Rate an Antizipationsfehlern vor invalide kurzen Zeitintervallen in Experiment 1 und die von der Gruppe unabhängige generelle Interaktion der Validität des Zeitintervalls mit der Validität des Ereignisses unabhängig von der Gruppe in Experiment 2. Allerdings zeigten sich in der Beobachtungsgruppe keine Haupteffekte für die Validität des Zeitintervalls. Die Experimente liefern damit insgesamt nur schwache und uneinheitliche Evidenz dafür, dass ein visueller Stimulus zur Prädiktion des folgenden Zeitintervalls genutzt wird, wenn die Vp nicht explizit über den Zusammenhang des Cues mit dem folgenden Zeitintervall aufgeklärt wird.

Im Gegensatz dazu reagieren in allen drei Experimenten Vpn, bei denen Aktionen das folgende Zeitintervall prädiktieren, schneller, wenn das Zeitintervall valide von der Aktion vorhergesagt wurde gegenüber Trials, in denen der Aktion nicht das vorhergesagte Zeitintervall folgt. Das gleiche Bild zeigen die nur in Experiment 1 auftretenden Antizipationsfehler, die ein unterschiedliches Ausmaß an Reaktionsvorbereitung zu den beiden möglichen Ereigniszeitpunkten in Abhängigkeit vom jeweiligen Cue abbilden.

Insgesamt wurde die Validität eines Ereignisses nur dann verhaltenswirksam erlernt, wenn die Aufgabe nur durch eine Diskrimination des Targets erfolgreich gelöst werden konnte, also in Experiment 2 und 3. Für die Vorhersage des folgenden Ereignisses wird in Experiment 2 sowohl die Bedeutung von Aktionen als auch von visuellen Reizen erlernt, so dass beide Gruppen schneller auf valide als auf invalide Ereignisse reagieren. Während jedoch sich entsprechend in der Aktionsgruppe auch höhere Fehlerraten für invalide Ereignisse finden, deuten die Fehlerraten in der Beobachtungsgruppe eher in die entgegengesetzte Richtung. Dies deutet auf einen Speed-Accuracy-Tradeoff in der Beobachtungsgruppe hin, d.h. möglicherweise gehen die schnelleren Reaktionszeiten zu Lasten der Genauigkeit. Auch für das Erlernen des Zusammenhangs zwischen Cue und Ereignis zeigt sich ein Vorteil in der Gruppe, in der Aktionen als Cues dienen.

Alles in allem liefern die Ergebnisse der Experimente 1-3 Evidenz für unsere Annahme, dass Aktionen als implizite Cues stärker genutzt werden als visuelle Reize, um nachfolgende Ereignisse und den Zeitpunkt ihres Eintretens vorherzusagen. Dies passt zu einer Reihe von Ergebnissen, die zeigen, dass Aktionen besser geeignet sind, um beispielsweise die Eigenschaften eines Netzwerks (Sobel & Kushnir, 2006), sowie zeitliche Relationen zwischen Ereignissen in einem Netzwerk zu erlernen (Lagnado & Sloman, 2006).

Bei dem Erwerb der Relation von Aktionen als impliziten prädiktiven Cues für Ereignisse handelt es sich in anderen Worten um die Ausbildung einer Aktions-Effekt-Beziehung, denn ein Effekt ist per Definition das Ereignis, das einer Aktion üblicherweise zu einem typischen Zeitpunkt folgt. Die Überlegenheit von Aktionen als Cues, wenn es um das Erlernen von impliziten Cues für die Vorhersage von Ereignissen geht, passt gut zu den Vorhersagen des ideomotorischen Prinzips (Herbart, 1825; Hoffmann, Butz, Herbort, Kiesel, & Lenhard, 2007; James, 1890), das die Ausbildung einer bidirektionalen Beziehung zwischen Aktion und Effekt postuliert. In der einen Richtung wird nach Ausbildung der Beziehung bei Ausführung der Aktion der Effekt antizipiert. Ich konnte zeigen, dass die Aktions-Effekt-Beziehung zu einer besseren Vorhersage von Identität und Zeitpunkt des Effekts führt, als wenn von zwei externen sensorischen Ereignissen das erste Zeitpunkt und Identität des zweiten mit gleicher Genauigkeit vorhersagt.

6.2. Die Repräsentation von Zeit im Handlungskontext

Die Methode konstanter Stimuli scheint geeignet, um die Zeitwahrnehmung in Aktions-Effekt-Beziehungen zu untersuchen. Generell scheinen die Ergebnisse der Experimente 4-7 eine kürzere Wahrnehmung des Aktions-Effekt-Intervalls gegenüber seiner tatsächlichen Dauer zu bestätigen, wie in Anlehnung an Untersuchungen zur intentionalen Verbundenheit von Aktionen und Effekten mit Hilfe von Zeitpunkten vermutet. Hierbei unterscheidet sich die Einschätzung der Dauer von Intervallen zwischen Aktionen und Effekten nicht von der zwischen instruierten Reaktionen und Effekten (Experiment 4). Auch die Spezifität des Eintretens eines Handlungseffekts führt zu keiner unterschiedlichen Einschätzung des Aktions-Effekt-Intervalls (Experiment 6a-d). Dagegen sind die Ergebnisse zur Einschätzung der Dauer eines Effekts in Abhängigkeit der Kontingenz seines Eintretens uneinheitlich: Während sich

die wahrgenommene Dauer für Effekte von 250 ms Dauer nicht unterscheidet, werden Effekte von 400 ms als länger eingeschätzt, wenn sie kontingent auf die Aktion folgen, als wenn sie inkontingent eintreten.

Die Hypothese, dass das Intervall zwischen passiver Stimulation des Fingers und einem visuellen Stimulus länger eingeschätzt wird, konnte nicht bestätigt werden. Statt dessen trat das umgekehrte Ergebnismuster ein: Das Intervall zwischen passiver Stimulation und Reiz wurde als kürzer eingeschätzt als das Intervall zwischen Aktion und Effekt (Experiment 5).

Generell ist aus methodischer Sicht der Vergleich der geschätzten Dauer mit der physikalischen Dauer problematisch und kann daher nur als Annäherung gesehen werden. Denn jede Methode, mit der ein Urteil über die wahrgenommene Zeit gewonnen werden soll, beeinflusst systematisch das Urteil, z.B. durch die festgelegte Reihenfolge der Reize (Lapid et al., 2008), ihre Modalität (Wearden, Edwards, Fakhri, & Percival, 1998; Wearden et al., 2007) oder durch das Begünstigen von Antworttendenzen durch die Auswahl der Vergleichsstimuli (Seifried & Ulrich, 2008), so dass die gewonnenen Schätzwerte an sich nicht mit den absoluten Dauern verglichen werden können.

Dennoch scheinen die errechneten mittleren Schätzwerte des Aktions-Effekt-Intervalls das Intervall gegenüber der physikalischen Dauer stärker zu unterschätzen als aufgrund anderer Befunde zu erwarten wäre (Lapid et al., 2008; Mate, Pires, Campoy, & Estaun, 2009; Seifried & Ulrich, 2008). Dies gilt insbesondere für die Experimente 6c und 6d, in denen im Gegensatz zu 6a und 6b aufgrund einer größeren Spannbreite von symmetrisch um den Standard verteilten Vergleichsintervallen weniger Vpn aufgrund des 75 %-Kriteriums ausgeschlossen wurden. Desweiteren könnten allerdings die Standardintervalle in den Experimenten

4 und 5 systematisch unterschätzt werden, da sie als leere Intervalle mit der Dauer von Tönen, also gefüllten Vergleichsintervallen, verglichen werden.

Überraschend ist angesichts dieser Tatsache, dass sich die Einschätzung der Dauer von Aktionseffekten numerisch nicht stark unterscheidet von der Einschätzung der Dauer von Aktions-Effekt-Intervallen. Aus theoretischer Sicht wäre eine längere Einschätzung der Effekte zu vermuten, weil es sich dabei erstens um ein gefülltes Intervall handelt, und ich zweitens annehme, dass ein Aktions-Effekt-Intervall aufgrund intentionaler Verbundenheit als besonders kurz wahrgenommen werden sollte. Dagegen zeigen die Daten, dass sich die Einschätzung der Dauer von Effekten nicht wesentlich von der Einschätzung der Dauer von Aktions-Effekt-Intervallen unterscheidet. Allerdings ist die Wahrnehmung der Dauer von Effekten bisher nur wenig und zudem mit uneinheitlichen Befunden erforscht (Hunt et al., 2008; Park et al., 2003). Da gerade die kurzen Effektdauern, die zudem schon 250 ms nach der Aktion einsetzen verkürzt scheinen, könnte die relativ kurze Einschätzung der Dauer der Effekte ein Indiz dafür sein, dass generell die Aktion die Geschwindigkeit der inneren Uhr verändert (Humphreys & Buehner, 2009; Park et al., 2003) und somit zu einer veränderten Zeitwahrnehmung nach Aktionen oder Reaktionen führt. Um dies zu prüfen, sollte in weiteren Experimenten erstens systematisch die Dauer von Aktions-Effekt-Intervallen und Effektreizen variiert werden. Zweitens sollten erstens die Aktions-Effekt-Intervalle mit ungefüllten, von der eigenen Aktion unabhängigen Intervallen verglichen werden und zweitens die Effekte mit gefüllten, von der eigenen Aktion unabhängigen Intervallen um sicherzugehen, ob – und wenn ja, in welchem Ausmaß – die Füllung des Intervalls einen Einfluss auf die Einschätzung seiner Dauer hat.

Ein Einfluss der Kontingenz der eintretenden Effekte auf ihre wahrgenommene Dauer konnte nur für die längere untersuchte Effektdauer von

400 ms gefunden werden. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass tatsächlich für den Nachweis von Einflüssen im Zusammenhang mit intentionaler Verbundenheit mit Hilfe einer Methode der Zeitschätzung längere Intervalle als – wie ursprünglich angenommen – 250 ms besonders geeignet sind (Humphreys & Buehner, 2009). Um dies zu prüfen, sollten Experimente zur intentionalen Verbundenheit mit Hilfe der Einschätzung der Dauer von Zeitintervallen auf eine größere Spannbreite von Intervallen ausgedehnt werden.

Generell könnten Diskrepanzen von Ergebnissen von Experimenten, in denen die Komplikationsuhr verwendet wurde (Haggard, Aschersleben et al., 2002; Haggard, Clark et al., 2002), zu Experimenten, die entweder explizite verbale Zeitschätzung (Engbert et al., 2008), oder wie hier eine psychophysische Methode verwenden, auf die unterschiedliche Repräsentation von Zeitpunkten und Zeitintervallen zurückzuführen sein. So könnten beispielsweise Intentionalität oder Kausalität die Geschwindigkeit der „inneren Uhr“ beschleunigen. Dadurch würde die innere Uhr in entsprechenden Bedingungen schneller „ticken“ und es würden im gleichen physikalischen Intervall mehr Ticks akkumuliert werden (Zakay, 1998; Zakay, Block, & Tsal, 1999). Eine unterschiedliche Geschwindigkeit könnte möglicherweise die zeitliche Auflösung erhöhen, hätte aber nicht notwendigerweise auch einen Einfluss auf die Wahrnehmung von Zeitpunkten (vgl. Humphreys und Buehner, 2009). Dies könnte erklären, warum Humphreys und Buehner (2009) einen mit der Dauer des Intervalls bis zu mehreren Sekunden ansteigenden Unterschied der Einschätzung von Aktions-Effekt- und Reiz-Reiz-Intervallen finden, wohingegen mit der Komplikationsuhr ein Effekt intentionaler Verbundenheit nur für Intervalle kleiner als 650 ms nachweisbar ist (Haggard, Aschersleben et al., 2002; Haggard, Clark et al., 2002).

Grundsätzlich scheinen ausgehend vom Gesichtspunkt der absoluten Größe des Schätzwerts, die Ergebnisse der hier beschriebenen Experimente ins Bild der Studien zur intentionalen Verbundenheit, die mit Hilfe einer Komplikationsuhr durchgeführt wurden, zu passen. Experiment 4 zeigt, dass die kürzere Einschätzung des Intervalls nicht ausschließlich für Aktions-Effekt-Intervalle, sondern in nicht unterschiedlichem Ausmaß auch für Reaktions-Effekt-Intervalle zutrifft. Dies passt zu Befunden, die eine Verbindung zwischen Reaktionen und Effekten vergleichbar zu denen zwischen Aktionen und Effekten finden (Elsner & Hommel, 2004; Kühn et al., 2009). In Bezug auf das Konzept der intentionalen Verbundenheit heißt das möglicherweise, dass der Begriff „intentionale Handlung“ die Ausführung einer zielgerichteten Handlung, um einen gewünschten Effekt zu erzeugen (siehe z.B. Hoffmann, 1993), umfasst, unabhängig davon, ob es sich um die Ausführung einer Aktion oder Reaktion handelt. Möglicherweise ist dies jedoch auch ein erster Hinweis darauf, dass die Intentionalität einer Handlung nicht der ausschlaggebende Faktor für die kürzere Einschätzung des Handlungs-Effekt-Intervalls ist. Eine alternative Erklärung stellt die kausale Beziehung zwischen (Re-)Aktion und Effekt dar. Dies wird am Ende des Abschnitts näher erläutert.

Es stellt sich die Frage, warum das Intervall zwischen passiver Stimulation des Fingers und einem visuellen Stimulus nicht länger, sondern kürzer eingeschätzt wird als das Intervall zwischen Aktion und Effekt. Studien zur intentionalen Verbundenheit hatten dagegen festgestellt, dass die Zeitpunkte von Aktion und Effekt als näher beieinander liegend wahrgenommen werden als die Zeitpunkte zwischen passiver Reizung und einem Reiz (Wohlschläger, Engbert, et al., 2003), und dass Aktions-Effekt-Intervalle verbal kürzer eingeschätzt wurden als Intervalle zwischen passiver Reizung und einem Reiz (Engbert, et al., 2003). Dagegen unterstützt das Ergebnis von Experiment 5 nicht die Annahme, dass die Intentionalität einer Aktion

ausschlaggebend für eine kürzere Einschätzung eines Zeitintervalls zwischen Aktion und Effekt ist, denn das Intervall in der intentionalen Aktions-Reiz-Bedingung wird als länger eingeschätzt als in der nicht-intentionalen taktilen Stimulation-Reiz-Bedingung.

Allerdings unterscheidet sich die hier verwendete Methode in mehreren Punkten von der, die in anderen Studien zum Vergleich passiver Reizung und aktivem Tastendruck verwendet wurde (Engbert et al., 2007; Wohlschläger, Engbert et al., 2003). Erstens verwende ich Tasten, die von unten nach oben gegen den Finger drücken (vgl. Experiment 5). Dies erzeugt einen ähnlichen taktilen Eindruck wie ein aktiver Tastendruck, jedoch einen anderen propriozeptiven. Dagegen wurde in anderen Studien der „passive Tastendruck“ durch Absenken der Taste realisiert (Engbert et al., 2007; Wohlschläger, Engbert et al., 2003), so dass der gleiche propriozeptive Eindruck entsteht, jedoch ein anderer taktiler. Möglicherweise zieht der „Schlag“ der Taste gegen den Finger in unserem Design mehr Aufmerksamkeit auf sich und somit von der Aufgabe der Zeitschätzung ab. Zudem verwende ich zwei Tasten, um das Ausmaß an intentionaler Wahlmöglichkeit zu erhöhen, womit ich einen weiteren Unterschied zwischen den beiden Bedingungen einführe: Während die Vp Identität und Zeitpunkt der Ausführung eines aktiven Tastendruck aufgrund der eigenen Planung perfekt vorhersagen kann, kann sie bei passiver Reizung nicht vorhersagen, welcher Finger gereizt werden wird. Auch diese Unsicherheit könnte Aufmerksamkeit auf die Stimulation und damit weg von der Aufgabe der Zeitschätzung lenken. Rolke, Bausenhart und Ulrich (2006) konnten zeigen, dass erhöhte (visuelle) Aufmerksamkeit die Wahrnehmung des Offsets eines Reizes verzögert. Wird auch bei taktiler Stimulation der Offset der Reizung durch die Taste aufgrund erhöhter Aufmerksamkeit später wahrgenommen, könnte dies eine kürzere Wahrnehmung des nachfolgenden ungefüllten Zeitintervalls erklären.

Während in Experiment 5 also gegenüber anderen Studien zur Zeitwahrnehmung im Handlungskontext vs. passiver Stimulation die Sicherheit über das Ereignis geringer ist, ist die Sicherheit über den Zeitpunkt des Eintretens der Stimulation höher. Sie tritt nach einem immer gleich langen Intervall von 1 s auf. In Studien zur intentionalen Verbundenheit sowohl mit Hilfe der Komplikationsuhr (Wohlschläger, Engbert et al., 2003; Wohlschläger, Haggard et al., 2003) als auch mit Hilfe verbaler Dauerschätzung (Engbert et al., 2007) ist dagegen der Zeitpunkt der passiven Reizung unsicher. Gemäß dem Attentional Gate Model führt zeitliche Unsicherheit zu einer erhöhten zeitlichen Aufmerksamkeit und Auflösung, die wiederum zu einer längeren Einschätzung der Dauer führt (Brown & Boltz, 2002; Zakay, 1998; s. allerdings auch Grondin & Rammsayer 2003). Die höhere zeitliche Unsicherheit bietet alternativ zur Intentionalität eine Erklärung für die als weiter auseinander liegend wahrgenommenen Zeitpunkte in den Studien von Wohlschläger und Kollegen (2003), beziehungsweise für die als länger wahrgenommenen Intervalle nach passiver Reizung bei Engbert und Kollegen (2003).

Die Ergebnisse von Experiment 4 widersprechen nicht der Annahme, dass Aufmerksamkeitsprozesse aufgrund unterschiedlicher Vorhersagbarkeit die Zeitwahrnehmung im Handlungskontext erklären. Möglicherweise unterscheiden sich Aktionen und Reaktionen einerseits nicht in dem Ausmaß, in dem sie Aufmerksamkeit durch die Aufgabe binden, bei Aktionen durch die Auswahl und Planung eines Tastendrucks, bei Reaktionen durch die Umsetzung des arbiträren imperativen Stimulus. Andererseits ermöglichen beide die Antizipation des Effekts, wodurch die Wahrnehmung des Intervalls zwischen (Re-)Aktion und Effekt nicht unterschiedlich beeinflusst wird.

Auch die Ergebnisse der Experimente 6 und 7 lassen sich mit Aufmerksamkeitsprozessen erklären. In den Experimenten 6a-6d wird in beiden

Bedingungen ein ungefülltes Intervall nach einer frei gewählten Aktion eingeschätzt. Erst der nachfolgende Effekt unterscheidet sich und könnte einen Einfluss auf die Aufmerksamkeit haben, jedoch ist das zu schätzende Zeitintervall bei seinem Eintreten bereits verstrichen. Dagegen muss in den Experimenten 7a und 7b die Dauer des Effekts selbst eingeschätzt werden. Die Ergebnisse sind nicht einheitlich. Während Experiment 7a keinen Unterschied zwischen der eingeschätzten Dauer kontingent und inkontingent eintretender Aktionseffekte von 250 ms Dauer findet, werden Aktionseffekte von 400 ms als länger eingeschätzt, wenn sie kontingent eintreten. Die Inkonsistenz der Ergebnisse sollte durch weitere Experimente aufgeklärt werden. Allerdings würde die längere Einschätzung konsistent eintretender Aktionseffekte zu der Erklärung der unterschiedlichen Einschätzung von Zeitintervallen aufgrund von Aufmerksamkeitsprozessen passen. Inkontingent eintretende, also nicht antizipierte Effekte, ziehen mehr Aufmerksamkeit auf sich als kontingent eintretende (Sokolov, 1963). Diese Aufmerksamkeit steht der Aufgabe der Zeitschätzung nicht mehr zur Verfügung, wodurch das Zeitintervall als weniger lang eingeschätzt wird, als wenn mehr Aufmerksamkeit für die Aufgabe zur Verfügung steht (Brown & Boltz, 2002; Zakay, 1998). In die gleiche Richtung weisen Ergebnisse zum Attentional Set (Pashler, 1998), in denen gezeigt werden konnte, dass schon bekannte (Witherspoon & Allan, 1985) oder sogar fälschlicherweise als bekannt beurteilte Reize (Ono & Kawahara, 2008) als länger eingeschätzt werden als noch nie gezeigte Reize, da das bereits vorhandene Attentional Set zu einer klareren und damit längeren Wahrnehmung der Reize führt.

Die längere Einschätzung eines kontingent eintretenden Effekts scheint allerdings anderen Arbeiten zu widersprechen, die eine längere Wahrnehmung unerwarteter und seltener Stimuli belegen (Pariyadath & Eagleman, 2007; Tse et al., 2004; Ulrich et al., 2006). Ulrich und Kollegen (2006) nehmen an, dass erhöhtes

Arousal aufgrund der Seltenheit der Reize zu dieser längeren Einschätzung der Dauer führt. Im Gegensatz zum vorliegenden Experiment werden in den angeführten Studien insgesamt seltene Ereignisse mit häufigen verglichen, wohingegen im vorliegenden Experiment die Gesamthäufigkeit der beiden Effektreize gleich hoch ist. Lediglich bezogen auf einen Trial ist aufgrund der vorhergehenden spezifischen Aktion der eine Effekt häufiger als der andere. Möglicherweise ist das Ausmaß von Arousal durch die beiden Reize unabhängig von der Konsistenz ihres Auftretens konstant und verlängert daher nicht die Wahrnehmung nicht antizipierter – also unerwarteter – Effekte. So wird im hier beschriebenen Experiment der Einfluss des Arousals auf die Einschätzung eines Zeitintervalls ausgeschaltet, und damit wird der antagonistisch wirkende Einfluss sichtbar, den das Abziehen der Aufmerksamkeit von der Aufgabe der Zeitschätzung in unerwarteten, also auch in nicht antizipierten Bedingungen hat.

Weitere Experimente sollten klären, welche Einflussfaktoren die Widersprüche zwischen den hier berichteten Ergebnissen, und den mit Hilfe expliziter verbaler Zeitschätzung sowie auch der Komplikationsuhr gewonnenen Ergebnissen, verursachen. Erstens sollte der bereits vorgeschlagene Vergleich von externen Reiz-Reiz-Intervallen mit Aktions-Effekt-Intervallen vorgenommen werden, um einen Vergleichsmaßstab unabhängig von Aktionen der V_p für die Dauer der Schätzung zu erhalten. Zweitens scheinen auch systematische Variationen der zeitlichen und ereignisbezogenen Unsicherheit sowie der zeitbezogenen und zeitunabhängigen Aufmerksamkeit vielversprechend, um zu spezifizieren, welche Faktoren im Handlungskontext möglicherweise die zeitliche Wahrnehmung beeinflussen.

Eine mögliche alternative Erklärung zur Intentionalität einer Aktion für die nähere zeitliche Wahrnehmung von Aktion und Effekt stellt dabei die wahrgenommene Kausalität dar (Eagleman & Holcombe, 2002; Humphreys &

Buehner, 2009). Im Gegensatz zu zwei aufeinander folgenden sensorischen Ereignissen, die möglicherweise unabhängig voneinander eintreten, sind Handlungseffekte schon per Definition kausal mit der vorhergehenden Aktion verbunden. Der immer gleiche zeitliche Zusammenhang kann von der Vp auch als Indiz für die kausale Verursachung des Effekts verwendet werden: Führt sie keine Aktion aus, tritt auch der Effektreiz nicht ein, nach Ausführung der Aktion tritt er dagegen zuverlässig und im immer gleichen Zeitabstand ein. Mit dieser Annahme lassen sich zwei der Ergebnisse besser erklären als durch Intention: Erstens tritt eine kürzere Wahrnehmung des Aktions-Effekt-Intervalls unabhängig davon auf, ob der Effekt kontingent auf die Aktion folgt, also der intendierte ist. Zudem findet sich kein Unterschied in der Einschätzung der Dauer von Aktions-Effekt- und Reaktions-Effekt-Intervallen, obwohl Aktions-Effekt-Intervallen häufig ein größeres Ausmaß an Intentionalität zugeschrieben wird (z.B. Herwig et al., 2007; Herwig & Waszak, 2009). Dagegen ist das Ausmaß an Kausalität in beiden Experimenten in den jeweils betrachteten Bedingungen gleich: In beiden Experimenten folgt immer einem Tastendruck ein dadurch kausal erzeugter Reiz nach. Ziel des fünften Teils dieser Arbeit war es deshalb, den Zusammenhang zwischen zeitlicher Wahrnehmung und Kausalitätswahrnehmung näher zu beleuchten.

6.3. Das Zusammenspiel von Kausalität und Zeitwahrnehmung

Die in dieser Arbeit beschriebenen Untersuchungen zur Zeit- und Kausalitätswahrnehmung zielten auf ein besseres Verständnis des Zusammenspiels dieser beiden Faktoren ab. Die Literatur gibt Hinweise darauf, dass ein Einfluss in beiden Richtungen möglich ist, d.h. einerseits kann eine Manipulation der wahrgenommenen Kausalität die Zeitwahrnehmung beeinflussen (Kohlrausch et al., 2007). Andererseits kann die Manipulation der Zeitwahrnehmung die

Kausalitätswahrnehmung verändern (Choi & Scholl, 2006a, 2006b; Grassi & Casco, 2007, 2009).

Experiment 9 zielte mit der Frage, ob eine Manipulation der Information über die Anzahl der Ursachen zweier Reize die Wahrnehmung der Gleichzeitigkeit dieser beiden Reize beeinflusst, auf die zweitgenannte Richtung ab. Es konnte allerdings kein Hinweis darauf gefunden werden, dass Informationen über eine gemeinsame Ursache zur wahrscheinlicheren Integration eines akustischen und eines visuellen Reizes und damit zu einer Wahrnehmung der beiden Reize als gleichzeitig führen. Dabei bleibt unklar, ob dies auf die konkrete experimentelle Umsetzung zurückzuführen ist, oder ob eine Manipulation der Annahmen über eine gemeinsame Ursache der Reize generell keinen Einfluss auf die Zeitwahrnehmung hat. Vorschläge zur Veränderung des Untersuchungsdesigns zur weiteren Untersuchung der Frage wurden gemacht.

Die Verursachung der beiden Reize durch eine eigene Handlung führt dazu, dass zwei darauf folgende Reize eher als gleichzeitig wahrgenommen werden, als wenn ein externer taktiler Reiz das Auftreten der beiden Reize ankündigt. Durch diese experimentelle Variation wurden keine Annahmen über den kausalen Zusammenhang der beiden Reize explizit manipuliert. Es ist jedoch bekannt, dass nach einer Aktion auftretende Reize generell eher als kausal durch die Aktion verursacht angesehen werden als Reize, die mit gleicher Wahrscheinlichkeit nach einem anderen Reiz auftreten, als kausal von diesem Reiz verursacht angesehen werden (Alloy & Abramson, 1979). Daher wurden möglicherweise in Experiment 9 der akustische und der visuelle Stimulus nach einer Aktion eher als gemeinsam verursacht wahrgenommen. Infolgedessen könnten sie wahrscheinlicher als *ein* integriertes Ereignis wahrgenommen worden sein. Dagegen wurden in der Gruppe, die über das baldige Eintreten der Reize durch eine taktile Reizung informiert wurde,

diese nicht als kausal durch die externe Reizung verursacht angesehen und ihre Wahrnehmung daher auch weniger wahrscheinlich zu einem Perzept integriert. Allerdings ist diese Erklärung spekulativ, da wahrgenommene Kausalität nicht erfasst wurde. Zudem wurden die beiden Reize nach einer Aktion über einen tendenziell, jedoch nicht signifikant längeren Zeitraum als gleichzeitig beurteilt. Der Einfluss intendierter Aktionen auf die zeitliche Wahrnehmung selbst verursachter Reize sollte weiter untersucht werden. Vor allem die Variation des Handlungskontexts innerhalb von Versuchspersonen und die Verwendung von Handlungen, die augenscheinlich in einer weniger arbiträren Beziehung zu den Effektreizen stehen, scheinen geeignet, um eindeutigere Ergebnisse zu erhalten.

Experiment 8 zeigt, in welchem Umfang Ereignisse, die nicht exakt zum gleichen Zeitpunkt auftreten, zu dem der Effekt häufig auftritt, noch als zum selben Zeitpunkt wie gewöhnlich beurteilt werden. Sowohl, wenn Effekte häufig unmittelbar eintreten, als auch, wenn sie häufig verzögert eintreten, werden ab einem gewissen Ausmaß Abweichungen vom gewohnten Zeitpunkt erkannt. Dabei nehmen Vpn in der Gruppe, die häufig einen verzögerten Effekt erlebt, Abweichungen vom gewohnten Zeitraum über einen insgesamt größeren Zeitraum noch als „wie gewöhnlich“ wahr und sind insgesamt weniger konsistent in ihrem Urteil. Dies könnte auf eine größere Schwierigkeit der Aufgabe zurückzuführen sein, da hier die Erinnerung an ein Zeitintervall mit dem Zeitpunkt des Eintretens eines Reizes verglichen werden muss. Vpn der Gruppe, welche die Effektreize häufig unmittelbar erleben, können den Auftretenszeitpunkt des Effekts dagegen mit dem Zeitpunkt ihrer Aktion vergleichen, sind also nicht auf eine Repräsentation des Zeitintervalls im Gedächtnis angewiesen.

In beiden Gruppen besteht ein sehr enger Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung eines Effektreizes als „zum gewöhnlichen Zeitpunkt“ und als kausal

durch die eigene Aktion verursacht. Dies bestätigt den oft postulierten Zusammenhang zwischen Zeit- und Kausalitätswahrnehmung. Dieser ist zwar insgesamt kleiner in der Gruppe, welche den Effekt häufig verzögert erlebt, gegenüber der Gruppe, die den Effekt häufig unmittelbar erlebt. Dennoch ist der Zusammenhang auch in der erstgenannten Gruppe sehr eng. Es sollte weiter untersucht werden, inwiefern das Ausmaß wahrgenommener Kausalität auch mit dem Ausmaß eingetretener Rekalibrierung übereinstimmt (Stetson et al., 2006), die hier nicht gemessen wurde. Nicht allein die zeitliche Nähe zur Aktion, sondern (auch) die zeitliche Nähe zu dem Zeitpunkt, über den eine zeitliche Erwartung bezüglich des Auftretens des Effekts ausgebildet wurde, bestimmt also das Ausmaß an wahrgenommener Kausalität.

Die zeitliche Sensibilität für Ereignisse vor dem gewohnten Zeitpunkt ist v.a. in der Gruppe, die den Effekt häufig unmittelbar erlebt, sehr hoch. Fast alle Reize, die tatsächlich vor der Aktion auftraten werden als „früher als gewöhnlich“ erkannt. Die Vpn sind in ihrem diesbezüglichen Urteil sehr konsistent. Die größere Sensibilität, tatsächlich früher als gewohnt eintretende Effekte als früher zu erkennen (gegenüber der, später als gewohnt eintretende Effekte als später zu erkennen), interagiert trotz der absolut unterschiedlichen Sensibilität in den beiden Gruppen nicht mit der Gruppe. Dies spricht dafür, dass in einem gewissen Ausmaß die Wahrnehmung der Effektzeitpunkte rekalibriert wurde und daher auch in der Gruppe verzögerter Effekte ein früheres Eintreten des Effektreiz es eher als solches erkannt wird als ein späteres, möglicherweise weil es *vor* der Aktion erlebt wurde, trotz einer allgemein größerer Unsicherheit in dieser Gruppe.

Die Toleranz, ein später als gewöhntes Eintreten des Effekts ebenso als zeitlich „wie gewöhnlich“, als auch als kausal verursacht zu betrachten, kann nicht an einer generellen Unfähigkeit liegen, kurze Zeitintervalle zu diskriminieren. Denn die

Diskrimination gleich kurzer Zeitunterschiede gelingt sehr gut, wenn der Effektreiz kurz vor der Aktion auftritt. Die Toleranz gegenüber Abweichungen vom häufigen Effektzeitpunkt in Experiment 8 zeigt, dass der typische Zeitpunkt des Eintretens eines Effekts erlernt wird, jedoch Effekte in einem gewissen Ausmaß um diesen Zeitpunkt variierend noch als kausal verursacht wahrgenommen werden. Dies gilt jedoch nur, solange der Effektzeitpunkt plausibel ist, d.h. nicht vor der Aktion liegt. Diese Flexibilität erscheint ökologisch durchaus sinnvoll, denn auch in unserer Umwelt variieren die Zeitpunkte von Aktionseffekten. Beispielsweise reagieren Computer auf die gleichen Eingabe unterschiedlich schnell in Abhängigkeit von der Auslastung des Arbeitsspeichers, oder ein Ball braucht unterschiedlich lang, um sein Ziel zu erreichen in Abhängigkeit von der Windrichtung.

Mit dieser Arbeit wurde versucht, verschiedene methodische und theoretische Aspekte der Erforschung „psychologischer Zeit“ zusammenzubringen. Bereits die Experimente 1-3 zeigten, dass Effektzeitpunkte erlernt werden. Experiment 8 zeigt, dass die Repräsentation erinnelter Effektzeitpunkte im Bezug auf zeitliche und kausale Wahrnehmung – in gewissem Ausmaß, und so lange Abweichungen von der Norm ökologisch plausibel sind – flexibel ist. Einige Ergebnisse bezüglich der Wahrnehmung von Zeit im Handlungskontext scheinen noch widersprüchlich und bedürfen weiterer Analysen. Eine genauere Differenzierung zwischen dem Einfluss von Intention und Kausalität auf die Zeitwahrnehmung erscheint dabei unumgänglich. Eine engere Anbindung an die Erforschung der Wahrnehmung der Dauer von Zeitintervallen allgemein scheint vielversprechend, um genaueren Aufschluss über die vermittelnden Prozesse, z.B. Aufmerksamkeitsprozesse, zu erhalten, welche die Zeitwahrnehmung im Handlungskontext beeinflussen.

7. Literaturverzeichnis

- Albinet, C., & Fezzani, K. (2003). Instruction in learning a temporal pattern on an anticipation-coincidence task. *Perceptual and Motor Skills*, 97(1), 71-79.
- Allan, L. G. (1979). The perception of time. *Perception & Psychophysics*, 26(5), 340-354.
- Allan, L. G. (1993). Human Contingency Judgments - Rule-Based or Associative. *Psychological Bulletin*, 114(3), 435-448.
- Alloy, L. B., & Abramson, L. Y. (1979). Judgment of contingency in depressed and nondepressed students: Sadder but wiser? *Journal of Experimental Psychology: General*, 108(4), 441-485.
- Bertelson, P., & Tisseyre, F. (1968). Time-Course of Preparation with Regular and Irregular Foreperiods. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 297-300.
- Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2007). Cognitive workload affects duration judgments: Metaanalytic evidence. *Canadian Journal of Experimental Psychology-Revue Canadienne De Psychologie Experimentale*, 61(4), 376-376.
- Brown, S. W., & Boltz, M. G. (2002). Attentional processes in time perception: Effects of mental workload and event structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(3), 600-615.
- Buehner, M. J., & Humphreys, G. R. (2009). Causal Binding of Actions to Their Effects. *Psychological Science*, 20(10), 1221-1228.
- Choi, H., & Scholl, B. J. (2006a). Measuring causal perception: Connections to representational momentum? *Acta Psychologica*, 123(1-2), 91-111.
- Choi, H., & Scholl, B. J. (2006b). Perceiving causality after the fact: Postdiction in the temporal dynamics of causal perception. *Perception*, 35(3), 385-399.
- Chun, M. M., & Jian, Y. H. (1998). Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 36(1), 28-71.
- Chun, M. M., & Jiang, Y. H. (2003). Implicit, long-term spatial contextual memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 29(2), 224-234.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- Correa, A., Lupiáñez, J., & Tudela, P. (2005). Attentional preparation based on temporal expectancy modulates processing at the perceptual level. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(2), 328-334.
- Correa, A., Lupiáñez, J. M., B., & Tudela, P. (2004). Endogenous temporal orienting of attention in detection and discrimination tasks. *Perception & Psychophysics*, 66(2), 264-278.
- Correa, A., & Nobre, A. C. (2008). Neural modulation by regularity and passage of time. *Journal of Neurophysiology*, 100(3), 1649-1655.
- Coull, J. T., Frith, C. D., Büchel, C., & Nobre, A. C. (2000). Orienting attention in time: behavioural and neuroanatomical distinction between exogenous and endogenous shifts. *Neuropsychologia*, 38(6), 808-819.
- Cravo, A. M., Claessens, P. M. E., & Baldo, M. V. C. (2009). Voluntary action and causality in temporal binding. *Experimental Brain Research*, 199(1), 95-99.
- Dickinson, A., Shanks, D. R., & Evenden, J. (1984). Judgment of act-outcome contingency: The role of selective attribution. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A, 29-50.

- Doherty, J. R., Rao, A. L., Mesulam, M. M., & Nobre, A. C. (2005). Synergistic effect of combined temporal and spatial expectations on visual attention. *Journal of Neuroscience*, 25(36), 8259-8266.
- Eagleman, D. M., & Holcombe, A. O. (2002). Causality and the perception of time. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(8), 323-325.
- Eagleman, D. M., & Sejnowski, T. J. (2007). Motion signals bias localization judgments: A unified explanation for the flash-lag, flash-drag, flash-jump, and Frohlich illusions. *Journal of Vision*, 7(4), 1-12.
- Elsner, B., & Hommel, B. (2001). Effect anticipation and action control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 229-240.
- Elsner, B., & Hommel, B. (2004). Contiguity and contingency in action-effect learning. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 68(2-3), 138-154.
- Engbert, K., & Wohlschläger, A. (2007). Intentions and expectations in temporal binding. *Consciousness and Cognition*, 16(2), 255-264.
- Engbert, K., Wohlschläger, A., & Haggard, P. (2008). Who is causing what? The sense of agency is relational and efferent-triggered. *Cognition*, 107(2), 693-704.
- Engbert, K., Wohlschläger, A., Thomas, R., & Haggard, P. (2007). Agency, subjective time, and other minds. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(6), 1261-1268.
- Engel, A. K., Fries, P., König, P., Brecht, M., & Singer, W. (1999). Temporal binding, binocular rivalry, and consciousness. *Consciousness and Cognition*, 8(2), 128-151.
- Enns, J. T., Brehaut, J. C., & Shore, D. I. (1999). The duration of a brief event in the mind's eye. *Journal of General Psychology*, 126(4), 355-372.
- Gescheider, G. A. (1997). *Psychophysics: the fundamentals* (3rd ed.). Mahwah, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- Gibbon, J., Berryman, R., & Thompson, R. L. (1974). Contingency spaces and measures in classical and instrumental conditioning. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 21(3), 585-605.
- Goschke, T. (2003). Voluntary action and cognitive control from a cognitive neuroscience perspective. In S. Maasen, W. Prinz & G. Roth (Eds.), *Voluntary action: Brains, minds, and sociality* (pp. 49-85). Oxford: Oxford University Press.
- Grassi, M., & Casco, C. (2007). Streaming or bouncing? Attention does not explain the audiovisual bounce-inducing effect. *Perception*, 36, 171-171.
- Grassi, M., & Casco, C. (2009). Audiovisual Bounce-Inducing Effect: Attention Alone Does Not Explain Why the Discs Are Bouncing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(1), 235-243.
- Greenwald, A. G. (1970). A double stimulation test of ideomotor theory with implications for selective attention. *Journal of Experimental Psychology*, 84, 392-398.
- Grondin, S., & Rammsayer, T. (2003). Variable foreperiods and temporal discrimination. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section a-Human Experimental Psychology*, 56(4), 731-765.
- Haggard, P. (2005). Conscious intention and motor cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(6), 290-295.
- Haggard, P. (2006). *Conscious intention and the sense of agency*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Haggard, P. (2008). Human volition: towards a neuroscience of will. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(12), 934-946.

- Haggard, P., Aschersleben, G., Gehrke, J., & Prinz, W. (2002). Action, binding, and awareness. *Common Mechanisms in Perception and Action: Attention & Performance XIX*, 266-285.
- Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002). Voluntary action and conscious awareness. *Nature Neuroscience*, 5(4), 382-385.
- Haggard, P., & Cole, J. (2007). Intention, attention and the temporal experience of action. *Consciousness and Cognition: An International Journal*, 16(2), 211-220.
- Haggard, P., & Libet, B. (2001). Conscious intention and brain activity. *Journal of Consciousness Studies*, 8(11), 47-63.
- Harleß, E. (1861). Der Apparat des Willens. *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, 38, 50-73.
- Herbart, J. F. (1825). *Psychologie als Wissenschaft neu gegründet auf Erfahrung, Metaphysik und Mathematik. Zweiter, analytischer Teil*. Königsberg: August Wilhelm Unzer.
- Herwig, A., Prinz, W., & Waszak, F. (2007). Two modes of sensorimotor integration in intention-based and stimulus-based actions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60, 1540-1554.
- Herwig, A., & Waszak, F. (2009). Intention and attention in ideomotor learning. *Q J Exp Psychol (Colchester)*, 62(2), 219-227.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis. Die Funktion von Antizipationen in der menschlichen Verhaltenssteuerung und Wahrnehmung*. Göttingen: Hogrefe.
- Hoffmann, J. (2001). Das ideomotorische Prinzip, ABC, Closed Loops und Schemata. *Denken, Sprechen, Bewegen. Bericht über die 32. Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie*, 68-92.
- Hoffmann, J., Butz, M. V., Herbort, O., Kiesel, A., & Lenhard, A. (2007). Speculations about the structure of ideomotor relations. *Zeitschrift Fur Sportpsychologie*, 14(3), 95-103.
- Hoffmann, J., & Kunde, W. (1999). Location-specific target expectancies in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1127-1141.
- Hoffmann, J., & Sebald, A. (2005). When obvious covariations are not even learned implicitly. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(4), 449-480.
- Hommel, B. (1998). Event files: Evidence for automatic integration of stimulus-response episodes. *Visual Cognition*, 5, 183-216.
- Hume, D. (1739). *A treatise of human nature: being an attempt to introduce the experimental method of reasoning into moral subjects* (Vol. Of the Understanding). London: John Noon.
- Humphreys, G. R., & Buehner, M. J. (2009). Magnitude Estimation Reveals Temporal Binding at Super-Second Intervals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1542-1549.
- Hunt, A. R., Chapman, C. S., & Kingstone, A. (2008). Taking a long look at action and time perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(1), 125-136.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New York: Holt.
- Kiesel, A., & Hoffmann, J. (2004). Variable action effects: response control by context-specific effect anticipations. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 68(2-3), 155-162.
- Kohlrausch, A., van Eijk, R. L. J., van de Par, S., & Juola, J. F. (2007). *A Systematic Influence of Stimulus Type on Audio-Visual Synchrony Perception*. Paper

- presented at the 19th International Congress on Acoustics, Madrid, Spain, Madrid, Spain.
- Körding, K. P., Beierholm, U., Ma, W. J., Quartz, S., Tenenbaum, J. B., & Shams, L. (2007). Causal Inference in Multisensory Perception. *PLoS ONE*, 2(9), e943.
- Kühn, S., Elsner, B., Prinz, W., & Brass, M. (2009). Busy doing nothing: Evidence for nonaction-effect binding. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(3), 542-549.
- Kunde, W. (2001). Response-effect compatibility in manual choice reaction tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 27, 387-394.
- Kunde, W. (2003). Temporal response-effect compatibility. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 67(3), 153-159.
- Kunde, W., Hoffmann, J., & Zellmann, P. (2002). The impact of anticipated action effects on action planning. *Acta Psychologica*, 109, 137-155.
- Lagnado, D., & Sloman, S. A. (2006). Time as a guide to cause. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 32(3), 451-460.
- Lapid, E., Ulrich, R., & Rammsayer, T. (2008). On estimating the difference limen in duration discrimination tasks: A comparison of the 2AFC and the reminder task. *Perception & Psychophysics*, 70(2), 291-305.
- Libet, B. (1985). Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action. *Behavioral and Brain Sciences*, 8, 529-566.
- Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., & Pearl, D. K. (1983). Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). *Brain*, 106, 623-642.
- Linser, K., & Goschke, T. (2007). Unconscious modulation of the conscious experience of voluntary control. *Cognition*, 104(3), 459-475.
- Lotze, R. H. (1852). *Medicinische Psychologie oder die Physiologie der Seele*.
- MacKay, A., & Juola, J. F. (2007). Are spatial and temporal attention independent. *Perception & Psychophysics*, 69(6), 972-979.
- Mate, J., Pires, A. C., Campoy, G., & Estaun, S. (2009). Estimating the duration of visual stimuli in motion environments. *Psicologica*, 30(2), 287-300.
- Mattes, S., & Ulrich, R. (1998). Directed attention prolongs the perceived duration of a brief stimulus. *Perception & Psychophysics*, 60(8), 1305-1317.
- Meyers, L. S., & Rhoades, R. W. (1978). Visual-Search of Common Scenes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 30(May), 297-310.
- Michotte, A. E. (1963). *The perception of causality*. London: Methuen.
- Miniussi, C., Wilding, E. L., Coull, J. T., & Nobre, A. C. (1999). Orienting attention in time - Modulation of brain potentials. *Brain*, 122, 1507-1518.
- Moore, J., & Haggard, P. (2008). Awareness of action: Inference and prediction. *Consciousness and Cognition*, 17(1), 136-144.
- Moore, J., Lagnado, D., Deal, D. C., & Haggard, P. (2009). Feelings of control: contingency determines experience of action. *Cognition*, 110(2), 279-283.
- Niemi, P., & Näätänen, R. (1981). Foreperiod and Simple Reaction-Time. *Psychological Bulletin*, 89(1), 133-162.
- Nijhawan, R. (2008). Visual prediction: Psychophysics and neurophysiology of compensation for time delays. *Behavioral and Brain Sciences*, 31(2), 179-+.
- Nobre, A. C. (2001). Orienting attention to instants in time. *Neuropsychologia*, 39(12), 1317-1328.
- Olson, I. R., & Chun, M. M. (2002). Perceptual constraints on implicit learning of spatial context. *Visual Cognition*, 9(3), 273-302.
- Ono, F., & Kawahara, J. I. (2008). The effect of false memory on temporal perception. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 72(1), 61-64.

- Osman, M., & Heyes, C. (2005). *Practice Doesn't Always Make Perfect: Goal Induced Decrements in the Accuracy of Action- and Observation-based Problem Solving*. Paper presented at the XXVII Annual Conference of the Cognitive Science Society.
- Pariyadath, V., & Eagleman, D. M. (2007). The effect of predictability on subjective duration. *PLoS ONE*, 2(11), e1264.
- Park, J., Schlag-Rey, M., & Schlag, J. (2003). Voluntary action expands perceived duration of its sensory consequence. *Experimental Brain Research*, 149(4), 527-529.
- Pashler, H. E. (1998). *The psychology of attention*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Pavlov, I. P., & Anrep, G. V. (1927). *Conditioned reflexes; an investigation of the physiological activity of the cerebral cortex*. [London]: Oxford University Press: Humphrey Milford.
- Penton-Voak, I. S., Edwards, H., Percival, A., & Wearden, J. H. (1996). Speeding up an internal clock in humans? Effects of click trains on subjective duration. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22, 307-320.
- Prinz, W. (1998). Die Reaktion als Willenshandlung. *Psychologische Rundschau*, 49, 10-20.
- Prinz, W. (2000). Kognitionspsychologische Handlungsforschung. *Zeitschrift für Psychologie*, 208, 32-54.
- Rescorla, R. A. (1968). Probability of Shock in Presence and Absence of Cs in Fear Conditioning. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 66(1), 1-5.
- Rescorla, R. A., & Wagner, A. R. (1972). Inhibition in Pavlovian conditioning: Applications of a theory. In R. A. Boakes & M. S. Halliday (Eds.), *Inhibition and learning* (pp. 64-99). London, New York,: Academic Press.
- Rolke, B., Ulrich, R., & Bausenhart, K. M. (2006). Attention delays perceived stimulus offset. *Vision Research*, 46(18), 2926-2933.
- Salidis, J. (2001). Nonconscious temporal cognition: Learning rhythms implicitly. *Memory & Cognition*, 29(8), 1111-1119.
- Seifried, T., & Ulrich, R. (2008). Does the asymmetry effect inflate the temporal expansion of odd stimuli? *Psychological Research*.
- Sekuler, R., Sekuler, A. B., & Lau, R. (1997). Sound alters visual motion perception. *Nature*, 385(6614), 308-308.
- Shanks, D. R. (1985a). Continuous monitoring of human contingency judgment across trials *Memory & Cognition*, 13, 158-167.
- Shanks, D. R. (1985b). Hume, on the Perception of Causality *Hume Studies*, 11(1), 94-108.
- Shore, D. I., Spence, C., & Klein, R. M. (2001). Visual prior entry. *Psychological Science*, 12(3), 205-212.
- Sobel, D. M., & Kushnir, T. (2006). The importance of decision making in causal learning from interventions. *Memory & Cognition*, 34(2), 411-419.
- Sokolov, E. N. (1963). *Perception and the conditioned reflex*. Oxford: Pergamon Press.
- Stelmach, L. B., & Herdman, C. M. (1991). Directed attention and the perception of temporal order. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 17, 539-550.
- Stelmach, L. B., Herdman, C. M., & McNeil, R. (1994). Attentional modulation of visual processes in motion perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 20(1), 108-121.

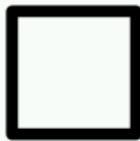
- Stetson, C., Cui, X., Montague, P. R., & Eagleman, D. M. (2006). Motor-sensory recalibration leads to an illusory reversal of action and sensation. *Neuron*, 51(5), 651-659.
- Thomas, E. A. C., & Weaver, W. B. (1975). Cognitive Processing and Time Perception. *Perception & Psychophysics*, 17(4), 363-367.
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock." *Psychological Monographs*, 77, 1-31.
- Treisman, M., Faulkner, A., Naish, P. L., & Brogan, D. (1990). The internal clock: Evidence for a temporal oscillator underlying time perception with some estimates of its characteristic frequency. *Perception*, 19, 705-743.
- Tsakiris, M., & Haggard, P. (2003). Awareness of somatic events associated with a voluntary action. *Experimental Brain Research*, 149(4), 439-446.
- Tse, P. U., Intriligator, J., Rivee, J., & Cavanagh, P. (2004). Attention and the subjective expansion of time. *Perception & Psychophysics*, 66(7), 1171-1189.
- Ulrich, R., Nitschke, J., & Rammsayer, T. (2006). Perceived duration of expected and unexpected stimuli. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 70(2), 77-87.
- van Eijk, R. L. J., Kohlrausch, A., Juola, J. F., & van de Par, S. (2008). Audiovisual synchrony and temporal order judgments: Effects of experimental method and stimulus type. *Perception & Psychophysics*, 70(6), 955-968.
- Wagener, A., & Hoffmann, J. (im Druck-a). Behavioural adaptations to redundant frequency distributions in time. In J. T. Coull & K. Nobre (Eds.), *Attention and Time*. Oxford: Oxford University Press.
- Wagener, A., & Hoffmann, J. (im Druck-b). Temporal cuing of target identity and target location. *Experimental Psychology*.
- Wagner, A. R. (1969). Stimulus validity and stimulus selection in associative learning. In N. J. Mackintosh & W. K. Honig (Eds.), *Fundamental issues in associative learning* (pp. 90-122). Halifax: Dalhousie University Press.
- Wallace, M. T., Roberson, G. E., Hairston, W. D., Stein, B. E., Vaughan, J. W., & Schirillo, J. A. (2004). Unifying multisensory signals across time and space. *Experimental Brain Research*, 158(2), 252-258.
- Wearden, J. H., Edwards, H., Fakhri, M., & Percival, A. (1998). Why "sounds are judged longer than lights": Application of a model of the internal clock in humans. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B-Comparative and Physiological Psychology*, 51(2), 97-120.
- Wearden, J. H., Norton, R., Martin, S., & Montford-Bebb, O. (2007). Internal clock processes and the filled-duration illusion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(3), 716-729.
- Wichmann, F. A., & Hill, N. J. (2001). The psychometric function: I. Fitting, sampling, and goodness of fit. *Perception & Psychophysics*, 63(8), 1293-1313.
- Witherspoon, D., & Allan, L. G. (1985). The effect of a prior presentation on temporal judgments in a perceptual identification task. *Memory & Cognition*, 13(2), 101-111.
- Wohlschläger, A., Engbert, K., & Haggard, P. (2003). Intentionality as a constituting condition for the own self--and other selves. *Consciousness and Cognition*, 12(4), 708-716.
- Wohlschläger, A., Haggard, P., Gesierich, B., & Prinz, W. (2003). The perceived onset time of self- and other-generated actions. *Psychological Science*, 14(6), 586-591.

- Wundt, W. (1887). *Grundzüge de physiologischen Psychologie* (3 ed.). Leipzig: Wilhelm Engelman.
- Yeshurun, Y., & Levy, L. (2003). Transient spatial attention degrades temporal resolution. *Psychological Science*, 14(3), 225-231.
- Zakay, D. (1998). Attention allocation policy influences prospective timing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(1), 114-118.
- Zakay, D., Block, R. A., & Tsal, Y. (1999). Prospective duration estimation and performance. *Attention and Performance Xvii*, 17, 557-580.

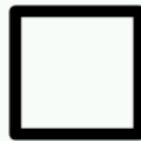
8. Anhang

Anhang A1. Abfrage des wahrgenommenen Zeitpunkts des Effektreizes in Experiment 8.

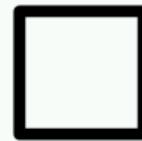
Ich glaube, der Elch hat im Verhältnis zum Mausklick...



früher,



zum gleichen Zeitpunkt,



später

als bzw. wie gewöhnlich geröhrt!

Anhang A2. Abfrage des wahrgenommenen kausalen Einflusses mit dem Tastendruck auf das Erscheinen des Effektreizs in Experiment 8.

Ich glaube, durch meinen Mausklick hatte ich...

